

ОТЗЫВ

официального оппонента д.ф.-м.н., доцента Цыпкина Антона Николаевича
о диссертационной работе Николаевой Ирины Алексеевны
«Частотно-угловое распределение терагерцового излучения при
филаментации фемтосекундного лазерного импульса в газах»,
представленной на соискание учёной степени кандидата
физико-математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика

Диссертационная работа И.А. Николаевой посвящена численным расчетам спектрального и углового состава терагерцового (ТГц) излучения, генерируемого при филаментации фемтосекундных лазерных импульсов в газах. К настоящему времени в России и за рубежом выполнено значительное число экспериментальных и некоторое число теоретических работ, посвященных спектрально-угловому составу ТГц излучения фемтосекундного филамента, однако целостной картины явления сформулировать не удалось; более того, в ряде случаев результаты одних экспериментов противоречили результатам других. Данная диссертационная работа объясняет эти противоречия и предсказывает новые особенности в спектрально-угловых распределениях ТГц излучения, позднее наблюдавшиеся в эксперименте. Поэтому ее тематика безусловно является **актуальной**.

Практическая значимость диссертационной работы обусловлена необходимостью знания деталей спектра и углового состава ТГц излучения филамента для широкополосной ТГц спектроскопии, в т.ч. удаленной.

Диссертация состоит из введения, пяти глав текста, заключения. Работа содержит 138 страниц, включает 34 рисунка, 1 таблицу и 146 библиографических ссылок.

Во **введении** обоснованы актуальность диссертационной работы, поставлены ее цели и задачи, изложены научная новизна, теоретическая и практическая значимость, сформулированы положения, выносимые на защиту, приведена информация о публикациях соискателя и данные об апробации результатов работы.

Первая глава посвящена обзору современного состояния исследований ТГц генерации при филаментации. Детально рассмотрены работы, посвященные генерации ТГц излучения одноцветным филаментом, одноцветным филаментом во внешнем электростатическом поле и двухцветным филаментом — эти схемы ТГц генерации исследуются в последующих оригинальных главах.

Во **второй главе** рассматривается математическая модель ТГц генерации при филаментации в газах. Представлено детальное описание как уравнения распространения электромагнитного излучения, так и нелинейных источников для рассматриваемых трех схем ТГц генерации. Подробно изложены численная схема и методики оптимизации времени численного счета.

В **третьей главе** представлены результаты исследований ТГц генерации при одноцветной филаментации. Изложены результаты измерений угло-

вых диаграмм направленности ТГц излучения, которые на некоторых частотах имели форму сильно модулированных колец. Получено теоретическое объяснение такой модуляции, связанное с интерференцией ТГц излучения, генерируемого дипольным и квадрупольным механизмами.

Четвертая глава посвящена одноцветной ТГц генерации во внешнем электростатическом поле. Численное моделирование и аналитические расчеты диаграмм направленности ТГц излучения с различными частотами показали трансформацию их формы от унимодальной с плоской вершиной в диапазоне до 1 ТГц к кольцевым с минимумом на оси лазерного пучка в области ~ 10 ТГц. Данные результаты находятся в количественном согласии с экспериментом. Также в разумном согласии с экспериментом установлена аддитивность выхода ТГц излучения с ростом длины электродов, формирующих внешнее поле.

В **пятой главе** представлены результаты исследований ТГц излучения, генерируемого в двухцветном филаменте. Сравнение различных комбинаций центральных частот двухцветного импульса показало, что смещение основной и второй гармоник обеспечивает наиболее высокий выход ТГц излучения. В дальнейшем спектрально-угловые распределения изучены для этой наиболее эффективной схемы ТГц генерации. В согласии с экспериментом установлено, что для двухцветных филаментов длиной несколько сантиметров интенсивность осевой ТГц компоненты существенно зависит от относительной фазы между основной и второй гармониками, тогда как ТГц излучение, распространяющееся в кольцо, не зависит от фазы. Эта кольцевая компонента содержит около 80% энергии ТГц сигнала, что делает ее перспективной для приложений.

