

## Отзыв научных руководителей

о диссертации Булычева Андрея Андреевича “Электронная импульсная спектроскопия легких атомов и молекул в электромагнитном поле”, представляемой на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

А.А. Булычев начал работу над диссертацией после поступления в аспирантуру УНЦ ОИЯИ в 2012 году, где проходил обучение до апреля 2015 года. За время учебы им были в полном объеме усвоены дисциплины, предусмотренные программой послевузовской подготовки, а также сданы экзамены кандидатского минимума.

Диссертация “Электронная импульсная спектроскопия легких атомов и молекул в электромагнитном поле” была задумана как теоретический анализ расширения метода электронной импульсной спектроскопии – хорошо известного инструмента исследования электронной структуры атомов, молекул, кластеров и тонких пленок, – на случай, когда мишень находится во внешнем электромагнитном поле. Актуальность темы работы связана в первую очередь с появлением первых экспериментов по электронной ударной ионизации атомных систем в присутствии лазерного излучения, позволяющего, в частности, контролировать населенности начальных и конечных состояний атомной системы. Интерес к данной теме обусловлен также огромным ростом числа как теоретических, так и экспериментальных исследований по физике взаимодействия лазерного излучения с веществом, который наблюдается в последние десятилетия.

В электронной импульсной спектроскопии для исследования импульсных распределений электронов в мишени используется процесс однократной ионизации электронным ударом в кинематике с большим переданным импульсом и высокими по атомным масштабам энергиями (несколько кэВ) налетающего и конечных электронов. Одной из первых проблем, которые исследовались в диссертации, был вопрос о влиянии лазерного поля на быстрые электроны начального и конечного состояний. Можно было бы ожидать, что если частота и интенсивность поля малы по атомным масштабам, то его влияние на электроны с кэВ'ными энергиями должно быть незначительным. Однако, нетривиальным результатом, полученным А.А. Булычевым, здесь стало то, что при расчете дифференциальных сечений электронной импульсной спектроскопии необходимо учитывать эффект даже слабого низкочастотного поля на состояния быстрых электронов в континууме.

Далее был проанализирован вопрос о влиянии электрон-электронных корреляций в начальном состоянии мишени на дифференциальные сечения методов  $(e,2e)$ ,  $(e,3e)$  и  $(e,3-1e)$  электронной импульсной спектроскопии в присутствии лазерного поля. При этом впервые в литературе был теоретически рассмотрен случай двукратной ионизации мишени электронным ударом в присутствии лазерного поля. На примере атома гелия удалось установить, что дифференциальные сечения, отвечающие различным сильнокоррелированным моделям начального состояния мишени, будучи практически идентичными в отсутствие поля, в определенных условиях становятся хорошо различимы при включении лазерного поля. В настоящее время данные результаты используются при подготовке первых экспериментов метода электронной импульсной спектроскопии в присутствии лазерного поля, планирующихся в Университете Тохоку (г. Сендай, Япония).

Наконец, был проанализирован случай двукратной фотоионизации двухатомных молекул. На примере молекулы водорода было продемонстрировано влияние электрон-электронных корреляций в начальном состоянии молекулы на угловое распределение фотоэлектронов. В рамках модели коррелированного произведения двухцентровых кулоновских функций для описания состояний фотоэлектронов в континууме удалось добиться хорошего согласия с известными в литературе экспериментальными данными. Затем разработанные и

апробированные программы и алгоритмы численного расчета сечений были применены для анализа двукратной фотоионизации молекулы азота, ранее не рассматривавшейся в литературе. Следует отметить, что проведенные А.А. Булычевым расчеты этого процесса были использованы при подготовке и легли в основу последующего анализа и интерпретации соответствующих экспериментов, проведенных группой из CNR-IMIP (г. Бари, Италия). Предсказанные теоретические результаты воспроизвели основные экспериментальные закономерности наблюдавшихся дифференциальных сечений.

Полученные в ходе работы над диссертацией результаты докладывались в общей сложности на 10 международных конференциях. Кроме того, по ним было подготовлено 9 работ в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикации основных результатов диссертаций: 5 в реферируемых журналах и 4 в сборниках трудов конференций.

При получении результатов, представленных в диссертации, А.А. Булычев показал способность самостоятельно выполнять теоретические исследования, сочетающие как аналитический вывод формул, так и численные расчеты. Он проанализировал большое количество экспериментальных и теоретических работ, проявил инициативу и настойчивость в решении поставленных сложных задач. Следует отметить, что расчеты и анализ процессов ионизации легких атомов и молекул в электромагнитном поле являются весьма трудоемкими.

В целом А.А. Булычева можно охарактеризовать как сформировавшегося научного работника, способного исследовать новые проблемы и решать поставленные задачи. А.А. Булычев достоин присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Научные руководители:

Ведущий научный сотрудник ЛТФ ОИЯИ,  
д.ф.-м.н., профессор

Виницкий С.И.

Начальник сектора НОВФ ЛИТ ОИЯИ,  
д.ф.-м.н.

Чулуунбаатар О.

Подпись Виницкого С.И. заверяю,  
ученый секретарь ЛТФ ОИЯИ

Неделько С.Н.

Подпись Чулуунбаатара О. заверяю,  
ученый секретарь ЛИТ ОИЯИ



Подгайный Д.В.