



## МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

### Заключение диссертационного совета МГУ.013.6 по диссертации на соискание учёной степени кандидата наук

Решение диссертационного совета от 10 октября 2024 года № 12

О присуждении Поповой Марии Михайловне, гражданке Российской Федерации 1995 года рождения, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Когерентный контроль при ионизации атомов электромагнитными полями кратных частот» по специальности 1.3.6. «Оптика» принята к защите 20 июня 2024 года, протокол № 8, диссертационным советом МГУ.013.6.

Соискатель Попова Мария Михайловна в 2019 году окончила с отличием магистратуру физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по специальности «Физика» со специализацией «Физика ядра и элементарных частиц». С 2019 года по 2023 год обучалась в очной аспирантуре Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по специальности «Оптика». В период подготовки диссертации с 01.04.2020 по 31.12.2023 соискатель Попова М.М. работала программистом первой категории отдела электромагнитных процессов и взаимодействия атомных ядер НИИЯФ МГУ. С 01.01.2024 и по настоящее время соискатель Попова М.М. работает научным сотрудником отдела электромагнитных процессов и взаимодействия атомных ядер НИИЯФ МГУ.

Диссертация выполнена на кафедре общей ядерной физики физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова и в отделе электромагнитных процессов и взаимодействия атомных ядер Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Научный руководитель — Грызлова Елена Владимировна, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник отдела электромагнитных процессов и взаимодействия атомных ядер Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Официальные оппоненты:

Попов Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры атомной физики, физики плазмы и микроэлектроники физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова,

Попруженко Сергей Васильевич, доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой теоретической ядерной физики Института лазерных и плазменных технологий Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (НИЯУ МИФИ),

Саранцева Татьяна Сергеевна, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры теоретической физики физического факультета Воронежского государственного университета, —

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 16 опубликованных работ, из них 11 по теме диссертации, в том числе 10 научных публикаций в рецензируемых научных изданиях, удовлетворяющих

Положению о присуждении ученых степеней в МГУ имени М.В. Ломоносова и рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.3.6. «Оптика». Все представленные в работе результаты получены автором лично или при его определяющем участии:

