

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук

Брантова Андрея Владимировича

на диссертационную работу

Волчок Евгении Павловны

**«Конверсия плазменных волн в электромагнитные как метод генерации
узкополосного терагерцового излучения»,**

представленную в диссертационный совет 24.1.162.02 на базе

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Института ядерной физики им. Г.И. Будкера

Сибирского отделения Российской академии наук,

на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

по специальности 1.3.9. Физика плазмы

Актуальность работы:

Терагерцовые источники излучения в настоящее время востребованы во многих областях научных и прикладных исследований во многом благодаря уникальным особенностям данного слабоионизирующего излучения, частота которого лежит в области фононных и молекулярных колебаний. Активно обсуждается возможность нелинейного воздействия терагерцового излучения на различные материалы, целью которого является поиск новых материалов с уникальными свойствами (например, открывающими возможность быстрой манипуляцией магнитными свойствами вещества), экспериментальные исследования которого сдерживаются из-за недостатка источников мощных терагерцовых импульсов. Именно на теоретическое обоснование возможности получения достаточно мощного терагерцового излучения из газовой плазмы, возникающего в результате нелинейного взаимодействия двух плазменных волн или одной плазменной волны с периодическими возмущениями плотности, и направлена диссертационная работа Е.П. Волчок. Кроме того, исследованные в диссертации механизмы генерации электромагнитного излучения на плазменной частоте и ее второй гармонике могут быть важны для объяснения астрофизических наблюдений солнечных всплесков излучения. Таким образом, тема диссертационной работы Е.П. Волчок является важной и актуальной.

Новизна подхода и основные результаты:

Научная новизна и значимость полученных автором результатов заключается в оригинальности предложений по перекачке энергии драйвера в терагерцовое излучение с использованием нелинейного взаимодействия возникающих в докритической плазме

плазменных волн и оптимизации условий такого взаимодействия, в том числе для доступной в лаборатории лазерной системы.

Впервые продемонстрирована возможность генерации терагерцового излучения на плазменной частоте при рассеянии кильватерных волн, создаваемых коротким лазерным импульсом, на модуляциях плотности ионов с возможностью выхода излучения из узкого плазменного канала. Представлена теория генерации вторичного излучения на второй гармонике плазменной частоты при распространении плазменных кильватерных волн в плазме с периодическими возмущениями плотности в продольном магнитном поле. Проведено детальное моделирование генерации излучения на второй плазменной гармонике в результате столкновения двух встречных плазменных кильватерных волн, возбуждаемых встречными лазерными импульсами. Найдены оптимальные параметры этих лазерных импульсов (включая их энергии, относительную задержку, пятна фокусировки и прицельный параметр) для генерации терагерцового излучения из гелиевой струи с максимальной эффективностью. Предложена оригинальная схема использования мощных лазерных импульсов для генерации терагерцового излучения за счет увеличения пятна фокусировки лазерных импульсов и возбуждения сходящихся широких плазменных волн с поперечно моделированным профилем, получаемых при падении на плазму двух сходящихся под малыми углами лазерных импульсов. Данная схема открывает возможности использования современных петаваттных лазерных систем для генерации терагерцовых импульсов рекордной энергии.

Достоверность полученных результатов:

Совпадение проведенных аналитических выкладок и предсказаний построенных моделей с результатами численных моделирований, выполненных хорошо апробированными кодами, сравнение полученных результатов с существующими аналогами, обсуждение полученных данных на специализированных международных конференциях, публикации в ведущих научных журналах являются убедительным доказательством **обоснованности** и достоверности **научных положений и выводов**, приведенных в диссертационной работе.

Результаты диссертации докладывались на многочисленных российских и международных конференциях и представлены в 6 научных статьях в международных высокорейтинговых журналах (в журналах из перечня ВАК при Минобрнауки России), включая журналы I-II квартиля Web of Science и наивысшего рейтинга (уровень 1) в «Белом списке» научных журналов России.

Практическая и теоретическая значимость полученных автором результатов:

Практическая значимость диссертации не вызывает сомнений и состоит в описании необходимых условий для получения узкополосного перестраиваемого источника терагерцового излучения на основе взаимодействия плазменных волн, создаваемых либо короткими лазерными импульсами, либо пучками релятивистских электронов. Разработанные автором теоретические модели являются основой для оптимизации источника терагерцового излучения и могут быть использованы для объяснения ряда астрономических явления, в частности, связанных со всплесками солнечного излучения.

