

ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата физико-математических наук

Корнеева Филиппа Александровича

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:

Генерация электромагнитного излучения в различных спектральных диапазонах служит мощным инструментом как для исследования разнообразных процессов в лабораторной и астрофизической плазме, так и для прикладных задач воздействия, модификации и изучения свойств физических объектов. Несмотря на обилие имеющихся в настоящее время экспериментальных и теоретических результатов, процессы, приводящие к возбуждению и испусканию электромагнитного излучения, настолько разнообразны, что круг задач по поиску оптимальных источников в контексте конкретных параметров излучения остаётся чрезвычайно широким. Диссертационная работа Волчок Е.П. «Конверсия плазменных волн в электромагнитные как метод генерации узкополосного терагерцового излучения» посвящена исследованию эффективного способа генерации излучения в одном из самых интересных диапазонов, причём полученные результаты носят общий характер и могут быть весьма полезны в задачах диагностики плазменной динамики.

Результаты, полученные в работе, могут быть непосредственно использованы в текущих исследованиях на современных лазерных установках. В частности, в работе детально обсуждается возможный демонстрационный эксперимент по генерации вторичного электромагнитного излучения встречными кильватерными волнами для реальных значений энергии, фокусировки, юстировки и вычислены ожидаемые параметры излучения. Кроме того, в работе предложена и проанализирована возможность масштабирования одной из рассмотренных схем генерации терагерцового излучения для реализации на перспективных мультимегаваттных лазерных установках.

Таким образом, полученные результаты представляются актуальными не только в контексте построения более полного физического описания процессов возбуждения электромагнитного излучения в нестационарных плазменных системах, но и для практической реализации эффективной схемы генерации мощного узкополосного терагерцового излучения.

Новизна подхода и основные результаты:

В диссертационной работе детально рассмотрено два механизма генерации излучения электромагнитных волн: в режиме конверсии ленгмюровских электронных колебаний на продольном возмущении ионной плотности, предварительно созданном в тонком плазменном слое и в режиме нелинейного взаимодействия встречных электростатических волн с локально несовпадающими поперечными профилями потенциала, распространяющихся в плазме с однородной плотностью. Получено обобщение известных ранее результатов на случай короткого лазерного драйвера и показано, что излучение способно покидать плазменный слой диффузионным образом, а его амплитуда слабо изменяется на расстояниях вплоть до нескольких длин Рэлея сфокусированного лазерного излучения накачки. Построена теория генерации излучения на удвоенной плазменной частоте по механизму плазменной антенны, когда ленгмюровская волна рассеивается на модуляции плотности. Продемонстрирована роль механизма плазменной антенны при нелинейном взаимодействии кильватерных волн, возбуждаемых встречными лазерными импульсами с разными фокальными пятнами. Предложено использовать задержку одного лазерного импульса относительно другого для увеличения интенсивности излучения, возбуждаемого на второй гармонике плазменной частоты.

Существенно новым в работе является рассмотрение эффективности схем генерации терагерцового излучения в разреженной плазме с учётом особенностей возможной экспериментальной реализации, важным новым результатом является достижимость относительно высокой величины конверсии лазерного излучения в терагерцовое.

Достоверность полученных результатов:

Результаты получены с использованием многократно верифицированных аналитических и численных методов теории физики плазмы. Все сделанные при получении результатов предположения обоснованы и проанализированы. Продемонстрированы взаимосвязи полученных результатов с известными ранее в предельных и частных случаях. Достоверность и обоснованность полученных результатов не вызывает сомнений.

Кроме того, результаты диссертации докладывались на многочисленных российских и международных конференциях и представлены в 6 статьях в рецензируемых научных журналах, 5 из которых опубликованы в изданиях, входящих в международные базы цитирования Scopus и Web of Science, и 1 в издании, входящем в «Белый список» научных журналов.

Практическая значимость полученных автором результатов:

Полученные в работе результаты могут быть непосредственно использованы при разработке новых источников мощного узкополосного терагерцового излучения. В работе важное место занимает анализ особенностей экспериментальной реализации предложенных механизмов генерации, в частности, проведён детальный анализ возможного демонстрационного эксперимента на реальной лазерной установке и на перспективной строящейся лазерной установке мультипетаваттной мощности. Помимо этого, полученные результаты важны для интерпретации как лабораторных экспериментов, в частности, по инжекции в плазму мощных электронных пучков, так и наблюдаемых астрофизических данных, например, процессов генерации излучения на Солнце.