1. Gryzlova E.V., **Popova M.M.**, Grum-Grzhimailo A.N., Staroselskaya E.I., Douguet N., Bartschat K. *Coherent control of the photoelectron angular distribution in ionization of neon by a circularly polarized bichromatic field in the resonance region* // Physical Review A. — 2019. — Vol. 100, No. 6. — P. 063417. **JIF = 2.97 (WoS)**. Общий объем статьи = 1.25 п.л., личный вклад = 0.83 п.л.
2. Gryzlova E.V., **Popova M.M.**, Grum-Grzhimailo A.N. *Spin polarization of photoelectrons in bichromatic extreme-ultraviolet atomic ionization* // Physical Review A. — 2020. — Vol. 102, No. 5. — P. 053116. **JIF = 2.97 (WoS)**. Общий объем статьи = 1.06 п.л., личный вклад = 0.64 п.л.
3. You D., Ueda K., Gryzlova E.V., Grum-Grzhimailo A.N., **Popova M.M.**, Staroselskaya E.I., Tugs O., Orimo Y., Sato T., Ishikawa K.L., Carpeggiani P.A., Csizmadia T., Füle M., Sansone G., Maroju P.K., D'Elia A., Mazza T., Meyer M., Callegari C., Di Fraia M., Plekan O., Richter R., Giannessi L., Allaria E., De Ninno G., Trovò M., Badano L., Diviacco B., Gaio G., Gauthier D., Mirian N., Penco G., Ribič P.R., Spampinati S., Spezzani C., Prince K.C. *New Method for Measuring Angle-Resolved Phases in Photoemission* // Physical Review X. — 2020. — Vol. 10, No. 3. — P. 031070. **JIF = 14.42 (WoS)**. Общий объем статьи = 1.63 п.л., личный вклад = 0.68 п.л.
4. **Popova M.M.**, Gryzlova E.V., Kiselev M.D., Grum-Grzhimailo A. N. *Symmetry Violation in Bichromatic Ionization by a Free-Electron Laser: Photoelectron Angular Distribution and Spin Polarization* // Symmetry. — 2021. — Vol. 13, No. 6. — P. 1015. **JIF = 2.94 (WoS)**. Общий объем статьи = 1.41 п.л., личный вклад = 1.13 п.л.
5. Gryzlova E.V., Carpeggiani P., **Popova M.M.**, Kiselev M.D., Douguet N., Reduzzi M., Negro M., Comby A., Ahmadi H., Wanie V., Castrovilli M.C., Fischer A., Eng-Johnsson P., Meyer M., Bartschat K., Burkov S.M., Csizmadia T., Dumergue M., Kühn S., Harshitha N.G., Fule M., Aeenhvand F., Stienkemeier F., Iablonskyi D., Ueda K., Finetti P., Zangrando M., Mahne N., Ishikawa K.L., Plekan O., Prince K.C., Allaria E., Giannessi L., Callegari C., Grum-Grzhimailo A.N., Sansone G. *Influence of an atomic resonance on the coherent control of the photoionization process* // Physical Review Research. — 2022. — Vol. 4, No. 3. — P. 033231. **JIF = 4.23 (WoS)**. Общий объем статьи = 1.13 п.л., личный вклад = 0.43 п.л.
6. **Попова М.М.**, Грызлова Е.В., Киселев М.Д., Грум-Гржимайло А.Н. *Ионизация атомов бихроматическим полем кратных  $\omega + 2\omega$  частот произвольной поляризации* // Журнал экспериментальной и теоретической физики. — 2022. — Т. 162, № 1. — С. 72–86. **IF = 0.79 (РИНЦ)**. Общий объем статьи = 1.75 п.л., личный вклад = 1.40 п.л.  
Переводная версия: **Popova M.M.**, Gryzlova E.V., Kiselev M.D., Grum-Grzhimailo A.N. *Ionization of Atoms by a Bichromatic Fields of  $\omega + 2\omega$  Multiple Frequencies with Arbitrary Polarization* // Journal of Experimental and Theoretical Physics. — 2022. — Vol. 135, No. 1. — P. 58–72. **JIF = 0.80 (WoS)**.
7. **Popova M.M.**, Kiselev M.D., Burkov S.M., Gryzlova E.V., Grum-Grzhimailo A.N. *Spectroscopic Peculiarities at Ionization of Excited  $2p^5(^2P_{1/2})3s[K]_{0,1,2}$  States of Ne: Cooper Minima and Autoionizing Resonances* // Atoms. — 2022. — Vol. 10, No. 4. — P. 102. **JIF = 1.80 (WoS)**. Общий объем статьи = 1.13 п.л., личный вклад = 0.98 п.л.
8. **Попова М.М.**, Юдин С.Н., Грызлова Е.В., Киселев М.Д., Грум-Гржимайло А.Н. *Атмосекундная интерферометрия при участии дискретных состояний* // Журнал экспериментальной и теоретической физики. — 2023. — Т. 163, № 3. — С. 297–308. **IF = 0.79 (РИНЦ)**. Общий объем статьи = 1.31 п.л., личный вклад = 1.08 п.л.

Переводная версия: **Popova M.M.**, Yudin S.N., Gryzlova E.V., Kiselev M.D., Grum-Grzhimailo A.N. *Attosecond Interferometry Involving Discrete States* // Journal of Experimental and Theoretical Physics. — 2023. — Vol. 136, No. 3. — P. 259–268. **JIF = 0.80 (WoS).**

9. Юдин С.Н., **Попова М.М.**, Киселев М.Д., Бурков С.М., Грызлова Е.В., Грум-Гржимайло А.Н. *Аттосекундная интерферометрия атома неона: угловые распределения фотоэлектронов* // Вестник Московского университета. Серия 3: Физика, астрономия. — 2023. — Т. 78, № 3. — С. 2330401. **IF = 0.52 (РИНЦ).** Общий объем статьи = 0.63 п.л., личный вклад = 0.50 п.л.

Переводная версия: Yudin S.N., **Popova M.M.**, Kiselev M.D., Burkov S.M., Gryzlova E.V., Grum-Grzhimailo A.N. *Attosecond Interferometry of Neon Atom: Photoelectron Angular Distributions* // Moscow University Physics Bulletin. — 2023. — Vol. 78, No. 3. — P. 347–352. **JIF = 0.40 (WoS).**

10. **Popova M.M.**, Grum-Grzhimailo A.N., Gryzlova E.V. *On Phase and Amplitude Extraction in Bichromatic Ionization: A Proposal* // Photonics. — 2023. — Vol. 10, No. 10. — P. 1069. **JIF = 2.54 (WoS).** Общий объем статьи = 1.22 п.л., личный вклад = 0.98 п.л.

