

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Поповой Марии Михайловны  
«Когерентный контроль при ионизации атомов  
электромагнитными полями кратных частот»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата  
физико-математических наук по специальности 1.3.6. Оптика

Стремительное развитие в последние годы интенсивных источников когерентного излучения в вакуумном ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах с аттосекундными импульсами обуславливает необходимость детального исследования динамики атомов и молекул под действием такого излучения (в первую очередь фотоионизации). Критически важным становится поиск способов управления такими процессами с помощью независимо регулируемых контролируемых параметров. Поэтому основная задача диссертационной работы Поповой М.М. – изучение возможности когерентного контроля ионизации малых квантовых систем электромагнитными полями кратных частот и ее мониторинга – является весьма актуальной.

Теоретическая модель для описания фотоионизации была создана Поповой М.М. с использованием нестационарной теории возмущений в дипольном приближении на основе алгебры углового момента и метода статистических тензоров, что позволило рассчитывать спектры фотоэлектронов, их угловые распределения и поляризацию спина при различных схемах связи в многоэлектронных атомах и воздействии нескольких фотонов с произвольной поляризацией. Разработанный новый аналитический аппарат для работы с электромагнитными полями кратных частот является оригинальным и предоставляет возможность выявить ключевые особенности процесса до выполнения моделирования.

Основные результаты работы связаны с двумя направлениями: осуществление когерентного контроля при бихроматической « $\omega + 2\omega$ » ионизации двухкомпонентным полем, содержащим основную и вторую гармоники с частотами  $\omega$  и  $2\omega$ , и анализу метода RABBIT аттосекундной спектроскопии. В работе выполнено детальное исследование наиболее важных аспектов бихроматической ионизации многоэлектронного атома: для различной геометрии воздействующих полей исследована зависимость эффективности когерентного контроля над ионизацией в зависимости от длины импульса, относительной напряженности, разности фаз и энергии гармоник. Показано, что максимальная эффективность когерентного контроля достигается для линейно и циркулярно поляризованных полей. Более того, использование вместо линейно поляризованной основной гармоники циркулярно поляризованной значительно облегчает анализ процессов фотоионизации s-оболочек атомов. Среди новых результатов можно выделить обнаружение поляризации спина фотоэлектронов в резонансной ионизации

атомов инертных газов, не пропадающей даже при суммировании по конечному моменту иона, и объяснение механизма этого эффекта. Для случая полихроматической ионизации в работе представлен количественный анализ метода RABBIT-спектроскопии в рамках нестационарной теории возмущений вплоть до третьего порядка. Сопоставление результатов этого анализа с данными, полученными из численного решения нестационарного уравнения Шредингера, продемонстрировало корректность использованного подхода для количественного описания подобных экспериментов. В работе выявлена важная роль переходов через дискретные состояния: в резонансной ионизации в формировании припорогового пика доминируют каналы ионизации через эти состояния, в результате чего осцилляции интегральной вероятности ослабевают, а угловое распределение характеризуется постоянной формой. Важно, что разработанная теоретическая модель может быть использована для решения более сложных задач, например, для поляризованных мишеней. Считаю большим достоинством работы детальное сопоставление результатов расчетов в рамках созданной модели с имеющимися экспериментальными данными, полученными на лазерах на свободных электронах. Более того, полученные результаты могут использоваться при планировании экспериментов на лазерах на свободных электронах и для более точной интерпретации измеряемых спектров, а также при теоретическом исследовании взаимодействия атомов и молекул с полихроматическими полями.

По результатам исследований автором опубликовано 11 статей в рецензируемых научных журналах, включая 6 статей в высокорейтинговых журналах, что подтверждает высокий научный уровень диссертационной работы и достоверность полученных в ней результатов.

Представленная диссертация 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 ее автор — Попова Мария Михайловны — заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. «Оптика».

Профессор кафедры атомной физики,  
физики плазмы и микроэлектроники физического факультета  
Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова,  
д.ф.-м.н.

(шифр научной специальности 01.04.15)

Воронина Е.Н.  
подпись, дата 07.10.2024

Данные об авторе отзыва:

Воронина Екатерина Николаевна, доктор физико-математических наук, профессор кафедры атомной физики, физики плазмы и микроэлектроники физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

Адрес:

119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы,  
МГУ имени М.В. Ломоносова,

Контакты:

e-mail: voroninaen@nsrd.sinp.msu.ru

телефон:

Я, Воронина Екатерина Николаевна, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета МГУ.013.6 и их дальнейшую обработку

---

подпись, дата

Подпись Ворониной Екатерины Николаевны удостоверяю: