

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

**на диссертационную работу Савицкого Ильи Владимировича «Формирование
однопериодных фазостабильных импульсов ближнего инфракрасного диапазона для
сверхбыстрой нелинейной спектроскопии», представленной на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.19. Лазерная физика**

В диссертационной работе Савицкого И.В. представлены результаты исследования солитонного режима формирования фазостабильных лазерных импульсов предельно малой длительности и их применения в задачах сверхбыстрой фазочувствительной нелинейной спектроскопии. Развитие методов генерации однопериодных фазостабильных импульсов является актуальной задачей современной лазерной физики, поскольку открывает возможность исследования сверхбыстрых электронных процессов и управления когерентной динамикой носителей в диэлектриках и полупроводниках. Исследуемый в работе метод самокомпрессии импульсов до однопериодной длительности в полых антирезонансных волноводах имеет фундаментальную и прикладную значимость, так как является одним из наиболее перспективных как для получения предельно коротких импульсов, так и для генерации мощного излучения многооктавного суперконтинуума. В работе также продемонстрирован способ управления откликом сверхбыстрой фотоионизации селенида цинка с помощью фазы поля относительно огибающей однопериодных импульсов накачки ближнего инфракрасного диапазона, что открывает возможность проводить исследование когерентной электронной динамики в полупроводниках.

Диссертационная работа Савицкого И.В. состоит из введения, четырех глав и заключения со списком литературы. После каждой главы сформулированы краткие итоги. Объём работы составляет 123 страницы и содержит 54 рисунка. Список цитируемой литературы содержит 194 наименования.

Во введении обосновывается актуальность темы исследования и современная степень её разработанности, формулируются цели и задачи диссертационной работы, обозначается научная новизна и практическая значимость полученных результатов, представляются выносимые на защиту положения, информация о публикациях соискателя и данные об апробации результатов работы.

Первая глава представляет собой обзор современного состояния исследований в области генерации и применения фазостабильных однопериодных импульсов. В первой части главы обсуждаются основные методы формирования предельно коротких импульсов с акцентом на используемую в работе технику солитонной самокомпрессии в полых антирезонансных волноводах. Отдельно рассмотрена задача стабилизации фазы поля относительно огибающей сверхкоротких лазерных импульсов, особенно значимая при использовании импульсов с длительностью порядка одного периода поля. Заключительная часть первой главы посвящена обзору применений однопериодных импульсов со стабильной фазой в задаче сверхбыстрой нелинейной спектроскопии. Отмечается особая роль такого излучения в задачах, связанных с управлением электронной динамикой в веществе под действием сильных световых полей.

Во второй главе текста диссертационной работы описывается экспериментальная техника, используемая в рамках выполнения научных задач работы. Подробно представлен многофункциональный титан-сапфировый лазерный комплекс позволяющий получать

сверхкороткие импульсы ближнего инфракрасного диапазона с энергией порядка сотен мкДж и длительность в несколько десятков фемтосекунд. В главе также описывается реализация метода пассивной стабилизации фазы поля относительно огибающей импульсов холостой волны на выходе из оптического параметрического усилителя. В последней части главы рассматривается экспериментальный метод SEA-SPIDER характеристики однопериодных импульсов, основанный на анализе спектральной интерференции и позволяющий восстанавливать спектральную фазу импульсов с многооктавным спектром в ближнем и среднем инфракрасном диапазоне.

Третья глава посвящена описанию предложенного источника лазерных фазостабильных однопериодных импульсов в ближнем инфракрасном диапазоне с гигаваттной мощностью на основе полых антирезонансных волноводов. В первой части главы демонстрируются основы описания эффекта солитонной самокомпрессии, на основе которой происходит сжатие импульсов до предельно малой длительности. Кроме того, обосновано использование антирезонансных волноводов револьверного типа в качестве инструмента для осуществления сжатия излучения в режиме солитонной самокомпрессии. Основная результативная часть главы описывает результаты экспериментальных исследований распространения импульсов в полном волноводе, заполненном аргоном под давлением. В главе раскрыты особенности солитонного режима распространения в режиме аномальной дисперсии групповой скорости, приводящего к компрессии импульсов. Обнаружено, что при увеличении энергии импульсов накачки возникает неустойчивость, обусловленная фотоионизацией аргона на выходном торце волновода, и определена специфика модового состава генерируемого в волокне суперконтинуума в видимой области. Основным результатом главы можно назвать охарактеризованный импульс с длительностью около одного периода поля, гигаваттной мощностью, многооктавным спектром и стабильной фазой поля относительно огибающей.

В четвёртой главе описываются результаты экспериментальных и численных исследований фазочувствительной спектроскопии с помощью однопериодных лазерных импульсов. В главе представлена одномерная численная модель, основанная на нелинейном уравнении Шредингера для электрического поля, позволяющая описывать распространение излучения в волокне. В частности, с помощью численного анализа была описана наблюдаемая в эксперименте зависимость спектра одноциклового импульса на выходе из волокна от фазы входных импульсов, возникающая в результате широкополосной нелинейной интерференции излучения суперконтинуума и третьей гармоники. Анализ фазовой картины интерференции позволил восстановить спектральную фазу импульса в мультиоктавном диапазоне. В заключительной части главы описываются результаты нестационарной спектроскопии фотоионизации образцов селенида цинка с помощью однопериодных импульсов. Основной результат этого направления исследований заключается в демонстрации управления значением плазменной нелинейной добавкой к показателю преломления с помощью фазы поля относительно огибающей однопериодного импульса, что открывает возможность управления электронной динамикой твердого тела и позволяет получить информацию об абсолютном значении фазы поля относительно огибающей импульса.

