

Отзыв

официального оппонента д.ф.-м.н., проф. Шаблова В.Л. на диссертацию Булычева 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.

Электронная импульсная спектроскопия (ЭИС) является известным методом, использующим ионизацию электронным ударом в кинематике квазиупругого удара для изучения структуры мишени. В роли последней могут выступать атомы, молекулы, кластеры или тонкие пленки. Теоретические основы этого метода были сформулированы в 1960-70-х годах В.Г. Неудачиным и Ю.Ф. Смирновым. К настоящему времени он всесторонне апробирован и активно применяется как в атомной и молекулярной физике, так и в физике твердого тела. В диссертационной работе теоретически изучается расширение метода ЭИС на случай, когда мишень помещена в переменное электромагнитное поле. Выбор данной тематики вполне оправдан, учитывая активное развитие лазерной физики и физики взаимодействия лазерного излучения с веществом, которое отмечается в последние десятилетия. Кроме того, в настоящее время в Университете Тохоку (г. Сендай, Япония) идет подготовка первых ЭИС экспериментов в присутствии лазерного поля, что требует развития соответствующей теории с целью анализа и интерпретации экспериментальных данных. В диссертации также рассматриваются процессы двукратной фотоионизации молекул водорода и азота при их взаимодействии с синхротронным излучением. Интерес к данным реакциям в первую очередь обусловлен проведением экспериментальных исследований в научном центре CNR-IMIP (г. Бари, Италия). Следует отметить, что изучаемые в диссертации процессы ионизации позволяют не только получать ценную информацию об электронной структуре мишени, но и исследовать динамику столкновений в системах нескольких заряженных частиц. Таким образом, тема диссертационной работы является весьма актуальной.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, двух приложений и списка литературы. В первой главе приведена общая теория метода ЭИС в присутствии переменного электромагнитного поля и рассмотрено влияние лазерного поля на быстрый падающий,

рассеянный и выбитый электроны. Для описания быстрых электронов используются волковские функции вместо плоских волн, обычно применяемых в теории электронной импульсной спектроскопии в бесполевого случае. Показано, что влияние поля на электроны в континууме необходимо учитывать, поскольку оно может привести к значительному искажению дифференциальных сечений по сравнению со случаем отсутствия поля.

Во второй главе на примере атома гелия изучается вопрос о влиянии электрон-электронных корреляций в начальном состоянии мишени на дифференциальные сечения метода ЭИС в присутствии лазерного поля. Известно, что в бесполевого случае различные модели волновой функции начального состояния мишени приводят к отличным результатам при условии, что конечный ион после столкновения оказывается в возбужденном состоянии. В диссертации установлено, что присутствие лазерного поля еще более усиливает эти различия по сравнению с бесполевым случаем, вплоть до возможности различить при определенных условиях даже сильнокоррелированные функции.

Третья глава развивает идеи второй главы и посвящена теоретическому анализу ($e, 3e$) ЭИС процесса на атоме гелия. Показано, что в отличие от бесполевого случая, в присутствии лазерного поля проявляются различия между дифференциальными сечениями, соответствующими разным моделям электрон-электронных корреляций в начальном состоянии мишени. Кроме того, рассматривается ситуация, когда медленный испущенный электрон не детектируется (т.н. ($e, 3-1e$) процесс). Установлено, что дифференциальные сечения такого процесса слабо зависят от поля и практически совпадают с бесполевыми.

Последняя – четвертая – глава посвящена реакциям двукратной фотоионизации молекул водорода и азота. Используемый кинематический режим отличается от рассмотренного в первых трех главах и отвечает случаю низких энергий ионизованных электронов. В рамках модели двухцентровых коррелированных кулоновских функций для описания состояния электронов в континууме на примере молекулы водорода проведено сравнение угловых распределений фотоэлектронов в зависимости от используемой модели межэлектронных корреляций в начальном состоянии молекулы. Продемонстрировано влияние межэлектронных корреляций на дифференциальные сечения рассеяния и необходимость их учета для правильного описания углового распределения фотоэлектронов. Наконец, в рамках той же модели были проведены расчеты двукратной фотоионизации молекулы азота. Полученные результаты продемонстрировали хорошее совпадение с экспериментом, который был проведен группой из CNR-IMIP, г. Бари, Италия.

Научная новизна результатов, полученных в диссертации, состоит в следующем:

1. Впервые показано, что даже низкочастотное и слабое в атомных масштабах электромагнитное поле может существенно модифицировать состояния начального и конечных быстрых (с энергией кэВ и выше) электронов континуума в методе ЭИС. Сформулировано условие, при котором вместо традиционного приближения плоских волн в методе ЭИС необходимо использовать волковские функции.

