



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук» (ИПФ РАН)

по диссертации Хайрулина Ильяса Равильевича «Когерентные и поляризационные эффекты при формировании и усилении аттосекундных импульсов в модулированной активной среде плазменного рентгеновского лазера» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности: 1.3.19. Лазерная физика.

Работа выполнена в Отделе сверхбыстрых процессов (отд. 330) Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук».

Научный руководитель – Рябикин Михаил Юрьевич, ведущий научный сотрудник ИПФ РАН, кандидат физико-математических наук.

В 2019 г. соискатель ученой степени окончил магистратуру в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования "Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского" по направлению подготовки/ специальности 03.04.03 Радиофизика.

В период с 01.09.2019 по 31.08.2023 обучался в аспирантуре Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук».

Свидетельство об окончании аспирантуры № 105200 00000012 от 10 июля 2023 года.

На разных этапах подготовки диссертации соискатель Хайрулин Ильяс Равильевич работал младшим научным сотрудником в отделах сверхбыстрых процессов (отд. 330) и импульсных лазеров с высокой средней мощностью (отд. 350) в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук».

## **Личное участие аспиранта в получении результатов, изложенных в диссертации**

Автор внес основной вклад в получение результатов, представленных в диссертации. Постановка задач и анализ полученных результатов проводились совместно с научным руководителем М. Ю. Рябикиным при участии В. А. Антонова, О. А. Кочаровской.

## **Научная новизна и основные результаты диссертационного исследования**

1. Построена аналитическая модель, позволяющая описать основные закономерности распространения резонансного ВУФ/рентгеновского излучения в оптически модулированной активной среде плазменного рентгеновского лазера на основе водородоподобных ионов.

2. На основе проведённых аналитических и численных исследований найдены оптимальные условия преобразования пикосекундного импульса резонансного ВУФ/рентгеновского излучения в последовательность субфемто-/аттосекундных импульсов вследствие генерации интенсивных синфазных комбинационных спектральных компонент при его распространении в оптически модулированной водородоподобной активной плазме с умеренной плазменной дисперсией на частоте модулирующего поля.

3. Показана возможность значительного увеличения эффективности усиления субфемто-/аттосекундных импульсов высоких гармоник благодаря конструктивной их интерференции с генерируемым многочастотным когерентно рассеянным полем при распространении в оптически модулированной водородоподобной активной плазме с умеренной дисперсией на частоте модулирующего поля.

4. Проведено обобщение метода усиления излучения совокупности высоких гармоник, образующих последовательность аттосекундных импульсов, на случай неводородоподобной, а именно, неоноподобной активной плазмы.

5. Показана возможность усиления и управления поляризацией излучения совокупности высоких гармоник в оптически модулированной неоноподобной активной плазменной среде.

## **Степень достоверности результатов проведенных исследований**

Высокая степень достоверности результатов проведенных исследований обеспечивается корректным применением математических методов и надёжных экспериментальных данных о характеристиках рассматриваемых ионов и подтверждается согласованностью результатов численных расчётов с полученными аналитическими решениями. Физическая трактовка полученных результатов находится в согласии с общепризнанными представлениями. Результаты работы успешно представлены в передовых физических журналах и докладывались на ряде всероссийских и международных конференциях.

## **Практическая и теоретическая значимость результатов исследования**

Исследованные в диссертации когерентные и поляризационные эффекты открывают возможность создания лабораторного источника интенсивных аттосекундных импульсов ВУФ/рентгеновского излучения с управляемой поляризацией, которые могут быть использованы в рентгеновской спектроскопии и аттосекундной метрологии. Кроме того, предложенная аналитическая модель позволяет оценить, не прибегая к трудоёмким численным расчётам, основные условия, необходимые для получения (генерации и/или

усиления) многочастотного излучения с необходимыми спектрально-временными и поляризационными характеристиками.