На автореферат диссертации поступило 3 отзыва, все положительные.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что они являются специалистами в области оптики, спектроскопии, атомной и ядерной физики, и имеют публикации по тематике диссертации. Указанные оппоненты не имеют совместных проектов и публикаций с соискателем.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований продемонстрирована возможность эффективного фазового управления (контроля) над аттосекундной динамикой электронов в полихроматической ионизации.

Результаты диссертации могут быть использованы в МГУ имени М.В. Ломоносова и других высших учебных заведениях в основных образовательных программах при создании новых и обновлении имеющихся материалов учебных курсов. Помимо фундаментального интереса, развитые методы позволят решать и некоторые практические задачи, возникающие при работе с высокочастотным (порядка 10 электронвольт) излучением: в частности, схема когерентного контроля “ $\omega + 2\omega$ ” может применяться для диагностики пучка на лазерах на свободных электронах. Развитый формализм позволяет делать предсказания при планировании экспериментов по ионизации атомов в полихроматических полях.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

*Для процесса бихроматической ионизации атомов полем двух кратных частот “ $\omega + 2\omega$ ”:*

1. Обнаружены две выделенные геометрии бихроматического поля “ $\omega + 2\omega$ ”: (а) обе компоненты обладают круговой поляризацией в одной плоскости и (б) одна поляризованная циркулярно, а вторая линейно в перпендикулярном направлении, — для которых форма угловых распределений фотоэлектронов перестает зависеть от относительной фазы между гармониками поля, и когерентный контроль сводится к вращению углового распределения и поляризации спина, то есть происходит вырождение фазового контроля.
2. Эффективность когерентного контроля над угловыми распределениями фотоэлектро-

- нов при ионизации атомов бихроматическим полем “ $\omega + 2\omega$ ” максимальна для линейно и циркулярно поляризованных компонент поля и при условии равенства одно- и двухфотонных амплитуд степень когерентного контроля достигает 100%.
3. Степень спиновой поляризации в дифференциальных по углу вылета спектрах фотоэлектронов при ионизации бихроматическим полем “ $\omega + 2\omega$ ” для энергий основной гармоники  $\omega$ , соответствующей энергиям перехода из основного в возбужденные состояния, достигает 80% для циркулярно поляризованных в одной плоскости полей при условии равенства одно- и двухфотонных амплитуд.
  4. За счет интерференции между одно- и двухфотонной ионизацией атомов в бихроматическом поле “ $\omega + 2\omega$ ” возможны как изменение абсолютной величины вектора поляризации спина фотоэлектрона, так и его переориентация вплоть до появления новых компонент.
  5. Степень когерентного контроля над абсолютной величиной вектора спиновой поляризации фотоэлектрона при ионизации атома двухкомпонентным при условии равенства одно- и двухфотонных амплитуд превышает 50%.

*Для процесса полихроматической ионизации атомов полем нескольких частот “ $\omega + 13\omega + 15\omega + \dots$ ” в схеме RABBITT спектроскопии, то есть при интерференции двухфотонных амплитуд перехода с испусканием и поглощением фотонов частоты  $\omega$ :*

6. Теория возмущений применима для описания спектров и угловых распределений фотоэлектронов с энергией до 10 эВ в схеме RABBITT, то есть при энергиях фотонов высоких гармоник затравочного ИК поля  $\omega$ , незначительно превышающих порог ионизации атомов.
7. В низкоэнергетической области фотоэлектронного спектра в схеме RABBITT, в которой энергия фотоэлектрона по порядку величины равна энергии ИК-фотона  $\epsilon_e \approx \omega_{ir}$ , величина осцилляций вероятности фотоэмиссии электронов от фазы ИК-поля увеличивается с ростом энергии.
8. Зависимость параметров угловой анизотропии фотоэлектронов в схеме RABBITT от фазы ИК-поля является периодической функцией, и амплитуда ее изменений в первой от порога ионизации атома боковой линии уменьшается за счет влияния переходов через дискретные состояния.

На заседании 10 октября 2024 года диссертационный совет принял решение присудить Поповой Марии Михайловне учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **16** человек, из них **7** докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из **22** человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» — **16**, «против» — **нет**, недействительных бюллетеней — **нет**.

Председатель  
диссертационного совета МГУ.013.6  
доктор физико-математических наук,  
профессор

Салецкий Александр Михайлович

Учёный секретарь  
диссертационного совета МГУ.013.6  
доктор физико-математических наук,  
доцент

Косарева Ольга Григорьевна

Дата оформления заключения: 10 октября 2024 года.