

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук
Лосева Валерия Федоровича на диссертацию Ризаева Георгия Эдуардовича
«Угловое распределение терагерцового излучения, генерируемого в плазме
одноцветного филамента», представленную на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности 1.3.19 – Лазерная физика

Диссертационная работа Ризаева Георгия Эдуардовича посвящена исследованию характеристик терагерцового излучения, генерируемого в процессе одноцветной филаментации лазерных импульсов.

Излучение терагерцового спектрального диапазона в последнее время привлекает к себе все более широкое внимание. В терагерцовом диапазоне прозрачны ткани и пластики, вследствие сравнительно малой энергии кванта оно является неионизирующим, а также в этой области спектра находятся линии поглощения различных органических веществ – в связи с этим терагерцовое излучение является востребованным в биологии, медицине, сфере безопасности и других областях. Одним из источников терагерцового излучения является плазма лазерного филамента. Достоинством такого источника является его широкий спектр, покрывающий практически весь терагерцовый диапазон. Таким образом, несомненна **актуальность** темы диссертационной работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 142 наименований, включает в себя 66 рисунков. Объем диссертации составляет 116 страниц.

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, защищаемые положения, раскрыты его новизна, научная и практическая значимость, отмечен личный вклад автора.

Первая глава представляет из себя обзор литературы по теме диссертации. В ней представлено описание процесса филаментации лазерных импульсов, а также приведен краткий исторический обзор исследования генерации терагерцового излучения в плазме филамента. Особое внимание уделено работам по генерации терагерцового излучения при одноцветной филаментации. Рассмотрена значительная часть опубликованных на момент написания диссертации данных по направленности терагерцового излучения, генерируемого в плазме одноцветного филамента, и зависимости ее от экспериментальных параметров; продемонстрировано, что эти данные не укладываются в единую картину,

местами входят в явное противоречие друг с другом. Тем самым обосновывается актуальность исследований, представленных в диссертационной работе.

Во **второй главе** приведено описание установки и методик эксперимента. Описаны принципы работы лазерной системы и оборудования, используемого для регистрации терагерцового излучения, приведены технические характеристики приборов.

Третья глава посвящена исследованию угла распространения максимума терагерцового излучения. В главе приводятся измеренные экспериментально угловые распределения терагерцового излучения на различных частотах в горизонтальной плоскости. Эксперименты проводились при различных энергиях и фокусировках лазерного импульса. Продемонстрировано, что угол распространения максимума терагерцового излучения обратно пропорционален квадратному корню из частоты терагерцового излучения и длины плазменного канала, при этом данная зависимость проявляется только в нелинейном режиме фокусировки.

В **четвертой главе** исследуется двумерное угловое распределение терагерцового излучения. Демонстрируется различие структуры направленности терагерцового излучения на разных частотах — она может представлять из себя как симметричное или модулированное кольцо, так и два отдельных максимума. Это объясняется различным результатом интерференции терагерцового излучения, генерируемого разными механизмами. Также проанализированы двумерные распределения терагерцового излучения при разных параметрах лазерного импульса. Путем суммирования сигналов по двумерному распределению на разных частотах производится оценка спектра терагерцового излучения. В данной главе также исследуется двумерная картина направленности терагерцового излучения на различных частотах, генерируемого при филаментации во внешнем электростатическом поле.

В **заключении** диссертации сформулированы основные результаты.

Результаты, представленные в диссертации Ризаева Георгия Эдуардовича, обладают очевидной научной **новизной**. В частности, впервые показано, что форма направленности отличается для разных частот терагерцового излучения, что позволяет по-иному взглянуть на многие данные, прежде опубликованные в литературе. Также впервые в эксперименте продемонстрирована кольцеобразная структура направленности высокочастотного терагерцового излучения при филаментации во внешнем поле. Несомненно, представленные результаты имеют **практическую значимость, поскольку** возможность управления спектрально-угловыми характеристиками источника излучения всегда важно для различных его применений.

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации, её основным результатам и выводам.

Содержание диссертации грамотно изложено, работа логически целостная. Положения, выносимые на защиту и выводы, сформулированные в диссертации, обладают **высокой степенью обоснованности**. Результаты работы прошли апробацию на многочисленных международных конференциях и опубликованы в 14 статьях в авторитетных журналах, индексируемых в международной базе данных Web of Science. **Достоверность** результатов подтверждается их воспроизводимостью и согласованностью с результатами численного моделирования, а также экспериментальными данными других авторов.

