



## МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

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

Решение диссертационного совета от 18 марта 2025 года № 3

О присуждении Грызловой Елене Владимировне, гражданке Российской Федерации, 1980 года рождения, учёной степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Векторные корреляции в нелинейных процессах ионизации атомов высокочастотным излучением» по специальности 1.3.6. Оптика принята к защите 23 декабря 2024 года, протокол № 21, диссертационным советом МГУ.013.6.

Соискатель Грызлова Елена Владимировна защитила диссертацию на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук на тему «Поляризация спектров перекрывающихся лазерно-индуцированных атомных резонансов» по специальностям 01.04.16 — «Ядерная физика» и 01.04.04 — «Физическая электроника» 16 июня 2005 года на заседании диссертационного совета К 501.001.06 при Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова. С 2005 года соискатель работает в Научно-исследовательском институте ядерной физики имени Д.В. Скобельцына Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (НИИЯФ МГУ), в настоящее время занимает должность старшего научного сотрудника отдела электромагнитных процессов и взаимодействия атомных ядер НИИЯФ МГУ.

Диссертация выполнена 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 консультант — Грум-Гржимайло Алексей Николаевич, доктор физико-математических наук, ведущий 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:

Пальчиков Виталий Геннадьевич, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник отдела № 77 "Перспективных исследований и измерений времени и частоты" Главного метрологического центра Государственной службы времени и частоты РФ Всероссийского научно-исследовательского института физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ),

Фролов Михаил Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической физики физического факультета Воронежского государственного университета,

Кузаков Константин Алексеевич, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры физики атомного ядра и квантовой теории столкновений физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, —

дали положительные отзывы на диссертацию.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что они являются специалистами в области оптики и нелинейной оптики, атомной и теоретической физики и имеют

публикации по тематике диссертации. Указанные оппоненты не имеют совместных проектов и публикаций с соискателем.

Соискатель имеет 142 опубликованные работы, из них 35 по теме диссертации в том числе 29 научных публикаций в рецензируемых научных изданиях, удовлетворяющих Положению о присуждении учёных 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.**, Kiselev M.D., Popova M.M., Grum-Grzhimailo A.N. *Evolution of the ionic polarization in multiple sequential ionization: General equations and an illustrative example* // Physical Review A. — 2023. — Vol. 107, no. 1. — P. 013111. — **IF = 2,6 (WoS)**, общий объем статьи = 0.7 п.л., личный вклад = 0.1 п.л.
