

ОТЗЫВ

официального оппонента к.ф.-м.н., доцента Саранцевой Татьяны Сергеевны о диссертационной работе Поповой Марии Михайловны «Когерентный контроль при ионизации атомов электромагнитными полями кратных частот», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика

Диссертационная работа Поповой Марии Михайловны посвящена описанию взаимодействия атомных систем с когерентными многочастотными полями, содержащими фундаментальную частоту и ее гармоники. Особое внимание уделяется управлению процессом ионизации атомной мишени за счет варьирования относительных фаз между компонентами поля.

Исследование процесса ионизации является одной из центральных задач современной лазерной и аттосекундной физики, и имеет как фундаментальное, так и прикладное значение. Существенный прогресс в создании источников когерентного высокочастотного излучения в области рентгена и вакуумного ультрафиолета открывает новые возможности для наблюдения сверхбыстрых процессах в атомных, молекулярных и твердотельных средах на их естественном временном масштабе. Несмотря на сравнительно высокие интенсивности полей, доступные в современных установках, взаимодействие столь высокочастотного излучения с атомными и молекулярными системами с хорошей точностью может быть описано в рамках нестационарной теории возмущений, что определяет актуальность развитого в настоящей диссертации подхода к описанию взаимодействия многоэлектронных атомов с многочастотными полями. Особо следует отметить важность рассматриваемой в диссертации задачи о поиске эффективных управляющих параметров для осуществления контроля протекания процесса ионизации в многочастотных полях с различной пространственной геометрией. Таким образом, актуальность исследований, представленных в диссертации Поповой М. М., не вызывает сомнений.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и библиографии. Объем диссертации составляет 120 страницы и включает в себя 27 рисунков и 7 таблиц. Список литературы содержит 147 библиографических ссылок.

Во **введении** обосновывается актуальность темы исследования, формулируются цели и задачи работы, обсуждаются методы решения

поставленных задач, обосновывается научная новизна диссертационной работы и практическая значимость полученных результатов. Также во введении сформулированы положения, выносимые на защиту, обоснована достоверность полученных результатов, а также представлены сведения об апробации диссертационной работы.

В первой главе сделан подробный обзор литературы, отражающий актуальное состояние исследований в области аттосекундной интерферометрии. Особое внимание уделяется вопросам ионизации в бихроматическом поле, содержащем несущую частоту и ее вторую гармонику, а также современным достижениям в области аттосекундной метрологии.

Вторая глава диссертации посвящена описанию используемых в диссертации методов и подходов. В главе дано описание формализма стационарных тензоров углового момента, указаны преимущества указанного подхода, а также установлена связь с традиционным формализмом нестационарной теории возмущений. Глава завершается описанием построения наблюдаемых в рамках формализма стационарных тензоров.

В третьей главе представлены используемые соискателем спектроскопические модели исследуемых атомных систем, а также приводятся детали расчетов основных спектроскопических характеристик. В качестве базовых моделей автор использует многоконфигурационный метод Хартри-Фока с численной реализацией Фрезе-Фишер и метод R-матрицы с численной реализацией BSR. Представлены расчеты сечения однофотонной ионизации в приближении LS и K_j связи, выполненные различными методами, проведено сравнение с известными экспериментальными данными. Также в главе описан метод устранения расходимостей для описания переходов между состояниями непрерывного, а также метод устойчивой вариации для расчета двухфотонных переходов в одноэлектронном приближении.

В четвертой главе приводятся основные результаты расчетов сечений фотоионизации, угловых распределений фотоэлектронов, а также дополнительных параметров, характеризующих симметрию полученных фотоэлектронных спектров и спиновую поляризацию, для случая бихроматического $\omega+2\omega$ поля и для схемы экспериментов RABBIT спектроскопии $\omega+3\omega+5\omega+7\omega+\dots$ для атома неона. Особое внимание

уделяется рассмотрению различных геометрий бихроматического поля (различные значения поляризации и взаимные ориентации плоскостей поляризации компонент поля). Исследовано влияние симметрии результирующего поля на параметры возникающего фотоэлектронного спектра. Сформулированы критерии для выбора оптимальных направлений установки детекторов для проведения полного эксперимента. Отдельно рассмотрены вопросы усиления двухфотонного канала ионизации вследствие резонанса с одним из возбужденных состояний атомной системы. Также в главе обсуждаются перспективы применения бихроматических полей со сложной геометрией для планирования экспериментов по ионизации атомов бихроматическим полем. Для простейшего случая линейно поляризованных компонент выполнено сравнение с экспериментальными данными.

В заключении приводятся основные результаты диссертации, список работ автора по материалам диссертации и список цитируемой литературы.

Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне, хорошо апробирована публикациями в авторитетных российских и зарубежных журналах, докладами на российских и международных конференциях.

Оригинальность и научная новизна полученных результатов не вызывает сомнений. Несомненным достоинством диссертации является тесная связь разрабатываемых теоретических подходов с параметрами реальных экспериментальных установок, что позволяет применять полученные в рамках диссертационного исследования результаты для планирования дальнейших экспериментов по когерентному контролю в многочастотных полях.

Автореферат полностью соответствует тексту диссертации.

В то же время к работе имеется ряд замечаний:

1. В обзоре литературы в части, относящейся к современному состоянию исследований в области аттосекундной физики, хотелось бы видеть больше ссылок на обзоры зарубежных авторов. В частности, наряду с обзором [3] следовало упомянуть классический обзор Крауза и Иванова, который цитируется в диссертации только под номером [90].

2. В главе 3 указано, что при расчете спектроскопических характеристик атома неона проводились «ограниченные полурелятивистские расчеты с помощью гамильтониана Брейта-Паули». Из текста диссертации не вполне ясно, насколько важна роль релятивистских эффектов в рассматриваемых задачах.

3. В главе 4 на рисунке 4.7 представлено сравнение выполненных автором теоретических расчетов с экспериментальными данными и с решением нестационарного уравнения Шредингера. В диссертации отсутствуют данные о модели атомного потенциала неона, используемой в TDSE расчетах. Также не указаны возможные причины наблюдаемого расхождения между экспериментальными и TDSE результатами и результатами, полученными в рамках теории возмущений.

4. Основной задачей Rabbit спектроскопии является определение относительных фаз гармоник для восстановления формы последовательности аттосекундных импульсов (pulse train). Из текста диссертации не вполне ясно, была ли решена данная задача на основе описанных методов и подходов.

5. Работа не свободна от опечаток и неточностей. Так, на с. 41 отсутствует ссылка на работу из списка литературы, которая в дальнейшем цитируется под номером [145]. Также следует отметить не вполне удачное одновременное использование в тексте диссертации двух различных аббревиатур (ГГВП и ННГ) для процесса генерации высоких гармоник.

Указанные замечания не снижают общую высокую оценку диссертационного исследования, а также его достоверность, актуальность и научную значимость. Диссертационная работа Поповой М. М. является законченным научным исследованием, выполненным на высоком профессиональном уровне и содержащим новые оригинальные результаты.

Замечания также не умаляют заслуг соискателя в получении новых и интересных результатов, и не влияют на общее хорошее впечатление от диссертации.

Считаю, что диссертация «Когерентный контроль при ионизации атомов электромагнитными полями кратных частот» соответствует специальности 1.3.6. «Оптика» (по физико-математическим наукам), а

также критериям, определённым пп. 2.1–2.5 «Положения о присуждении учёных степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова», предъявляемым к кандидатским диссертациям, и оформлена согласно приложениям № 8 и 9 «Положения о совете по защите диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова», а её автор — Попова Мария Михайловна — заслуживает присуждения искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. «Оптика».

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук, доцент,
доцент кафедры теоретической физики физического факультета
Воронежского государственного университета

Саранцева Татьяна Сергеевна

«11» сентября 2024 года

Контактные данные:

Телефон: +7 (473) 220-87-56

E-mail: office@main.vsu.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена кандидатская диссертация:

01.04.02 — «Теоретическая физика»

Адрес места работы:

394018, г. Воронеж, Университетская площадь, д. 1

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Воронежский государственный университет»

Телефон: +7 (473) 220-75-21

E-mail: office@main.vsu.ru