Содержание диссертации и ее завершенность:

Диссертационная работа объемом 144 страницы состоит из четырех основных глав, Введения, Заключения и списка литературы, содержащего 116 ссылок. Работа выстроена логично, ее структура и содержание отражают цели и задачи исследования, приведенные во Введении. В первой и второй главах исследуется так называемый режим плазменной антенны, заключающийся в генерации вторичного излучения за счет рассеяния плазменных волн на периодических продольных возмущениях плотности ионов плазмы. Третья и четвертая главы посвящены изучению излучения на второй плазменной гармонике, возникающему при нелинейном взаимодействии встречных плазменных волн. Основные результаты приведены в Заключении. Диссертация представляется законченным научным трудом, отличающимся подробным изучением эффектов, связанных с трансформацией и излучением плазменных волн. Результаты Е.П. Волчок, изложенные в диссертации, являются, безусловно, новыми и обладают большой научной значимостью, находятся на передовом мировом уровне исследований в области исследования генерации и эволюции плазменных волн в газовой плазме.

Замечания и пожелания:

Значимых замечаний, влияющих на защищаемые положения, к диссертационной работе нет. Ниже приведен ряд уточняющих вопросов и предложений по корректировке некоторых формулировок.

1. В первой главе автором рассматривается излучение на периодических возмущениях ионной плотности плазмы. Очевидно, что в силу квазинейтральности плазмы такие же возмущения имеет и плотность

электронов. Тем не менее автор рассматривает возбуждение кильватерных волн в однородной плазме. Необходимо сравнить размер возмущений плотности электронов, возникающих благодаря развитию плазменных колебаний (фактически амплитуду колебаний), с амплитудой изначально заданных периодических возмущений ионной (и, соответственно, электронной) плотности. Также не совсем понятно как падение эффективности выхода излучения из плазменного слоя (при его размере больше длины плазменной волны) связано с временем жизни возбуждаемых кильватерных волн, как написано в тексте работы.

2. В работе следовало бы более подробно пояснить, за счет чего удастся поднять эффективность генерации вторичного излучения на второй плазменной гармонике (вторая глава диссертации), хотя этот процесс имеет второй порядок малости по сравнению со случаем генерации излучения на первой гармонике. Связано ли это с использованием в качестве драйвера кильватерной волны пучка электронов и возможно ли добиться подобного увеличения эффективности для лазерного драйвера?
3. В тексте диссертационной работы было бы полезно сопоставить полученные коэффициенты конверсии энергии лазерного излучения/электронного пучка в энергию терагерцового излучения с другими опубликованными лазерно-плазменными схемами получения терагерцовых источников излучения с приведением недостатков и достоинств изученных схем.

Оценка автореферата диссертации:

Автореферат полностью раскрывает основные положения диссертации. Замечаний к автореферату нет.

Заключение оппонента по диссертации Е.П. Волчок на соискание ученой степени кандидата наук:

Диссертация Волчок Евгении Павловны «Конверсия плазменных волн в электромагнитные как метод генерации узкополосного терагерцового излучения» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9. «Физика плазмы» является научно-квалификационной работой, в которой получены результаты, совокупность которых можно квалифицировать как решение важных научных проблем, связанных с разработкой лазерно-плазменных источников

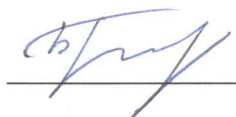
узкополосного мощного терагерцового излучения на основе нелинейного взаимодействия плазменных волн.

Диссертационная работа Е.П. Волчок «Конверсия плазменных волн в электромагнитные как метод генерации узкополосного терагерцового излучения» полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.9. Физика плазмы.

Я, Брантов Андрей Владимирович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Волчок Евгении Павловны, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент,
Брантов Андрей Владимирович
Доктор физико-математических наук
Специальность 01.04.21 «Лазерная физика»,
адрес: 119991 г. Москва, Ленинский пр-т. 53с1, к. 229
тел: +7 (916) 806-96-32
эл. почта: brantovav@lebedev.ru
Федеральное государственное бюджетное учреждение
науки Физический институт им. П.Н. Лебедева
Российской академии наук
Высококвалифицированный ведущий научный сотрудник

«18» августа 2026 г.

 А.В. Брантов

Подпись Брантова А.В. удостоверяю
Ученый секретарь ФИАН, заместитель
Директора ФИАН по научной работе, к.ф.-м.н.
+7 (499)132-62-06, scilpi@mail.ru



/ Колобов А.В. /