В заключении формулируются основные результаты и выводы работы.

Текст диссертации Савицкого И.В. представляет собой законченную и структурированную научную работу. К достоинствам работы можно отнести высокий современный уровень экспериментальных методов, применяемых для решения заявленных

соискателем задач и позволивших, например, восстановить спектральную фазу импульса с шириной спектра более октавы и длительностью около одного периода поля. Кроме того, оригинальный метод восстановления спектральной фазы, основанный на анализе фазовой картины f - $3f$ интерференции, позволил экспериментально подтвердить сжатие импульса в ходе солитонной самокомпрессии до субпериодной длительности. В работе также экспериментально продемонстрировано применение однопериодных фазостабильных импульсов для исследования сверхбыстрых электронных процессов в полупроводнике, что является актуальной задачей современной лазерной физики.

Диссертационная работа Савицкого И.В. выполнена на высоком научном уровне, её результаты апробированы в публикациях в российских и международных рецензируемых журналах, а также при выступлениях на всероссийских и международных конференциях. Материалы работы представлены в 15-ти докладах и опубликованы в 7 печатных работах в научных журналах, входящих в базы данных Web of Science, Scopus, RSCI и Перечень изданий МГУ, в том числе ACS Photonics, Optics Letters и Письма в "ЖЭТФ".

В то же время, к диссертационной работе имеется ряд замечаний:

1. В разделе 1.1, посвященном методам нелинейной компрессии лазерных импульсов, результаты работ по филаментации в условиях аномальной дисперсии групповой скорости в объеме прозрачных диэлектрических сред представлены крайне кратко, хотя этот метод позволяет получать одноцикловые импульсы – световые пули с аналогичной энергией без использования каких-либо волноводных структур.

2. В разделе 1.2 не упомянут метод измерения CEP по записанным трекам импульса в кристалле с центрами окраски, например, в LiF, и их последующем анализе методом колорации.

3. На рисунке 18г представлена зависимость скачков CEP импульсов холостой волны на временном промежутке до 100 с при адаптивной коррекции линии задержки между импульсами сигнальной волны и накачки. Хотелось бы увидеть данную зависимость на больших временах. Не существует ли иных факторов, вызывающих рассогласование CEP на больших временных масштабах?

4. В разделе 3.1 приведено аналитическое описание формирования солитонов и представлены результаты численного моделирования динамики импульса, полученные коллегами автора диссертации. На мой взгляд данные результаты следовало бы представить в главе 1, содержащей обзор состояния исследований, а не в оригинальной главе.

5. В экспериментальной схеме, используемой для генерации и характеристики однопериодных лазерных импульсов (раздел 3.3), входное и выходное окна газовых ячеек, содержащих полый антирезонансный волновод представляют собой 2-мм пластинки из сапфира и фторида кальция, соответственно. Какое влияние вносят указанные окна на распространяющийся одноцикловый импульс, учитывая, что его мощность превышает критическое значение мощности самофокусировки примерно на три порядка?

6. К незначительным замечаниям по тексту работы также следует отнести следующее:

- в формулах на странице 28 присутствуют ошибки в индексах;
- параметры фемтосекундного генератора, указанные на рисунке 14, не совпадают с указанными в тексте диссертации;
- на рисунке 14 не представлены коэффициенты деления импульса накачки, что затрудняет понимание схемы параметрического усиления;
- константа $\pi/2$, приведенная в формуле (2.2), описывающей фазу холостой волны, в тексте диссертации опускается;

- подпись к рисунку 31 «Спектры интенсивности импульса...» не точна, так как на рисунке представлена спектральная плотность мощности импульса;

- формула (4.4), описывающая спектральную плотность мощности, записана неверно, поскольку квадрат модуля суммы комплексных амплитуд не должен содержать комплексную компоненту.

Вместе с тем указанные замечания не влияют на общую положительную оценку и не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация Савицкого И.В. отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.19. Лазерная физика (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. Соискатель Савицкий Илья Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика.

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук,
начальник отдела разработки лазеров, лазерно-оптических систем и изделий микроэлектроники,

Федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова»

Александр Евгеньевич Дормидонов

« 3 » июня 2025 г.

Контактные данные: тел.:

, e-mail: AEDormidonov@vniia.ru,

специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:
01.04.21 – «Лазерная физика»

Адрес места работы

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова»

Ул. Суцевская, д. 22, Москва, 127030

Тел.: (499) 978-78-03

e-mail: vniia@vniia.ru

Подпись начальника отдела ФГУП «ВНИИА» А.Е. Дормидонова заверяю:

Начальник группы отдела кадров

Н.В. Бондарева