

## ОТЗЫВ

Официального оппонента Вшивкова В.А.  
на диссертационную работу Березуцкого Артема Григорьевича  
«Преобразование импульсно-периодического лазерного излучения  
в низкочастотные волны в замагниченной плазме  
с применением механизма объединения волн»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-  
математических наук по специальности 1.3.19 «Лазерная физика»

В диссертационной работе Березуцкого А.Г. изучается новый метод генерации протяженных плазменных волн в лабораторной замагниченной плазме с применением импульсно-периодического лазерного излучения. Тема диссертационной работы является актуальной на сегодняшний день и обусловлена практической значимостью для ряда научных приложений, где необходимо применение новых методов формирования направленных потоков энергии, импульса, момента импульса и электромагнитного излучения, которые переносят устойчивые и протяженные низкочастотные волны, а также для прикладных задач, применительно к лазерно-плазменным технологиям с применением высокоскоростных потоков лазерной плазмы.

Диссертационная работа Березуцкого А.Г. состоит из введения, четырех глав, заключения, содержит 133 страницы, 46 рисунков и библиографический список из 165 наименований.

Во введении описывается актуальность темы диссертационного исследования, цели и задачи, методы исследования, показана научная новизна полученных результатов, приводятся научные положения, выносимые на защиту. Первая глава посвящена обзору научных работ по теме диссертационного исследования. Описываются основные исследования, связанные с лазерной плазмой и ее применением для лабораторного моделирования космических процессов. Во второй главе рассматриваются методы исследования низкочастотных волн, создаваемых лазерным излучением. Описывается экспериментальный стенд КИ-1, основные параметры лазерной системы. Приводится описание численной модели генерации волн лазерной плазмой и сравниваются результаты численного моделирования, с экспериментальными данными по генерации альфвеновских волн на экспериментальных установках КИ-1 и LAPD. В третьей главе приводятся результаты численного моделирования генерации альфвеновских и магнитозвуковых волн сгустками лазерной плазмы в замагниченной лабораторной плазме. Рассматриваются критерии механизма объединения волн и приводятся преимущества механизма объединения волн для генерации

низкочастотных волн, по сравнению с генерацией одиночным лазерным импульсом. Описываются дополнительные условия эффективного формирования низкочастотных волн в замагниченной плазме. В четвертой главе приводятся экспериментальные результаты по проверке критериев объединения волн и эффективной закачки энергии лазерных сгустков в силовую трубку магнитного поля в виде потока лазерной плазмы и низкочастотных альфвеновских и медленных магнитозвуковых волн. В заключении приводятся основные результаты работы.

Работа носит вычислительный и экспериментальный характер, что значительно усиливает ценность полученных результатов.

**В диссертации получены следующие научные результаты:**

1. Механизм резонансного объединения волн, создаваемых периодическими сгустками лазерной плазмы, действует не только в газах, но и в магнитном поле и в замагниченной плазме.
2. Импульсно-периодические сгустки плазмы позволяют генерировать низкочастотные волны и поток плазмы, распространяющиеся вдоль магнитной силовой трубки и содержащие ~ 50 % от вложенной энергии.
3. Найдены критерии, которые позволяют управлять типом генерируемых волн и формой переноса энергии. Показано, что возможны следующие типы низкочастотных и высокочастотных волн и их сочетания:
  - Медленная магнитозвуковая волна, переносящая продольный импульс сжатой плазмы фона.
  - Альфвеновская волна, переносящая сильные вариации магнитного поля и момент импульса вращающейся в волне плазмы фона.
  - Вистлерная волна, переносящая высокочастотные колебания и электромагнитное излучение.
4. Критерии позволяют управлять спектром волн, который может содержать низкие частоты, низкие и высокие, или высокие на частоте повторения сгустков.
5. В магнитном поле альфвеновская и медленная магнитозвуковая волны создаются двухкомпонентной лазерной плазмой, заполняющей силовую трубку. При этом критерии имеют тот же вид, что и в замагниченной плазме.

## Практическая значимость результатов

Полученные в диссертации результаты является научной основой для разработки и применения новых методов формирования направленных потоков энергии, импульса, момента импульса и электромагнитного излучения, которые переносят устойчивые и протяженные низкочастотные волны. Результаты исследования также актуальны в задачах лазерно-плазменных технологий с применением высокоскоростных потоков лазерной плазмы и для лабораторного моделирования процессов в космической плазме.

Основные результаты диссертации достаточно полно изложены в 13 печатных изданиях, 5 из которых изданы в журналах рекомендованных ВАК, 8 - в трудах конференций. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

## Замечания

Диссертация выполнена на хорошем уровне, рисунки и графический материал выполнены качественно, но в ходе изучения работы имеются следующие замечания:

- В тексте диссертации обнаружены незначительные недочеты, связанные с грамматическими и стилистическими погрешностями.
- По тексту диссертации везде приводится параметр  $L_{pi}$ , но не дается его физического определения.
- В третьей главе, не во всех результатах численного моделирования указаны входные параметры задачи.
- В четвертой главе на рисунке 4.16. представлена производная азимутальной компоненты магнитного поля, которая имеет размерность (В) хотя везде по тексту диссертации магнитные поля имеют размерность (Гс).
- Плохо описан пакет программ, с помощью которого получены численные результаты. Не указаны возможности программы, область допустимых параметров. Непонятно, на каких сетках, с какими пространственными и временными шагами проводились расчёты, что не позволяет оценить точность получаемых результатов. Это важно, поскольку на сравнении с результатами численных расчётов делаются физические выводы.
- В описании схемы не сказано, что такое «donor-cell схема».



