

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации 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 М.М. посвящена теоретическому исследованию фотоионизации атомов под действием нескольких гармоник высокоинтенсивного когерентного излучения вакуумно-ультрафиолетового диапазона. Автором был применен метод статистических тензоров, позволяющий прямо исследовать влияние поляризации излучения на наблюдаемые: сечения, угловые распределения и поляризацию спина фотоэлектронов. Некоторые из результатов работы были использованы для интерпретации экспериментальных данных, полученных на лазере на свободных электронах FERMI, другие — непосредственно могут быть использованы при планировании экспериментов такого типа, так как моделирование происходило для излучения, обладающего характеристиками, доступными на данный момент.

В диссертационной работе рассматриваются два актуальных направления: бихроматическая ионизация  $\omega + 2\omega$  с энергией основной гармоники  $\omega \approx 10$  эВ (диапазон вакуумного ультрафиолета) и многочастотная ионизация в схеме RABBITT, когда атом взаимодействует с комбинированным излучением инфракрасной гармоники  $\omega$  и ее высоких гармоник  $13\omega + 15\omega + 17\omega$ , лежащих уже в области вакуумного ультрафиолета. Теоретические исследования выполнялись в рамках нестационарной теории возмущений и частично — с помощью метода решения скоростных уравнений. Спектроскопические расчеты проводились с привлечением таких методов, как многоконфигурационный Хартри-Фок, R-матрица на основе В-сплайнов. В отдельных случаях использовались метод устранения расходимости на основе Хартри-Фоковских волновых функций (для переходов между состояниями континуума) и вариационный метод (для двухфотонной ионизации гелия) на основе волновых функций, полученных численным решением уравнения Шредингера в приближении центрального потенциала.

Актуальность проделанной работы для современной физики подтверждается тем, что в 2023 пионерам метода RABBITT была присуждена Нобелевская премия.

- Процесс  $\omega + 2\omega$  был тщательно изучен для атомов неона и гелия, прежде всего — с точки зрения возможности когерентного (фазового) контроля над этим процессом и влияния различных комбинаций поляризаций гармоник на угловые распределения и поляризацию спина фотоэлектронов. По результатам исследования были предложены

наиболее перспективные схемы для реализации когерентного контроля. Когерентный контроль над наблюдаемыми возможен только за счет наличия интерференционного члена, возникающего между двумя конкурирующими процессами, происходящими с атомом в таких полях: однофотонной ионизацией фотоном  $2\omega$  и двухфотонной ионизацией  $\omega + \omega$ . Следовательно, эти эффекты могут наблюдаться только для полей, обладающих когерентностью. В вакуумно-ультрафиолетовом диапазоне до появления лазера на свободных электронах FERMI когерентное излучение удавалось получать только в процессе генерации высоких гармоник, для экспериментов же по  $\omega + 2\omega$  потребовался совершенно иной метод, и одни из первых экспериментов с такими полями были проведены при теоретической поддержке автора диссертации (A3 и A5 из списка литературы).

- Процесс  $\omega + 13\omega + 15\omega + 17\omega$ , рассмотренный в диссертации, представляет из себя почти классическую схему в RABBITT-спектроскопии, за исключением того факта, что исследуется область, совсем близкая к порогу ионизации неона (так,  $\omega = 1.54$  эВ,  $13\omega = 20$  эВ, что недостаточно для ионизации неона, но приходится как раз на одно из его возбужденных состояний). И именно исследованию эффектов влияния переходов через связанные возбужденные состояния на итоговые спектры фотоэлектронов посвящена часть диссертации. Переход к исследованию подобных эффектов требует выхода за рамки приближения сильного поля, которое обычно используется при обсуждении схем RABBITT, и поэтому важно иметь в наличии и другие подходы. Один из важных выводов работы состоит в том, что для характеристик излучения, типичных для таких экспериментов, применима стандартная нестационарная теория возмущений, способная давать не только качественные (что не является новым), но и количественные результаты.

Вместе с тем, к автореферату имеется ряд вопросов:

- Не везде внятно указывается энергия фотона. Так, например, для задачи RABBITT  $\omega + 13\omega + 15\omega + 17\omega$  может показаться, что энергия фотона  $\omega$  уже лежит в области вакуумного ультрафиолета.
- Не обсуждаются возможные причины расхождений экспериментальных данных с представленной теорией.
- Мало внимания уделяется обсуждению спектроскопических моделей. Их было использовано несколько, но не дается ответ на вопрос, какая из них является предпочтительной.

По результатам исследований в рецензируемых научных журналах опубликовано 11 статей, было представлено более 20 докладов на международных и всероссийских конференциях.

Работа 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 учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. «Оптика».

Ведущий научный работник научно-исследовательской  
лаборатории Моделирования квантовых процессов  
Тихоокеанского государственного университета,  
доцент, к.ф.-м.н.

(шифр научной специальности 01.04.16)

\_\_\_\_\_ Мазур А.И.  
подпись, дата 05.10.2024

Данные об авторе отзыва:

Мазур Александр Игоревич, кандидат физико-математических наук, доцент  
кафедры физики Тихоокеанского государственного университета,

Адрес:

680035, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, д. 136

Контакты:

e-mail: amazur@pnu.edu.ru

телефон:

Я, Мазур Александр Игоревич, 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 Мазура Александра Игоревича удостоверяю: