

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.069.02 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО НАУЧНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК» ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 17.12.2018 № 82

О присуждении Емелиной Анне Сергеевне, гражданке РФ,
ученой степени кандидата физико-математических наук

Диссертация «Генерация гармоник высокого порядка лазерного излучения среднего ИК диапазона в газах» по специальности 01.04.21 – лазерная физика принята к защите 15 октября 2018 г., протокол № 79, диссертационным советом Д 002.069.02 на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук» (ИПФ РАН) (603950, Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46; приказ ФАНО № 334 от 30.06.2015 г.).

Соискатель Емелина Анна Сергеевна, 1990 года рождения, в 2014 году окончила Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И.Лобачевского", работает младшим научным сотрудником в ИПФ РАН.

Диссертация выполнена в отделе сверхбыстрых процессов ИПФ РАН. Научный руководитель – кандидат физико-математических наук Рябикин Михаил Юрьевич, ведущий научный сотрудник ИПФ РАН.

Официальные оппоненты - Фролов Михаил Владимирович, доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой теоретической физики, главный научный сотрудник Воронежского государственного университета; Попов Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова - дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского" в своем положительном заключении, подписанном Кудриным Александром Владимировичем, доктором физико-математических наук, заведующим кафедрой электродинамики, профессором ННГУ, утвержденном проректором по научной работе доктором физико-математических наук

Казанцевым Виктором Борисовичем, указала, что диссертация Емелиной А.С. является законченной научно-квалификационной работой, которая соответствует выбранной специальности и отвечает критериям «Положения о порядке присвоения ученых степеней», а ее автор заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Соискатель имеет 33 опубликованных работы по теме диссертации: 4 статьи в рецензируемых научных журналах, 8 статей в сборниках, 21 тезис докладов на российских и международных конференциях. Наиболее значимыми работами являются:

1. *A.S. Emelina, M.Yu. Emelin, M.Yu. Ryabikin* «О возможности генерации высоких гармоник с энергиями квантов более 10 кэВ при взаимодействии интенсивного излучения среднего ИК диапазона с нейтральными газами», *Квантовая электроника*, т.44, №5, с.470-477 (2014).
2. *A.S. Emelina, M.Yu. Emelin, and M.Yu. Ryabikin* «Multi-keV ultrahigh-order harmonics produced in gases with subrelativistically intense mid-IR laser pulses», *JOSA B*, Vol. 32, No 12, pp.2478-2487 (2015).
3. *A.S. Emelina, M.Yu. Emelin, and M.Yu. Ryabikin* «Subattosecond keV beats of the high-harmonic x-ray field produced with few-cycle mid-IR laser pulses: Magnetic-field effects», *Phys. Rev. A*, Vol. 93, 043802 (2016).
4. *A.S. Emelina, M.Yu. Emelin, R.A. Ganeev, M. Suzuki, H. Kuroda, and V.V. Strelkov* «Two-color high-harmonic generation in plasmas: efficiency dependence on the generating particle properties», *Optics Express*, Vol. 24, No 13, pp.13971-13983 (2016).

На диссертацию и автореферат поступили 7 отзывов. Все отзывы положительные. В них отмечают актуальность диссертации, научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В положительном отзыве ведущей организации были сделаны следующие замечания: 1) при обобщении «приближения сильного поля» для учёта влияния магнитного поля лазерного импульса рассматривается только компонента дипольного момента вдоль направления электрического поля лазерного импульса, что представляется недостаточно обоснованным. Было бы уместным исследовать частотный спектр компоненты вдоль направления распространения лазерного импульса и определить вклад этого спектра в полный спектр генерации высоких гармоник; 2) в главе 1 показывается, что при учёте опустошения основного состояния в рамках «приближения сильного поля» в спектре высоких гармоник может значительно уменьшаться спектральная интенсивность не только гармоник в области края «плато», но и на всем «плато» в целом. Остаётся непонятной причина сильного уменьшения спектральной интенсивности гармоник, генерируемых на переднем фронте

лазерного импульса; 3) из рисунков 2.4, 2.6, 2.8 диссертации видно, что спектральная интенсивность содержит модуляцию с малым частотным масштабом вблизи двух рассматриваемых пиков. Причиной этой модуляции, судя по всему, является интерференция коротких и длинных траекторий, соответствующих одной и той же энергии возвращающегося электрона, но разному времени его рождения. Неясным остаётся то, почему магнитное поле лазерного импульса не приводит к существенному подавлению вклада длинной траектории; 4) при расчёте спектров генерации высоких гармоник в плазме, состоящей из ионов серебра и золота остается неясным, какое магнитное квантовое число m активной орбитали атомарного иона бралось в расчётах. Кроме того, при рассмотрении динамики атомной системы в электрическом поле, не обладающем линейной поляризацией, вероятности ионизации орбиталей с различными m могут быть сопоставимы и давать существенный вклад в генерацию высоких гармоник. Пренебрежение этими эффектами представляется недостаточно обоснованным.

Положительный отзыв официального оппонента д.ф.-м.н. А.М. Попова содержит следующие замечания: 1) при рассмотрении поляризационного отклика атома на сильное лазерное поле автор ограничивается полуклассической теорией, полагая, что величина отклика определяется квадратом модуля матричного элемента дипольного оператора, посчитанного на волновых функциях, описывающих эволюцию атома в сильном поле. Такой подход вызывает возражения, особенно в случае сильных полей, когда существенно опустошение основного состояния; 2) при рассмотрении релятивистских эффектов, влияющих на процесс ионизации атома лазерным полем, автор сосредоточил свое внимание на анализе магнитного дрейфа электрона, пренебрегая пространственной неоднородностью электрического поля в волне и спин-орбитальным взаимодействием. В тексте диссертации могли бы быть соответствующие оценки параметров малости; 3) в главе 3 не всегда четко указаны параметры двухцветных импульсов, для которых проводились расчеты спектров гармоник; 4) при изучении спектров гармоник, генерируемых в поле лазерного излучения среднего ИК диапазона частот, удается продемонстрировать возможность излучения квантов поля вплоть до 10 кэВ. Соответствующие длины волн уже порядка атомного размера. Однако из текста диссертации остается неясным, учитывалась ли в расчетах пространственная неоднородность поля волны на размере атома.

Положительный отзыв официального оппонента д.ф.-м.н. М.В. Фролова содержит следующие замечания: 1) можно ли использовать модель Левенштейна, в которой отсутствует вклад от кулоновского взаимодействия, для напряженностей лазерного поля, соответствующих надбарьерному развалу системы; 2) в диссертации рассматривается бесспиновая частица. Какие эффекты остаются за рамками такого приближения? 3) На рис. 1.4 спектр высоких

гармоник с учетом истощения начального состояния и эффектов магнитного поля содержит серию платообразных структур. Можно ли связать отсечки этих структур со слиянием короткой и длинной замкнутых траекторий? Какова зависимость энергий отсечки от магнитного поля? 4) Генерируемый спектр высоких гармоник для рассматриваемых интенсивностей и длин волн лежит в области кэВ. Возникает вопрос о применимости дипольного приближения для такой генерируемой гармоник; 5) какова точность матричного элемента (3.2) применительно к реальным ионам серебра, золота и цинка?

Положительный отзыв на автореферат к.ф.-м.н. А.В. Богацкой (ФИ РАН) содержит, кроме редакционного, замечание: способ описания поляризационного отклика атома в сильном лазерном поле, основанный на последовательном квантовоэлектродинамическом подходе, был подробно проанализирован в ряде недавних работ, в связи с чем было бы интересно провести сравнение спектров атомов, полученных в рамках обоих подходов. Положительный отзыв на автореферат к.ф.-м.н. С.Ю. Стремоухова (НИЦ "Курчатовский институт") содержит, наряду с редакционными, замечание: в разделе "Научная новизна" указано, что эффективность генерации высоких гармоник в двухчастотных ортогонально поляризованных полях может быть выше эффективности, достигаемой в результате воздействия двухчастотного лазерного поля, поляризации компонент которого параллельны друг другу. Однако из автореферата не следует, что было проведено соответствующее исследование влияния угла между поляризациями на эффективность. Положительный отзыв на автореферат к.ф.-м.н. А.И. Магунова (ИОФ РАН) замечаний не содержит.

На все вопросы и замечания, содержащиеся в отзывах, А.С. Емелиной были даны удовлетворительные ответы и комментарии.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обоснован тем, что оппоненты являются признанными высококвалифицированными специалистами в области атомной и лазерной физики, а ведущая организация является одним из лидеров в области лазерной физики и нелинейной оптики.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- разработана модификация аналитической теории, основанной на приближении сильного поля, с целью учета важных факторов (опустошения основного атомарного состояния и магнитного дрейфа электрона), ограничивающих эффективность процесса генерации высоких гармоник в высокоинтенсивном низкочастотном лазерном поле, а также типа исходного атомарного состояния;
- продемонстрировано, что по мере увеличения длины волны лазерной накачки в интервале от ближнего до среднего ИК диапазона, наряду с уменьшением эффективности генерации высоких гармоник происходят значительные изменения профиля спектральной интенсивности генерируемых гармоник;

- показано, что при использовании лазерных источников среднего ИК диапазона в различных газовых средах могут быть эффективно сгенерированы гармоники высокого порядка с энергиями фотонов до 20 кэВ;
- продемонстрировано, что магнитный дрейф электрона не препятствует преобразованию предельно коротких импульсов излучения среднего ИК диапазона в рентгеновские волновые формы субаттосекундной длительности на основе эффекта генерации высоких гармоник;
- показано, что в протяженной газовой среде можно достичь значительного повышения выхода гармоник посредством использования двухцветного лазерного поля со скрещенными линейными поляризациями спектральных компонент.

Практическая значимость исследования состоит в разработке метода описания процесса генерации высоких гармоник в газах с учётом магнитного дрейфа электрона и опустошения атомарных уровней; демонстрации возможности получения фотонов с энергиями порядка 10 кэВ в разных газовых мишенях.

Достоверность результатов исследования подтверждается хорошим согласием между аналитически полученными выводами, результатами численных расчётов и данными физических экспериментов; продемонстрировано согласие полученных в диссертации результатов для частных или предельных случаев с имеющимися в литературе данными, полученными в рамках упрощенных теоретических подходов. Полученные результаты могут быть рекомендованы для использования в ряде научных организаций, специализирующихся в физике процессов в высокоинтенсивных электромагнитных полях.

Личный вклад соискателя состоит: в модификации теоретической модели Левенштейна для учета опустошения связанных атомных состояний, магнитного дрейфа электрона в поле лазерного импульса, а также начального квантового состояния системы; в проведении расчетов в рамках новой модели и обработке их результатов; интерпретации результатов проведенных расчетов, а также в подготовке статей и докладов по теме диссертации.

На заседании 17.12.2018 г. диссертационный совет принял решение присудить Емелиной А.С. ученую степень кандидата физико-математических наук. При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 26 человек, из них 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 31 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за – 26, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель диссертационного совета
академик РАН

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор физ.-мат. наук
17 декабря 2018 г.



А.Г. Литвак

Э.Б. Абубакиров