

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Туева Петра Викторовича

«Развитие методов теоретического исследования плазменного кильватерного ускорения с лазерным драйвером тераваттного уровня мощности»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.18. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Актуальность темы исследования

Работа Туева П.В. относится к бурно развивающейся области плазменного кильватерного ускорения. Интерес к данной области вызван способностью плазмы выдерживать большую напряженность электрического поля. В этом случае возможно построение компактного источника электронов или излучения. Несмотря на большой опыт экспериментального и теоретического исследования данного явления, множество потенциальных конфигураций оставляет простор для новых исследований, в том числе разработке подходов к проведению оптимизации лазерно-плазменных ускорителей на основе численных расчетов. При этом наиболее часто используемый подход к решению задачи – прямое трехмерное моделирование методом крупных частиц, чрезвычайно ресурсоемко и не позволяет просканировать сколько-нибудь широкий диапазон параметров задачи. Поэтому необходимо построить новые или адаптировать существующие методики исследований к интересующей области, что и обсуждается в представленной работе.

Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и двух приложений, список литературы включает 111 наименований.

Введение посвящено обсуждению постановки задачи и ее обоснованию, кратко описывается текущее состояние дел. Обозначены основные вопросы, обсуждаемые в рамках диссертационной работы, а именно диагностика сверхзвуковых течений для кильватерных экспериментов, улучшение существующих упрощенных моделей для моделирования лазер-плазменного взаимодействия, оптимизация параметров взаимодействия и исследование возможностей увеличения длины взаимодействия. Кроме того, говорится о используемых методах и апробации результатов.

В первой главе обсуждается проблема диагностики газовых струй низкой плотности, необходимых для кильватерных экспериментов с использованием лазерных импульсов умеренной интенсивности. Предлагается модельное описание плотности струи, позволяющее снизить влияние шумов на результат измерений. Также приводится описание экспериментов, где предложенный алгоритм оказался востребованным.

Во второй главе вводится понятие квазистатического приближения и описывается численная модель, которая далее используется для оптимизации параметров лазер-плазменного взаимодействия. Обсуждаются ограничения рассматриваемой модели,

которые связаны с пренебрежением взаимодействия между слоями плазмы, и описываются пути преодоления этих ограничений.

Третья глава посвящена поиску оптимальных режимов взаимодействия лазерного импульса с однородной плазмой для обеспечения генерации электронного пучка. Параметры импульса привязаны к разрабатываемой в ИЛФ СО РАН лазерной установки. Особое внимание уделяется методологии исследования. Отмечается, что использование приближенных моделей для таких исследований может давать только качественное представление о явлении. Однако удалось найти режим, когда возможно формирование квазимоноэнергетического пучка электронов при рассматриваемых параметрах.

В четвертой главе детально рассматриваются неточности квазистатического описания плазменной волны вблизи формальных границ его применимости. Попутно предлагается его расширение, которое свободно от многих ограничений исходной модели. Сравнения происходят как с аналитической теорией, так и с моделированием из первых принципов. Отмечается, что предложенная модель получит дальнейшее развитие.

Пятая глава включает в себя описание полуаналитического подхода, позволяющего исследовать распространение излучения в полых капиллярах в широком диапазоне параметров. Особое внимание уделяется излучению с параметрами, близкими к рассматриваемым в контексте кильватерного ускорения. Обнаружены качественные отличия от ранее предложенных упрощенных теорий.

В заключении приводятся основные результаты работы и обсуждаются возможности дальнейшего развития темы исследований.

Приложения посвящены описанию конкретной численной реализации модели из главы 4 в плоской и цилиндрической геометриях. Стоит отметить, что из представленного описания можно восстановить численную схему квазистатического кода, которым были получены результаты в главах 2 и 3.

Научная новизна диссертационной работы

В работе предложен новый алгоритм обработки экспериментальных измерений параметров газовых мишеней для плазменного кильватерного ускорения. Разработаны способы расширения квазистатического приближения для описания плазмы при моделировании плазменного ускорения. Найден необычный режим генерации пучка электронов из плазмы при фокусировке излучения вглубь. Впервые обнаружены качественные несоответствия приближенного и точного описания волноводных мод в круглых капиллярах.