Содержание диссертации и ее завершенность:

Диссертация состоит из введения, четырёх глав и заключения. Полный объём работы составляет 142 страницы, включая 44 рисунка и 1 таблицу. Список литературы содержит 116 наименований.

В первой главе рассмотрен механизм электромагнитного излучения на первой гармонике плазменной частоты в плазме с модулированным профилем, построена аналитическая модель и проведено численное моделирование. Во второй главе рассмотрен процесс излучения на второй гармонике плазменной частоты по механизму пучково-плазменной антенны, также построена аналитическая модель и проведено численное моделирование. В третьей главе описана постановка демонстрационного эксперимента по генерации излучения на второй гармонике плазменной частоты при использовании двух лазерных драйверов. Рассмотрены различные аспекты и особенности экспериментальной постановки, проведено численное моделирование. В последней главе рассмотрено нелинейное взаимодействие встречных профилированных плазменных волн, построена численная модель и продемонстрирована возможность масштабирования схемы на мощные лазерные установки.

Диссертационная работа Волчок Е.П. представляет собой полностью завершённую научную работу, последовательно и подробно освещает затронутые вопросы, представляет

собой существенный вклад в исследования по физике плазмы, в частности, по генерации вторичного излучения при конверсии плазменных волн, полученные результаты соответствуют мировому уровню.

Замечания и пожелания:

Диссертационная работа написана последовательно и отличается полнотой, однако хотелось бы уточнить несколько вопросов, указанных ниже.

1. В Главах 1 и 2 рассмотрена двумерная постановка задачи, что позволяет провести аккуратное сравнение с численными расчётами. Тем не менее, можно ли качественно оценить, что изменится при переходе к трёхмерной постановке?

2. В Главе 2 отмечено, что, «несмотря на то, что по теории возмущений рассматриваемый процесс является взаимодействием второго порядка по амплитуде плазменной волны, его эффективность может достигать нескольких процентов, поскольку, как будет показано далее, она обратно пропорциональна диэлектрической проницаемости плазмы, также являющейся малым параметром в этой задаче». Не нарушает ли при каких-то параметрах малость диэлектрической проницаемости условия применимости теории возмущений?

3. В работе указано, что «В большинстве рассмотренных случаев достаточно, чтобы шаг сетки позволял описывать ленгмюровские колебания.» Разрешается ли при используемых значениях пространственного шага дебаевский радиус?

4. В разделе 3.2 указано, что при ионизации в моделировании «Энергия возникающих электронов с равной вероятностью принимает значение в диапазоне $(0, I_1)$. Направление их импульса также равновероятно распределено в пространстве.» Насколько данное модельное приближение существенно? Можно ли сделать соответствующие оценки?

5. В работе предложены эффективные методы генерации терагерцового излучения и проанализированы ожидаемые параметры рассмотренных схем. Было бы интересно провести сравнение с другими известными схемами, в частности, упомянутыми во Введении. Какие схемы и при каких условиях эффективнее, мощнее? В чём преимущества и недостатки?

Отмеченные вопросы не являются сколько-нибудь значимыми недостатками и не влияют на общее высокое качество работы.

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 генерацией электромагнитного излучения в плазменной среде и разработкой соответствующих источников мощного узкополосного терагерцового излучения.

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, Корнеев Филипп Александрович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Волчок Евгении Павловны, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент,
Корнеев Филипп Александрович
Кандидат физико-математических наук
Специальность 01.04.02 «Теоретическая физика»,
адрес: 115409, г. Москва, Каширское шоссе 31
тел: +7 495 788-5699, доб. 9377
эл. почта: ph.korneev@mail.ru

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Доцент

«01» сентября 2026 г.

Корнеев

Ф.А. Корнеев



ЗАВЕРЯЮ
АЛЬНИК ОТДЕЛА
УП И УВН
МИКИРОВА Н.О.
ДАТА