2. Исследована чувствительность метода ЭИС в присутствии лазерного поля к выбору волновой функции мишени. На примере атома гелия показано, что, когда конечный ион остается в возбужденном состоянии, чувствительность измеряемых в ЭИС дифференциальных сечений к модели электрон-электронных корреляций в мишени усиливается по сравнению со случаем отсутствия поля.

3. Впервые проведен анализ процесса двукратной ионизации атомной мишени электронным ударом в присутствии лазерного поля на примере атома гелия. Показано, что угловое распределение медленного испущенного электрона метода $(e,3e)$ ЭИС в лазерном поле сильно зависит от модели электрон-электронных корреляций в атоме гелия, чего не наблюдается в отсутствие лазерного поля.

4. Показано, что электронные корреляции в модели основного состояния двухатомных молекул проявляются в угловом распределении испущенных электронов в процессе двукратной фотоионизации.

5. В рамках модели коррелированных двухцентровых кулоновских функций для двухэлектронных состояний континуума получено хорошее согласие с результатами недавних экспериментов по двукратной фотоионизации молекул водорода и азота.

Новизна полученных в диссертации результатов и аргументированность положений, выносимых на защиту, не вызывает сомнений, что подтверждается их апробацией на международных конференциях и публикацией в ведущих научных журналах.

Научная и практическая значимость. Развитые в диссертации теоретические методы позволяют описывать процессы однократной и двукратной ионизации атомов в электромагнитном поле, а также двукратной фотоионизации двухатомных молекул. Разработанные интегральные представления амплитуд процессов реализованы в виде численно-аналитических алгоритмов и программ, что позволяет использовать их другими исследователями. Разработаны алгоритмы расчетов многократных (вплоть до шестикратных) интегралов с кулоновскими функциями непрерывного спектра. Разработанные теоретические

методы используются при планировании ЭИС-экспериментов в лазерном поле в университете Тохоку (г.Сендай, Япония) и для интерпретации экспериментальных данных по двукратной ионизации молекул водорода и азота, выполненных в университете Франкфурта (Германия) и в CNR-IMIP (г.Бари, Италия).

Обоснованность и достоверность результатов диссертации подтверждается тем, что в ней используются строгие и апробированные методы квантовой теории рассеяния, квантовой электродинамики, а также современные компьютерные технологии, и согласием с результатами расчетов других авторов и экспериментальными данными.

Замечания. По содержанию диссертации можно сделать следующие замечания:

1. Отсутствуют детали вывода выражения (1.14) для амплитуды N -фотонного импульсного профиля. Это весьма важный общий результат, и его выводу вполне можно было посвятить, по крайней мере, одно из приложений.

2. Расчеты ЭИС процессов в присутствии лазерного поля выполнены в рамках первого борновского приближения, что выглядит вполне понятным и адекватным с физической точки зрения. В то же время, обоснованность такого подхода требует исследования вкладов более высоких порядков.

3. В формуле (1.7) для элементов S -матрицы в методе ЭИС правой части потерян знак «минус».

4. Диссертация аккуратно и грамотно оформлена, написана хорошим языком. В то же время в ней содержится определенное количество грамматических ошибок (в основном это касается знаков препинания, в частности, соискатель в обороте «такой, как», как правило, не ставит запятую). Примером может служить с.50 диссертации.

В целом, отмеченные недостатки не снижают высокого научного уровня диссертации. В диссертации решена актуальная научная задача разработки теории процессов электронной ударной ионизации атомов в присутствии лазерного поля и двукратной фотоионизации двухатомных молекул и ее применения к изучению структуры атомных и молекулярных мишеней, имеющая существенное значение для дальнейшего развития многочастичной квантовой теории рассеяния в присутствии переменного электромагнитного поля.

Диссертация соответствует заявленной специальности 01.04.02- Теоретическая физика. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Таким образом, диссертация Булычева Андрея Андреевича «Электронная импульсная спектроскопия легких атомов и молекул в электромагнитном поле» соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к

диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а сам диссертант заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02-теоретическая физика.

Официальный оппонент, доктор физико-математических наук,
профессор, профессор кафедры перспективных методов получения
и преобразования энергии Обнинского института атомной
энергетики- филиала Национального ядерного университета «МИФИ»
249040, г. Обнинск Калужской обл., Студгородок, 1.

E-mail: shablov@iate.obninsk.ru

Телефон: +7(484)39-39-405

Шаблов
26.05.15

В.Л.Шаблов

Подпись Шаблова В.Л. заверяю
Директор ИАТЭ НИЯУ МИФИ



Н.Г.Айрапетова