

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Александрова Леонида Николаевича
на тему: «Механизмы возбуждения квазипостоянных токов, инициирующих
генерацию терагерцового излучения при воздействии на газы
фемтосекундными лазерными импульсами»
по специальности 1.3.19 – Лазерная физика

Диссертация Л.Н. Александрова посвящена исследованию механизмов, приводящих к возбуждению квазипостоянных токов, инициирующих генерацию терагерцового излучения при воздействии на газы фемтосекундными лазерными импульсами. Несмотря на то, что газообразные среды уже достаточно широко используются для генерации широкополосного импульсного терагерцового излучения, детальное изучение физических основ и механизмов процесса генерации низкочастотного излучения в фотоиндуцированной плазме, возникающей при воздействии на газ короткими лазерными импульсами, до сих пор является важным и актуальным направлением исследования в терагерцовой фотонике. Задача эффективного преобразования оптического излучения в терагерцовое в газовой среде представляет не только фундаментальный теоретический интерес, но также имеет большое практическое значение, обусловленное крайней востребованностью простого и эффективного источника импульсного терагерцового излучения с широким и «гладким» спектром для решения широкого круга задач терагерцовой спектроскопии. Такой источник также может быть применен как для выполнения время-разрешенных измерений в схеме «накачка-зондирование», так и для целей дистанционного контроля и зондирования, когда терагерцовое излучение генерируется и детектируется непосредственно вблизи исследуемого объекта. В целом, поиск и разработка новых схем оптимизации лазерно-

плазменного источника импульсного терагерцового излучения является актуальной и практически значимой задачей современной терагерцовой фотоники.

В рамках выполнения диссертационной работы Л.Н. Александровым проведено комплексное теоретическое исследование с целью установления физических механизмов, приводящих к возникновению квазистационарных макроскопических токов, служащих источником электромагнитного поля терагерцовой частоты, при воздействии на газообразную среду фемтосекундными лазерными импульсами.

Экспериментально и теоретически исследована зависимость эффективности генерации остаточных токов при двухцветном режиме фотовозбуждения газа с использованием лазерных импульсов на основной и удвоенной частотах. Установлено, что оптимальная для эффективной генерации терагерцового излучения фазовая задержка между излучением на основной и удвоенной частотах существенно зависит от интенсивности лазерного импульса. Для описания генерации остаточных токов автор предложил теоретическую модель, с помощью которой показал, что при двухцветном режиме фотовозбуждения газа генерация остаточного тока в лазерной плазме происходит в результате конкуренции двух вкладов: один из которых обусловлен действием лазерного поля на оторванный от атома или молекулы электрон, другой – действием на оторванный электрон кулоновского потенциала родительского иона. Показано, что в области высоких интенсивностей лазерного излучения доминирующим является первый механизм, а в области низких интенсивностей – второй. Хорошее согласие экспериментальных данных с результатами численного расчёта, выполненного в рамках разработанного теоретического подхода, демонстрирует существенную роль кулоновского взаимодействия в процессе фотовозбуждения направленного тока в ионизованном газе в широком диапазоне интенсивностей лазерного излучения.

В диссертационной работе также исследован случай взаимодействия одноцветного лазерного импульса с частицами газовой среды, обладающими вдоль выделенного направления асимметричным потенциалом. Показана возможность модификации процесса ионизации в длинном лазерном импульсе за счет асимметрии потенциала ионизируемой частицы. Выполнены теоретические исследования влияния длительности, интенсивности и фазы заполнения импульса на величину возбуждаемого остаточного тока.

Важное место в диссертационной работе занимает раздел, посвященный применению терагерцовой генерации для зондирования вращательной динамики молекулярного ансамбля. Автором предложен оригинальный подход для измерения степени упорядоченности молекулярного ансамбля, в основе которого лежит измерение энергии терагерцового излучения, генерируемого при ионизации ансамбля молекул мощным фемтосекундным импульсом.

Структура диссертации Л.Н. Александрова включает в себя введение, три оригинальные главы, заключение. Завершают диссертационную работу приложения и список цитируемой литературы.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы ее цель и решаемые в ней задачи. Здесь же автор излагает краткое содержание диссертации, акцентирует внимание на научной новизне, научной и практической значимости диссертационной работы и формулирует основные положения, выносимые на защиту. Также во введении приведены данные об апробации работы, достоверности полученных результатов и личном вкладе диссертанта в работу.

Первая глава диссертации посвящена исследованию взаимодействия фемтосекундных лазерных импульсов, содержащих компоненты на основной и кратных частотах, с изотропными газообразными средами (атомы, невыстроенные молекулы). Изучается влияние основных параметров лазерного излучения (интенсивность, частота, поляризация) на процесс

генерации остаточных токов и проводится сравнение с экспериментальными результатами.

Во второй главе диссертации исследуется взаимодействие одночастотного лазерного импульса с частицами газообразной среды, обладающими асимметричным потенциалом вдоль выделенного направления. Анализируется возможность модификации процесса ионизации в длинном лазерном импульсе за счет асимметрии потенциала ионизируемой частицы. Представлены теоретические исследования влияния длительности, интенсивности и фазы заполнения импульса на величину возбуждаемого остаточного тока. На основе полуклассических модельных расчетов показано, что ключевую роль в возникновении макроскопического направленного тока в ансамбле ориентированных асимметричных молекул играет кулоновское взаимодействие отрываемого электрона с родительским молекулярным ионом.