В **заключении** сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы.

Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне, в достаточной степени апробирована публикациями в соответствующих исследовательской области научных журналах (в том числе высокорейтинговых) и докладами на конференциях различного уровня.

Автореферат соответствует тексту диссертационной работы.

В то же время к работе имеется ряд замечаний:

1. В эксперименте по регистрации двумерных частотно-угловых распределений излучения в диапазоне 0.3–10-ТГц использовалась апертура с диаметром 6 мм, при условии, что диаметр пучка составлял 8 мм. Из работы не ясно, сказываются ли в данном случае на фокусировке пучка дифракционные особенности и изменяется ли интенсивность в филаменте. Также в работе не приведены использованные значения интенсивности при моделировании.
2. В диссертации не указано, как в теоретических моделях, представленных в 3.3 и далее, учитывается изменение энергии накачки, и также не указана используемая интенсивность излучения.

3. При экспериментальных условиях, когда филамент помещен между электродами, длина филамента составляет порядка 10 мм, при этом длина электродов — 15 мм, а расстояние между ними — 4.5 мм. Не связаны ли маленькие максимумы по краям распределений, приведенных на рис 3.9, с дифракцией на краях электродов, которая может оказывать влияние на ТГц излучение от начальных точек филамента?
4. Из текста следует, что с 1 по 5 секции электродов имеют одинаковый размер. Если это так, то чем обусловлен максимум при включении только 2 секции (рисунок 4.11)? Такой же максимум наблюдается в моделировании при других условиях.
5. Из текста диссертации не ясно, как смещение кристалла ВВО Δz_2 пересчитывается в фазу между основной и второй гармониками.
6. Работа И.А. Николаевой является теоретической (об этом, в частности, указано в разделе «Цель и задачи»), однако выполнена в постоянном сотрудничестве с экспериментаторами. Вероятно, в силу этого Соискатель в подробностях, излишних для теоретической работы, описывает методологию экспериментальных исследований. Это создает ложное впечатление, что диссертационная работа является и теоретической, и экспериментальной.

Замечания в текстовом оформлении:

1. некорректность фраз в предложениях «... диаграмма направленности ТГц излучения одноцветного филамента существенно зависит от частоты.» От частоты лазера, или же от частоты самого генерируемого ТГц излучения. Например, «... экспериментально...» и другие фразы.
2. «... поляризатор устанавливался перед фильтрами... ». Но на рисунке 3.1 поляризатор отсутствует.
3. на рисунке 3.10 можно удалить края сплошной линии. Так получается, что там снова максимумы будут.

При этом указанные замечания не влияют на общую положительную оценку и значимость диссертационного исследования.

Считаю, что диссертация «Частотно-угловое распределение терагерцового излучения при филаментации фемтосекундного лазерного импульса в газах» соответствует специальности 1.3.19. Лазерная физика (по физико-математическим наукам), а именно направлению исследований «3. Нелинейная оптика; генерация гармоник и суперконтинуума; вынужденные рассеяния; нелинейно-оптические материалы; фотонные кристаллы и устройства», а также критериям, определенным пп. 2.1–2.5 «Положения о присуждении учёных степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова», предъявляемым к кандидатским диссертациям, и оформлена согласно приложениям № 8 и 9 «Положения о совете по защите диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук Московского государственного университета име-

ни М.В. Ломоносова», а её автор — Николаева Ирина Алексеевна — заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19. Лазерная физика.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, доцент,
директор Научно-образовательного центра фотоники и оптоинформатики
Национального исследовательского университета ИТМО

Цыпкин Антон Николаевич

«5» февраля 2025 г.

Контактные данные:

тел.: +7 (812) 480-05-11

E-mail: tsypkinan@itmo.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена докторская диссертация:

01.04.05 — оптика

Адрес места работы:

197101, г. Санкт-Петербург, Кронверкский проспект, д. 49

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»

Телефон: +7 (812) 480-00-00; e-mail: od@itmo.ru

«Подпись Цыпкина Антона Николаевича ЗАВЕРЯЮ»: