

ОТЗЫВ

**члена диссертационного совета Голубевой Татьяны Юрьевны на диссертацию
в виде научного доклада Архипова Ростислава Михайловича**

«Предельно короткие и униполярные импульсы в когерентных оптических процессах»,
представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук
по научной специальности 1.3.6. Оптика

Докторская диссертация Архипова Ростислава Михайловича представлена в виде научного доклада, основанного на цикле работ, опубликованных автором за последние 13 лет. Исследования, изложенные в диссертации, направлены на развитие нового направления – методов генерации предельно коротких одноцикловых и субцикловых световых импульсов, изучения их взаимодействия с веществом.

Актуальность темы диссертации неоспорима: проблема сокращения длительности световых импульсов остается одной из ключевых в оптике с момента создания первых лазеров. Ее значимость подтверждается, в частности, присуждением Нобелевской премии по физике в 2023 году за исследования в области аттосекундной физики. Традиционные лазерные импульсы, используемые сегодня, как правило состоят из множества циклов колебаний электромагнитного поля, а их длительность удается сократить до фемто- и аттосекундного диапазона. Такие импульсы нашли широкое применение в спектроскопии быстропротекающих процессов. Однако для изучения сверхбыстрой динамики и управления ею было бы крайне желательно иметь еще более точный инструмент – импульсы, состоящие из одного или даже половины цикла поля в заданном спектральном диапазоне. Кроме того, такие поля представляют фундаментальный научный интерес, поскольку их свойства и характер взаимодействия с веществом существенно иные и на сегодня почти не изучены.

В диссертации предложены и детально исследованы новые методы генерации именно таких предельно коротких одноцикловых и полумоноцикловых импульсов. Важно отметить, что долгое время возможность их реализации ставилась под сомнение из-за необычности формы и принципов генерации. Ключевым достоинством работы является не только теоретическое обоснование возможности их существования на основе уравнений Максвелла, но и разработка оригинальных экспериментальных методов их получения. Кроме того, в диссертации развиты основы теории взаимодействия подобных импульсов с веществом, что открывает новые перспективы в управлении материальными квантовыми системами.

Структура научного доклада, представляющего диссертацию, включает две основные части. В первой части соискатель обосновывает актуальность исследования, анализирует степень разработанности темы, формулирует научную новизну, а также приводит обоснование достоверности полученных результатов. Здесь же представлены апробация работы, положения, выносимые на защиту и список публикаций автора. Вторая часть содержит непосредственно текст научного доклада, в котором систематизированы основные оригинальные результаты соискателя, сформулированы ключевые научные проблемы, на решение которых направлено исследование, приведены наиболее значимые достижения, а также дан небольшой обзор литературы.

Я выделю несколько научных результатов, полученных соискателем, которые кажутся мне наиболее значимыми.

Начну с фундаментального теоретического результата. Соискателем введены принципиально новые понятия, такие как «атомная мера» электрической площади и «интерференция электрических площадей», позволяющие адекватно описывать взаимодействие предельно коротких импульсов с материальными квантовыми системами. Показано, что для униполярных импульсов, длительность которых меньше орбитального периода электрона в атоме, вероятность возбуждения и ионизации определяется именно электрической площадью, а не энергией импульса.

Другая серия результатов, которые необходимо здесь отметить – это экспериментальные результаты. Экспериментально реализована когерентная синхронизация мод в лазерах на основе явления самоиндуцированной прозрачности в поглотителе, предсказанная ранее автором теоретически. Показано, что данный режим позволяет генерировать последовательность импульсов длительностью вплоть до одного цикла колебаний с экстремально высокой частотой повторения. Эти исследования привели к обнаружению новых эффектов, таких как экстремальные события, а также новых состояний поля – солитонного газа и солитонных молекул в системе диссипативных солитонов самоиндуцированной прозрачности.

Наконец, особого внимания заслуживают результаты, имеющие близкий выход в область практического использования. Автором обоснована возможность создания и сверхбыстрого управления решетками разности населенностей в многоуровневых резонансных средах с помощью последовательности субцикловых импульсов в условиях их когерентного взаимодействия. На основе этого эффекта предложена схема голографии с использованием униполярных импульсов, обладающая высоким временным разрешением. Важное преимущество данной схемы – отсутствие требования когерентности между опорной и предметной волнами, что является обязательным в традиционной голографии. Автором показана возможность наведения решеток негармонической формы в виде светоиндуцированных каналов, с размером порядка длины волны резонансного перехода среды, параметры которых можно регулировать. Такие структуры могут использоваться для управляемой инженерии фотонных структур.

Результаты, изложенные в диссертации, опубликованы в 133 рецензируемых статьях в ведущих научных журналах, неоднократно представлены в виде докладов (в том числе и приглашенных) на международных конференциях. Работы автора удостоены престижных научных премий, что свидетельствует о их высокой оригинальности и значимости для современной оптики.

Отмечу несколько замечаний к работе:

1. Все обсуждение ведется целиком на языке полуклассического описания, т.е. поле описывается классически, а среда – с помощью аппарата квантовой механики. Кажется очевидно необходимым сделать следующий шаг, и обсудить свойства генерируемых полей на языке квантовой электродинамики. Поскольку обсуждаемый объект по своей природе

обладает весьма экзотическими свойствами, необходимо проверить, какие ограничения накладываются на него квантовой электродинамикой.

2. К сожалению, не считая раздела, посвященного когерентной синхронизации мод, в работе практически отсутствуют оценки, демонстрирующие достижимость описанных явлений при реальных физических параметрах. Например, при обсуждении самоиндуцированной прозрачности, самоостановки одноциклового светового импульса в однородной резонансной среде, самокомпрессии.

3. В положении 3, выносимом на защиту, утверждается, что при использовании униполярных импульсов достигается «предельное временное разрешение». Не вполне ясно о каком пределе идет речь. Обсуждает ли автор достижение стандартного квантового предела? Следовало бы провести сравнение достижимой точности при использовании униполярных импульсов с пространственным и временным разрешением при использовании квадратурно сжатого света.

4. Автором предложены правила подобия для лазеров (см. стр. 61). Однако, как известно, при существенном сокращении длины резонатора, сказывается эффект Парселла, так что взаимодействие внутрирезонаторной среды и вакуума электромагнитного поля меняется. Из текста не вполне ясно, является ли указанный эффект ограничением на применимость метода подобия, или метод подобия его учитывает.

5. И без того небольшой список литературы, представленный в литобзоре (125 наименований), более чем на половину представлен работами автора. Такой перекоп мешает увидеть место работ автора в ряду работ других исследователей.

Указанные замечания не влияют на общую высокую оценку диссертации.

Диссертация в виде научного доклада Архипова Ростислава Михайловича на тему «Предельно короткие и униполярные импульсы в когерентных оптических процессах» по научной специальности 1.3.6. Оптика удовлетворяет основным требованиям, установленным приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете». Нарушения пунктов 9 и 11 указанного порядка присуждения в диссертации не обнаружены. Соискатель Архипов Ростислав Михайлович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности 1.3.6. Оптика.

Член диссертационного совета,

д.ф.-м.н., профессор кафедры Общей физики – I

Санкт-Петербургского государственного университета

Голубева Татьяна Юрьевна

15.04.2025