Третья глава диссертации посвящена исследованию возможности использования свойств процесса генерации терагерцового излучения при взаимодействии лазерного излучения с полярными и неполярными молекулами для зондирования вращательной динамики молекулярного ансамбля. Автором предложен оригинальный метод измерения степени угловой упорядоченности и вращательной динамики молекулярного ансамбля, в основе которого лежит измерение энергии терагерцового сигнала, генерируемого ансамблем молекул, ионизированных интенсивным фемтосекундным импульсом. Проведенные на примере ансамбля полярных молекул CO модельные квантовомеханические расчеты подтвердили, что предложенный метод зондирования обладает высокой чувствительностью и может быть применен для измерения и контроля степени угловой упорядоченности и вращательной динамики широкого набора молекул. На примере ансамбля молекул N₂, зондируемого двухцветными лазерными импульсами, показано, что предложенный подход может быть расширен на случай неполярных молекул.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

В приложениях приведено детальное описание использованных и разработанных диссертантом численных схем и алгоритмов.

В целом, диссертационная работа Л.Н. Александра является законченным научным исследованием. Уровень решаемых в ней задач соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Работа выполнена Л.Н. Александровым на высоком профессиональном уровне, поставленные задачи решены, заявленная цель достигнута. Научные положения, выносимые на защиту диссертантом, являются обоснованными, достоверными и новыми. Результаты, представленные в диссертации, опубликованы в высокорейтинговых научных журналах (Physical Review A, Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics, Письма в ЖЭТФ, Molecular Physics) и доложены на многочисленных российских и международных конференциях. Достоверность представленных результатов, их научная новизна и значимость не вызывают сомнений. Автореферат и опубликованные работы достаточно полно отражают основное содержание диссертации и результаты проведенных исследований.

В то же время к оформлению диссертации есть следующие замечания.

Во-первых, цитируемая автором работы литература пронумерована в алфавитном порядке по фамилии первого автора, это привело к тому, что в тексте цитирование литературы начинается со ссылки [37], а ссылки, отражающие одну тему, расположены в списке с интервалом в несколько страниц, например [37,126]. При чтении диссертационной работы такая нумерация списка цитируемой литературы оказалась очень неудобной.

Далее, в структуре глав диссертации отсутствуют выводы к главам, в которых суммируются результаты, представленные в соответствующей главе, расставляются акценты и подводятся промежуточный итог. Отсутствие выводов к главам и явным образом обозначенных акцентов лишает читателя возможности непосредственно при прочтении диссертации

соотнести результаты, представленные в соответствующей главе, с положениями, выносимыми диссертантом на защиту.

Большинство оригинальных рисунков содержат подписи только на английском языке, например, рисунки 1.5, 1.7-1.13, 1.16, 2.8-2.15, 3.5, 3.6, 3.10, 3.11. Обозначения на английском языке, использованные на рисунках 1.9, 3.5, не объяснены ни в подписях к рисункам, ни в тексте диссертации.

Замечание по содержательной части работы носит, скорее, рекомендательный характер. Хотелось бы, чтобы в будущем автор развил предложенный в работе теоретический подход для описания двух различных механизмов возбуждения остаточного тока при ионизации газовой среды, возбуждаемой фемтосекундными лазерными импульсами, и дополнил его анализом эффектов, связанных непосредственно с генерацией терагерцового излучения. Это позволило бы на практике применить разработанную модель для оптимизации параметров источников импульсного электромагнитного излучения в терагерцовом диапазоне частот на основе лазерно-индуцированной плазмы в газе.

Сделанные замечания, однако, не влияют на основные результаты и выводы диссертационной работы, и никаким образом не снижают ее научную и практическую значимость и ценность. Считаю, что диссертация «Механизмы возбуждения квазипостоянных токов, инициирующих генерацию терагерцового излучения при воздействии на газы фемтосекундными лазерными импульсами» является завершенной научно-квалификационной работой, которая по критериям актуальности, научной новизны, значимости, обоснованности и достоверности научных положений и выводов соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Александров Леонид Николаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – Лазерная физика.

Официальный оппонент:

Кандидат физико-математических наук,

Старший научный сотрудник

Физического факультета

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Московский государственный университет имени
М.В.Ломоносова»

Балакин Алексей Вячеславович



« 16 » ноября 2021 г.

Контактные данные:

тел.: +7 (495) 939-11-06, e-mail: a.v.balakin@physics.msu.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена
диссертация: 01.04.21 – Лазерная физика.

Адрес места работы:

119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

Физический Факультет, Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования «Московский
государственный университет имени М.В.Ломоносова»

тел.: +7 (495) 939-16-82

веб-сайт: <http://www.phys.msu.ru/>

e-mail: dean@phys.msu.ru

Согласен на обработку персональных данных



/ А.В.Балакин /

Декан Физического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова

д. ф.-м. н., профессор



/ Н.Н. Сысоев /

« 16 » ноября 2021 г.