По тексту диссертационной работы имеются следующие **замечания**:

1. В экспериментальной части работы энергия терагерцового излучения во всех случаях приводится в относительных единицах. Между тем, с точки зрения применений интересны в том числе абсолютные значения энергии, а также эффективность преобразования.
2. В главе 3 одномерные угловые распределения на некоторых рисунках даны в полярных координатах (Рис. 3.2, 3.4, 3.5, 3.22), а на некоторых – в декартовых (Рис. 3.8, 3.12, 3.13, 3.19). Для удобства сопоставления этих рисунков между собой, вероятно, следовало бы привести их в одних координатах.
3. В главе 4 на частоте 1 ТГц двумерное угловое распределение имеет два вертикальных максимума. А в главе 3 на некоторых одномерных распределениях (например, Рис. 3.8б, 3.13, 3.19) на той же частоте два максимума в горизонтальной плоскости, что вызывает вопросы.

Приведенные замечания не снижают научную значимость результатов, представленных в диссертации, и не влияют на общую положительную оценку работы.

Диссертация Ризаева Георгия Эдуардовича «Угловое распределение терагерцового излучения, генерируемого в плазме одноцветного филамента» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, удовлетворяющую всем требованиям к кандидатским диссертациям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор, Ризаев Георгий Эдуардович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.19 – Лазерная физика.

Официальный оппонент:

главный научный сотрудник лаборатории газовых лазеров
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института сильноточной электроники Сибирского отделения
Российской академии наук (ИСЭ СО РАН),
e-mail: losev@ogl.hcei.tsc.ru
Телефон: +7 (3822) 491891
доктор физико-математических наук, профессор

Лосев Валерий Федорович

06.02.25

Я, Лосев Валерий Федорович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Подпись Лосева Валерия Федоровича удостоверяю:

Зам. Директора по НР Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭ СО РАН)

Батраков Александр Владимирович

Список основных работ официального оппонента доктора физико-математических наук, профессора Лосева Валерия Федоровича по тематике диссертации Ризаева Георгия Эдуардовича «Угловое распределение терагерцового излучения, генерируемого в плазме одноцветного филамента» в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет

1. D. M. Lubenko, N. G. Ivanov, S. V. Alekseev, V. E. Prokopev & V. F. Losev Formation of Highly Directional White Light Radiation in Air Filament //Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. – 2020. – Т. 84. – С. 766-769.
2. Ivanov N. G., Zyatikov V.F., Losev V.F., Prokop'ev V.F. Temporal behavior of air lasing by molecular nitrogen ions //Optics Communications. – 2020. – Т. 456. – С. 124573.
3. Prokopev V., Lubenko D., Losev V. Investigation of the filament spatial structure by aberration focusing in air of a femtosecond radiation pulse //Results in Optics. – 2020. – Т. 1. – С. 100029.
4. S. V. Alekseev, Yu. M. Andreev, V. F. Losev & D. M. Lubenko. Modernization of the Thl-100 Laser System to Produce Powerful Terahertz Radiation //Russian Physics Journal. – 2020. – Т. 62. – С. 2151-2155.
5. Ezhov D., Turgeneva S., Nikolaev N., Mamrashev A., Mikerin S., Minakov F., Simanchuk A., Antsygin, V., Svetlichnyi V., Losev V., Andreev Yu. Potential of sub-THz-wave generation in $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ nonlinear crystal at room and cryogenic temperatures //Crystals. – 2021. – Т. 11. – №. 11. – С. 1321.
6. Alekseev S. V., Losev V. F., Yastremskii A. G. Results of Studies of the High-Power Visible THL-100 Laser System //Atmospheric and Oceanic Optics. – 2022. – Т. 35. – №. 5. – С. 606-610.
7. Lubenko D. M., Losev V.F., Andreev Y.M., Ezhov D.M.. Using oxide nonlinear crystals to convert frequencies to the THz range //Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. – 2022. – Т. 86. – №. 7. – С. 775-779.
8. Lubenko D. M., Sandabkin E. A., Losev V. F. Generating THz Radiation in Laser Plasma Created by Femtosecond Pulse //Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. – 2022. – Т. 86. – №. 7. – С. 780-782.
9. Zyatikov I. A., Losev V. F. Parameters of 391 nm lasing from molecular nitrogen ions pumped by a 950 nm femtosecond laser pulse //Applied Optics. – 2023. – Т. 62. – №. 34. – С. 9133-9135.