2. Popova M.M., Kiselev M.D., Burkov S.M., **Gryzlova E.V.**, Grum-Grzhimailo A.N. *Spectroscopic Peculiarities at Ionization of Excited  $2p^5(^2P_{Jf})3s[K]_{0,1,2}$  States of Ne: Cooper Minima and Autoionizing Resonances* // Atoms. — 2022. — Vol. 10, no. 4. — **IF= 1,7 (WoS)**, общий объем статьи = 0.81 п.л., личный вклад = 0.15 п.л.
3. Kiselev M.D., Carpeggiani P.A., **Gryzlova E.V.**, Burkov S.M., Reduzzi M., Dubrouil A., Facciala D., Negro M., Ueda K., Frassetto F., Stienkemeier F., Ovcharenko Y., Meyer M., Fraia M. D., Plekan O., Prince K. C., Callegari C., Sansone G., Grum-Grzhimailo A.N. *Photoelectron spectra and angular distribution in sequential two-photon double ionization in the region of autoionizing resonances of ArII and KrII* // Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics. — 2020. — Vol. 53, no. 24. — P. 244006. — **IF =1,7 (WoS)**, общий объем статьи = 0.7 п.л., личный вклад = 0.1 п.л.
4. Carpeggiani P. A., **Gryzlova E.V.**, Reduzzi M., Dubrouil A., Facciala D., Negro M., Ueda K., Burkov S. M., Frassetto F., Stienkemeier F., Ovcharenko Y., Meyer M., Plekan O., Finetti P., Prince K. C., Callegari C., Grum-Grzhimailo A. N., Sansone G. *Complete reconstruction of bound and unbound electronic wavefunctions in two-photon double ionization* // Nature physics. — 2019. — Vol. 15. — P. 170–177. — **IF = 19,684 (WoS)**, общий объем статьи = 0.56 п.л., личный вклад = 0.25 п.л.
5. **Gryzlova E.V.**, Grum-Grzhimailo A.N., Kiselev M.D., Burkov S.M. *Two-photon sequential double ionization of argon in the region of Rydberg autoionizing states of  $Ar^+$*  // European Physical Journal D. — 2019. — Vol. 73. — P. 93. — **IF = 1,45 (WoS)**, общий объем статьи = 0.43 п.л., личный вклад = 0.35 п.л.
6. **Gryzlova E.V.**, Grum-Grzhimailo A.N. *Effects of Hyperfine Interaction in Atomic Photoionization* // Springer Series in Chemical Physics. — 2019. — Vol. 119 (Progress in Photon Science: Recent Advances). — P. 243–261. — **SJR = 0,112 (Scopus)**, общий объем статьи = 1.18 п.л., личный вклад = 0.95 п.л.
7. Grum-Grzhimailo A.N., **Gryzlova E.V.** *New Trends in ‘Complete’ Experiment on Atomic Photoionization* // Springer Series in Chemical Physics. — 2019. — Vol. 119 (Progress in Photon Science: Recent Advances). — P. 263–282. — **SJR = 0,112 (Scopus)**, общий объем статьи = 1.25 п.л., личный вклад = 0.75 п.л.
8. Ilchen M., Hartmann G., **Gryzlova E.V.**, Achner A., Allaria E., Beckmann A., Braune M., Buck J., Callegari C., Coffee R. N., Cucini R., Danailov M., Fanis A. D., Demidovich A., Ferrari E., Finetti P., Glaser L., Knie A., Lindahl A. O., Plekan O., Mahne N., Mazza T., Raimondi L., Roussel E., Scholz F., Seltmann J., Shevchuk I., Svetina C., Walter P., Zangrando M., Viefhaus J., Grum-Grzhimailo A.N., Meyer M. *Symmetry breakdown of electron emission in extreme ultraviolet photoionization of argon* // Nature Communications. — 2018. — Vol. 9. — P. 4659. — **IF = 16,6 (WoS)**, общий объем статьи = 0.5 п.л., личный вклад =

0.2 п.л.

9. Augustin S., Schulz M., Schmid G., Schnorr K., **Gryzlova E.V.**, Lindenblatt H., Meister S., Liu Y. F., Trost F., Fechner L., Grum-Grzhimailo A. N., Burkov S. M., Braune M., Treusch R., Gisselbrecht M., Schroter C.D., Pfeifer T., Moshhammer R. *Signatures of autoionization in the angular electron distribution in two-photon double ionization of Ar* // Physical Review A. — 2018. — Vol. 98, no. 3. — P. 033408. — **IF = 2,6 (WoS)**, общий объем статьи = 0.44 п.л., личный вклад = 0.15 п.л.
10. Serkez S., Geloni G., Tomin S., Feng G., **Gryzlova E.V.**, Grum-Grzhimailo A.N., Meyer M. *Overview of options for generating high-brightness attosecond x-ray pulses at free-electron lasers and applications at the European XFEL* // Journal of Optics. — 2018. — Vol. 20, no. 2. — P. 024005. — **IF = 2,1 (WoS)**, общий объем статьи = 0.81 п.л., личный вклад = 0.32 п.л.
11. Grum-Grzhimailo A.N., **Gryzlova E.V.**, Fritzsche S., Kabachnik N.M. *Photoelectron angular distributions and correlations in sequential double and triple atomic ionization by free electron lasers* // Journal of Modern Optics. — 2016. — Vol. 63, no. 4. — P. 334–357. — **IF = 1,29 (WoS)**, общий объем статьи=1.5 п.л., личный вклад=0.9 п.л.
12. **Gryzlova E.V.**, O’Keeffe P., Cubaynes D., Garcia G.A., Nahon L., Grum-Grzhimailo A.N., Meyer M. *Isotope effects in resonant two-color photoionization of Xe in the region of the  $5p^5(^2P_{1/2})4f[5/2]_2$  autoionizing state* // New Journal of Physics. — 2015. — Vol. 17, no. 4. — P. 043054. — **IF = 3,3 (WoS)**, общий объем статьи = 0.81 п.л., личный вклад = 0.65 п.л.
13. **Gryzlova E.V.**, Grum-Grzhimailo A.N., Staroselskaya E.I., Strakhova S.I. *Similarity between the angular distributions of the first- and second-step electrons in sequential two-photon atomic double ionization* // Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena. — 2015. — Vol. 204. — P. 277–283. — **IF = 1,9 (WoS)**, общий объем статьи = 0.44 п.л., личный вклад = 0.35 п.л.
14. **Gryzlova E.V.**, Grum-Grzhimailo A.N., Kuzmina E.I., Strakhova S.I. *Sequential two-photon double ionization of noble gases by circularly polarized XUV radiation* // Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics. — 2014. — Vol. 47, no. 19. — P. 195601. — **IF = 1,7 (WoS)**, общий объем статьи = 0.69 п.л., личный вклад = 0.55 п.л.
15. Grum-Grzhimailo A.N., **Gryzlova E.V.** *Nondipole effects in the angular distribution of photoelectrons in two-photon two-color above-threshold atomic ionization* // Physical Review A: Atomic, Molecular, and Optical Physics. — 2014. — Vol. 89, no. 4. — P. 043424. — **IF = 2,97 (WoS)**, общий объем статьи = 0.75 п.л., личный вклад = 0.45 п.л.
16. **Gryzlova E.V.**, Grum-Grzhimailo A.N., Strakhova S.I., Meyer M. *Non-dipole effects in the angular distribution of photoelectrons in sequential two-photon double ionization: argon and neon* // Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics. — 2013. — Vol. 46, no. 16. — P. 164014. — **IF = 1,7 (WoS)**, общий объем статьи = 0.38 п.л., личный вклад = 0.3 п.л.
17. O’Keeffe P., **Gryzlova E.V.**, Cubaynes D., Garcia G. A., Nahon L., Grum-Grzhimailo A.N., Meyer M. *Isotopically resolved photoelectron imaging unraveling complex atomic autoionization dynamics* // Physical Review Letters. — 2013. — Vol. 111, no. 24. — P. 243002. — **IF = 8,1 (WoS)**, общий объем статьи = 0.31 п.л., личный вклад = 0.12 п.л.
18. Grum-Grzhimailo A., **Gryzlova E.V.**, Meyer M. *Non-dipole effects in the angular distribution of photoelectrons in sequential two-photon atomic double ionization* // Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics. — 2012. — Vol. 45, no. 21. — P. 215602. — **IF = 1,7 (WoS)**, общий объем статьи = 0.56 п.л., личный вклад = 0.34 п.л.
19. Rouzee A., Johnsson P., **Gryzlova E.V.**, Fukuzawa H., Yamada A., Siu W., Huismans Y.,