Научная и практическая значимость полученных результатов

Разработанный алгоритм восстановления плотности газовой струи успешно используется в экспериментах ИЛФ СО РАН. Обнаруженный режим генерации электронов позволит в будущем построить источник частиц на основе разрабатываемого там лазерного комплекса. Предложенные методики имеют широкое практическое применение, т. к. не привязаны к конкретным параметрам взаимодействия. Полученные знания о квазистатической модели позволят значительно улучшить это приближение.

Обоснованность и достоверность научных положений, результатов исследования

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием современных методик и подходов к проведению исследований. Новые методики подтверждаются сравнением с уже известными. Используемые численные инструменты доказали свою достоверность при сравнении с экспериментальными данными и аналитическими теориями в различных областях параметров. Используемые приближения типичны для данной области исследований.

Содержание диссертационной работы соответствует паспорту научной специальности 1.3.18. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника в области исследования «Формирование и исследование магнитных и электрических полей, необходимых для ускорения и удержания пучков заряженных частиц» (п. 4 паспорта специальности).

Результаты диссертации обсуждались на конкурсах молодых ученых Института ядерной физики имени Г.И. Будкера СО РАН и докладывались автором на пяти международных конференциях. Работа подкреплена одной публикацией в журнале из списка ВАК и четырьмя публикациями в изданиях, индексируемых в международной базе данных SCOPUS.

Замечания по диссертационной работе

1. В первом положении, выносимом на защиту, утверждается устойчивость разработанного алгоритма при «малом» фазовом набеге около 1 рад. В первой главе диссертационной работы не проводится анализ устойчивости метода, не обсуждаются критерии выбора числа членов аппроксимационного ряда, динамический диапазон по концентрации, достижимый в рамках развиваемого алгоритма. В частности, следовало бы привести результаты обработки для зашумленных экспериментальных данных. Кроме того, набег фазы в 1 рад – довольно большая величина.
2. Второе защищаемое положение не имеет внутри себя положительного результата: говорится о том, что существующее – плохо, а что такое «медленные коды, использующие полные физические модели» – неясно.
3. Четвертое защищаемое положение также говорит не о полученном автором результате, а о недостатках ранее существовавших подходов. Если «существуют качественные отличия в характере возбуждения мод», то именно они и могли бы быть смыслом защищаемого положения.
4. Поскольку главы между собой связаны только общей идеей лазерного кильватерного ускорения, то литературные обзоры естественным образом вынесены в начало каждой из глав. К сожалению, эти обзоры зачастую не дают представления о ранее выполненных исследованиях. В первую очередь это относится к 1 и 5 главам работы.
5. Работа изобилует жаргонизмами и опечатками, перечисление которых просто не имеет смысла.
6. По диссертационной работе опубликовано мало статей в рецензируемых журналах.

Перечисленные замечания не снижают общей положительной оценки работы и квалификации ее автора. Автореферат соискателя в полной степени отражает положения, выводы и рекомендации, содержащиеся в диссертации. Диссертационная работа Туева П.В. «Развитие методов теоретического исследования плазменного кильватерного ускорения с

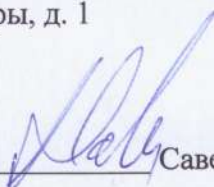
лазерным драйвером тераваттного уровня мощности» выполнена на высоком научном уровне, является законченной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. П.В.Туев заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.18. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Я, Савельев-Трофимов Андрей Борисович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Туева Петра Викторовича, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук (01.04.21 – Лазерная физика),
профессор кафедры общей физики и волновых процессов физического факультета,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»
адрес: 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1
тел: +7 (495) 939-53-18
эл. почта: abst@physics.msu.ru

15 ноября 2022 г.


Савельев-Трофимов Андрей Борисович


Подпись Савельева-Трофимова А.Б. удостоверяю.

Декан физического факультета

МГУ имени М.В.Ломоносова

профессор _____




Сысоев Н.Н.