**Список работ, опубликованных в журналах из Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук**

1. Khairulin I.R., Antonov V.A., Ryabikin M.Yu., Kocharovskaya O. Sub-fs pulse formation in a seeded hydrogenlike plasma-based x-ray laser dressed by an infrared field: analytical theory and numerical optimization // *Phys. Rev. Research.* – 2020. – V. 2, № 2. – Art. no. 023255.
2. Хайрулин И.Р., Антонов В.А., Кочаровская О.А. Интерференционные эффекты в процессе усиления высоких гармоник в активной среде плазменного рентгеновского лазера, модулированного оптическим полем // *Квантовая электроника.* – 2020. – Т. 50, № 4. – С. 375-385.
3. Khairulin I.R., Antonov V.A., Ryabikin M.Yu., Kocharovskaya O.A. Influence of detuning of the seeding VUV radiation from the resonance on formation of subfemtosecond pulses in the active medium of the plasma-based X-ray laser dressed by an intense IR field // *Physics of Wave Phenomena.* – 2021. – V. 29, № 3, – P. 234-243.
4. Khairulin I.R., Antonov V.A., Ryabikin M.Yu., Kocharovskaya O. Enhanced amplification of attosecond pulses in a hydrogen-like plasma-based X-ray laser modulated by an infrared field at the second harmonic of fundamental frequency // *Photonics.* – 2022. – V. 9, № 2. – Art. no. 51.
5. Khairulin I.R., Antonov V.A., Ryabikin M.Yu., Berrill M.A., Shlyaptsev V.N., Rocca J.J., Kocharovskaya O. Amplification of elliptically polarized sub-femtosecond pulses in neon-like X-ray laser modulated by an IR field // *Sci. Rep.* – 2022. – V. 12. – Art. no. 6204.
6. Khairulin I.R., Antonov V.A., Ryabikin M.Yu., Kocharovskaya O. Mutual amplification of high-order harmonics in an optically dressed hydrogenlike plasma-based x-ray laser // *Phys. Rev. A.* – 2023. – V. 107, № 2. – Art. no. 023507.
7. Хайрулин И.Р., Антонов В.А., Рябикин М.Ю. О возможности преобразования с увеличением энергии линейно поляризованных аттосекундных импульсов высоких гармоник в циркулярно поляризованные в оптически модулированной неоноподобной активной среде плазменного рентгеновского лазера // *Письма в ЖЭТФ.* – 2023. – Т. 117, № 9, – С. 658-669.
8. Antonov V.A., Khairulin I.R., Ryabikin M.Yu., Berrill M.A., Shlyaptsev V.N., Rocca J.J., Kocharovskaya O. Amplification and ellipticity enhancement of high-order harmonics in a neonlike x-ray laser dressed by an IR field // *Phys. Rev. A.* – 2023. – Т. 107, № 6. – Art. no. 063511.

Работа аспиранта представляет высокую научную ценность. Материалы диссертации в работах, опубликованных соискателем ученой степени, изложены полно. Ссылки на отдельные результаты, в том числе работы, выполненные аспирантом в соавторстве, оформлены корректно.

Научная специальность, которой соответствует диссертация: 1.3.19. Лазерная физика.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Диссертация соответствует критериям, установленным в соответствии с Федеральным законом Российской Федерации от 23 августа 1996 года № 127-ФЗ "О науке и государственной научно-технической политике".

Диссертация «Когерентные и поляризационные эффекты при формировании и усилении аттосекундных импульсов в модулированной активной среде плазменного рентгеновского лазера» Хайрулина Ильеса Равильевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности: 1.3.19. Лазерная физика.

Настоящее заключение составлено на основании решения Ученого совета отделения нелинейной динамики и оптики по проведению итоговой аттестации по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности: 1.3.19. Лазерная физика.

Присутствовало на заседании 16 чел.

Результаты голосования: «за» — 16 чел., «против» — 0 чел., «воздержалось» — 0 чел.

протокол № 7 от « 22 » июня 2023 г.



Коржиманов Артем Владимирович,  
кандидат физико-математических наук,  
Учёный секретарь отделения нелинейной динамики  
и оптики, зам.зав.отделом 330