- Louis E., Bijkerk F., Holland D.M.P., Grum-Grzhimailo A.N., Kabachnik N.M., Vrakking M.J.J., Ueda K. *Angle-resolved photoelectron spectroscopy of sequential three-photon triple ionization of neon at 90.5 eV photon energy* // Physical Review A: Atomic, Molecular, and Optical Physics. — 2011. — Vol. 83, no. 3. — 031401(R). — **IF = 2,97 (WoS)**, общий объем статьи=0.25 п.л., личный вклад=0.1 п.л.
20. Fritzsche S., Grum-Grzhimailo A.N., **Gryzlova E.V.**, Kabachnik N.M. *Sequential two-photon double ionization of the 4d shell in xenon* // Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics. — 2011. — Vol. 44, no. 17. — P. 175602. — **IF = 1,7 (WoS)**, общий объем статьи = 0.63 п.л., личный вклад = 0.38 п.л.
21. **Gryzlova E.V.**, Ma R., Fukuzawa H., Motomura K., Yamada A., Ueda K., Grum-Grzhimailo A.N., Kabachnik N.M., Rouzee A., Hundermark A., Vrakking M., Johnsson P., Nagaya K., Yase S., Mizoguchi Y., Yao M., Nagasono M., Tono K., Togashi T., Senba Y., Ohashi H., Yabashi M., Ishikawa T. *Doubly resonant three-photon double ionization of Ar atoms induced by an EUV free electron laser* // Physical Review A: Atomic, Molecular, and Optical Physics. —2011. — Vol. 84, no. 6. — P. 063405. — **IF = 2,97 (WoS)**, общий объем статьи = 0.25 п.л., личный вклад = 0.15 п.л.
22. Meyer M., Cubaynes D., Dardis J., Hayden P., Hough P., Richardson V., Kennedy E.T., Costello J. T., Dusterer S., Li W.B., Radcliffe P., Redlin H., Feldhaus J., Strakhova S.I., **Gryzlova E.V.**, Grum- Grzhimailo A.N., Taieb R., Maquet A. *Two-Color Experiments in the Gas Phase at FLASH* // Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena. — 2010. — Vol. 181, no. 2. — P. 111–115. — **IF = 1,9 (WoS)**, общий объем статьи = 0.69 п.л., личный вклад = 0.2 п.л.
23. **Gryzlova E.V.**, Grum-Grzhimailo A.N., Fritzsche S., Kabachnik N.M. *Angular correlations between two electrons emitted in the sequential two-photon double ionization of atoms* // Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics. — 2010. — Vol. 43, no. 22. — P. 225602. — **IF = 1,7 (WoS)**, общий объем статьи = 0.75 п.л., личный вклад = 0.6 п.л.
24. Fukuzawa H., **Gryzlova E.V.**, Motomura K., Yamada A., Ueda K., Grum-Grzhimailo A.N., Strakhova S., Nagaya K., Sugishima A., Mizoguchi Y., Iwayama H., Yao M., Saito N., Piseri P., Mazza T., Devetta M., Coreno M., Nagasono M., Tono K., Yabashi M., Ishikawa T., Ohashi H., Kimura H., Togashi T., Senba Y. *Photoelectron spectroscopy of sequential three-photon double ionization of Ar irradiated by EUV free-electron laser pulses* // Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics. — 2010. — Vol. 43, no. 11. — P. 111001. — **IF = 1,7 (WoS)**, общий объем статьи = 0.25 п.л., личный вклад = 0.1 п.л.
25. Kurka M., Rudenko A., Foucar L., Kuhnle K., Jiang Y., Ergler T., Havermeier T., Smolarski M., Schossler S., Cole K., Schoffler M., Dorner R., Gensch M., Dusterer S., Treusch R., Fritzsche S., Grum-Grzhimailo A. N., **Gryzlova E.V.**, Kabachnik N.M., Schroter C.D., Moshhammer R., Ullrich J. *Two-photon double ionization of Ne by free-electron laser radiation: a kinematically complete experiment* // Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics. — 2009. — Vol. 42, no. 14. — P. 141002. — **IF = 1,7 (WoS)**, общий объем статьи = 0.31 п.л., личный вклад = 0.1 п.л.
26. Fritzsche S., Grum-Grzhimailo A.N., **Gryzlova E.V.**, Kabachnik N.M. *Sequential two photon double ionization of Kr atoms* // Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics. — 2009. — Vol. 42, no. 14. — P. 145602. — **IF = 1,7 (WoS)**, общий объем статьи = 0.38 п.л., личный вклад = 0.22 п.л.
27. Grum-Grzhimailo A.N., **Gryzlova E.V.**, Strakhova S.I., Kabachnik N.M., Fritzsche S. *Angular distributions and correlations in sequential two-photon atomic double ionization* // Journal of Physics: Conference Series. — 2009. — Vol. 194, no. 1. — P. 012004. — **SJR = 0,18 (Scopus)**, общий объем статьи = 0.69 п.л., личный вклад = 0.55 п.л.

28. Fritzsche S., Grum-Grzhimailo A.N., **Gryzlova E.V.**, Kabachnik N.M. *Angular distributions and angular correlations in sequential two-photon double ionization of atoms* // Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics. — 2008. — Vol. 41, no. 16. — P. 199801. — **IF = 1,7 (WoS)**, общий объем статьи = 0.75 п.л., личный вклад = 0.45 п.л.
29. Meyer M., Cubaynes D., Glijer D., Dardis J., Hayden P., Hough P., Richardson V., Kennedy E., Costello J., Radcliffe P., Dusterer S., Li W., Azima A., Redlin H., Feldhaus J., Taieb R., Maquet A., Grum-Grzhimailo A.N., **Gryzlova E.V.**, Strakhova S.I. *Polarization control in atomic two-color above threshold ionization* // Physical Review Letters. — 2008. — Vol. 101, no. 19. — P. 193002. — **IF = 8,1 (WoS)**, общий объем статьи = 0.25 п.л., личный вклад = 0.1 п.л.

На автореферат диссертации поступило 3 отзыва, все положительные.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований предложены методы идентификации и интерпретации новых, ранее не наблюдававшихся, автоионизационных состояний в спектрах положительно заряженных ионов инертных газов. Предложен метод определения постоянной сверхтонкой структуры для частично перекрывающихся подуровней. Продемонстрирована возможность извлечения всех неизвестных амплитуд процесса последовательной кратной ионизации. Полученные результаты могут применяться для диагностики пучков, генерируемых рентгеновскими лазерами на свободных электронах, степень линейной и круговой поляризации. В частности, измерение функции угловой корреляции позволяет определить такую тонкую характеристику как степень продольной когерентности пучка.

Результаты диссертации могут быть использованы в научно-исследовательских институтах для ознакомления с результатами и методами исследований по соответствующей тематике.

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:

1. При последовательной двойной ионизации атомов инертных газов (two-photon double ionization – 2PDI) выстроенность промежуточного иона  $A^+$  проявляется тем сильнее (коэффициент при поляризационном параметре выстроенности  $A_2$  тем больше), чем более когерентно заселение подуровней его тонкой структуры, в предельном случае полностью когерентного заселения роль выстроенности в 3 раза выше, чем в предельном случае полностью некогерентного заселения. Утверждение справедливо для 2PDI как излучением линейной, так и круговой поляризации, как в дипольном приближении, так и с учетом первых поправок к дипольному приближению, для фотоэлектронов как первой, так и второй ступени.
2. При 2PDI атомов инертных газов вклад поляризации промежуточного состояния  $A^+$  зависит от состояния конечного иона  $A^{2+}$ , и всегда имеет противоположный знак для термов  $np^4\ ^1S$  и  $np^4\ ^3P$ . В пренебрежении зависимостью волновых функций непрерывного спектра от терма системы коэффициент при поляризационном параметре выстроенности  $A_2$  относится как 1:1/10:-1/2 для термов конечного иона  $np^4\ ^1S$ ,  $^1D$  и  $^3P$ , соответственно. Утверждение справедливо для 2PDI как излучением линейной, так и круговой поляризации, как в дипольном приближении, так и с учетом первых поправок к ди-

полному приближению, для фотоэлектронов как первой, так и второй ступени.

3. При 2PDI атомов инертных газов в области энергии, соответствующей бесструктурно-непрерывному спектру, угловые распределения фотоэлектронов, испущенных на первой и второй ступени, подобны. Под подобием подразумевается одинаковый знак параметров угловой анизотропии и одинаковая энергетическая зависимость. Это подобие сохраняется при 2PDI полем как линейной, так и круговой поляризации, при любой степени когерентности излучения, как в дипольном приближении, так и с учетом первых поправок к нему, для любого терма конечного дважды заряженного иона  $A^{2+}$ .
4. Для процесса 2PDI возможна реализация полного эксперимента, то есть извлечение всех комплексных амплитуд процесса из измеряемых величин. А именно, измерение параметров угловой анизотропии  $\beta_{2,4}^{l,c}$  второго электрона в 2PDI полями линейной и круговой поляризации позволяет, в приближении независимых от терма состояний непрерывного спектра, извлечь все комплексные амплитуды ионизации второй ступени, и, в дополнение, определить модуль отношения амплитуд первой ступени. При дополнительном измерении какого либо из  $\beta_{2,4}^{l,c}$  параметра угловой анизотропии первого электрона, возможно извлечь и фазу амплитуды первой ступени.
5. Зная какую-либо дифференциальную характеристику (линейный или круговой дихроизм, параметр угловой анизотропии фотоэлектронов  $\beta_{2,4}$ ) процесса резонансной двух-фотонной ионизации для изотопов с нулевым и отличным от нуля спином ядра, можно извлечь параметр сверхтонкой структуры промежуточного, резонансно возбуждаемого состояния, для подуровней, расстояние между которыми сопоставимо с их шириной, то есть когда уровни не могут быть разделены спектроскопически.

На заседании 18 марта 2025 года диссертационный совет принял решение присудить Грызловой Елене Владимировне учёную степень доктора 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» — **14**, «против» — **1**, недействительных бюллетеней — **1**.

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: 18 марта 2025 года.