



УТВЕРЖДАЮ

Проректор МГУ им. М.В. Ломоносова
д.ф.-м.н., профессор

Федянин А.А.

«27» октября 2014 года

ОТЗЫВ

Ведущей организации на диссертационную работу
ЛЕБО Александры Ивановны «АНАЛИЗ ЛАЗЕР-ПЛАЗМЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С
ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ», представленную к
защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности
05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Диссертационная работа Лебо А. И. «Анализ лазер-плазменных экспериментов с помощью методов математического моделирования» посвящена моделированию на ЭВМ физических процессов в лазерной плазме. Диссертация состоит из трех глав, введения и заключения.

Во введении отмечена актуальность работы, кратко описано ее содержание, сформулированы новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе дано описание физических процессов взаимодействия мощных лазерных импульсов с конденсированными мишенями, образования и разлета плазмы, распространения сильных ударных волн, ионизации и рекомбинации вещества. Приводятся основные уравнения базовой модели и методов их решения с помощью двумерной программы «Atlant_C».

Во второй главе диссертации приведены результаты компьютерного моделирования двух серий экспериментов, которые были выполнены на мощном йодном лазере «PALS» (Прага, Чешская республика).

Для описания процессов в сжатом веществе потребовалось, в частности, использование сложных физико-математических моделей состояния вещества. Автор диссертации было проведено сравнение трех различных типов уравнений состояния вещества и показано, что модель ZRI, использованная автором для расчетов, позволяет с хорошей точностью описать исследуемые явления и не требует больших затрат процессорного времени на современных ЭВМ. Это позволило автору диссертации провести большое количество вычислительных экспериментов и на основании этих данных вывести соотношения подобий («скейлинги») зависимости давления и скорости движения вещества за фронтом ударной волны от параметров лазерного импульса и материала мишени.

Автором диссертации была предложена физико-математическая модель переноса энергии в турбулентной плазме, развит алгоритм и написана новая версия двумерной программы «Atlant_C_turb» (в цилиндрических координатах). На основании расчетов дана количественная интерпретация наблюдаемых в натурном эксперименте оптических явлений.

В диссертации обсуждается возможность использования пористых материалов в термоядерных лазерных мишенях для генерации сверхсильных магнитных полей, что позволяет

уменьшить отток тепловой энергии из горючего в оболочку и моделировать «звездное вещество» в лабораторных условиях. Разработан алгоритм и написана новая версия двумерной программы «Atlant_Sp_turb» (в сферических координатах). Проведены расчеты сжатия оболочечных термоядерных мишеней, содержащих слои пористого вещества.

В третьей главе диссертации моделировалась плазма, сформированная с помощью лазерного импульса, облучающего электрод лазерно-индуцируемого диода. Работы по созданию такого устройства ведутся в МГТУ МИРЭА совместно с ФИ РАН.

В этих экспериментах применялись компактные лазеры с интенсивностью 10^{11} - 10^{12} Вт/см². Приведены результаты расчетов лазерной плазмы, формируемой пикосекундным и наносекундным лазерными импульсами, и дано объяснение наблюдаемого в экспериментах формирования двух энергетических групп высоко заряженных ионов в первом случае. На основании анализа численных расчетов создана физико-математическая модель и получены соотношения подобия («скейлинги»), позволяющие определять значения потоков массы и заряда такой плазмы (форплазмы) для заданных параметров лазерного импульса (интенсивности, длительности импульса и длины волны излучения). На основании этой модели была разработана программа «LP- лазерная плазма», с помощью которой определяются термодинамические параметры сжатого конденсированного вещества и разлетающейся плазмы при заданных значениях лазерного импульса и материала мишени.

В заключении приводятся основные результаты, полученные в диссертации, формулируются основные положения, выносимые автором на защиту, дан список публикаций автора по теме диссертации и список конференций и научных семинаров, где прошли апробацию эти результаты.

Все результаты, выносимые на защиту, получены автором лично, либо при ее определяющем личном вкладе.

Достоверность научных результатов опирается на физическую обоснованность моделей, решение систем дифференциальных уравнений в частных производных с помощью известных и хорошо обоснованных численных методов с использованием надежных программ, согласием с полученными в натурных экспериментах данными, непротиворечивостью полученных автором результатов с данными предшествующих исследований.

Актуальность работы обусловлена потребностью развития физико-математических моделей для описания и интерпретации результатов современных лазерно-плазменных экспериментов, и планирования новых дорогостоящих исследований.

Научная новизна работы:

- предложена новая физико-математическая модель переноса энергии в турбулентной плазме, образованной при взаимодействии мощных лазерных импульсов с пористыми средами;
- созданы новые версии программ «Atlant_C_turb» и «Atlant_Sp_turb», позволяющие моделировать перенос энергии в турбулентной плазме, образованной при воздействии лазерных импульсов на малоплотную трехмерно-структурированную среду;

- получены соотношения подобия для определения потоков массы и заряда форплазмы вблизи катода лазерно-индуцированного разряда и создана программа «LP-лазерная плазма», позволяющая определять параметры разлетающейся плазмы и сжатого ударной волной вещества.

Практическая значимость исследований заключается в том, что разработанные автором модели и программы помогли проанализировать экспериментальные данные, полученные на мощном йодном лазере “PALS” в Чешской республике и лазерной установке в Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН, а также прогнозировать лазерные эксперименты в других лабораториях. Значимость результатов диссертации подтверждается актами об использовании, полученными от Международного лазерного центра МГУ им. М.В. Ломоносова и от Отделения квантовой радиофизики Физического института им. П.Н. Лебедева.

Основные результаты работы заключаются в следующем:

1. Развита физико-математическая модель и на основании вычислительных экспериментов и сравнения с опытными данными получены аналитические зависимости, позволяющие определить давление и скорость ударной волны в конденсированном веществе по параметрам лазерного излучения с интенсивностью $\sim 10^{13}-10^{14}$ Вт/см².

2. Предложена физико-математическая модель переноса энергии в турбулентной плазме, образованной при взаимодействии мощных лазерных импульсов с пористыми мишенями. На ее основе созданы новые версии двумерных программ «Atlant_C_turb» (в цилиндрических координатах) и «Atlant_Sp_turb» (в сферических координатах). Продемонстрировано хорошее согласие результатов вычислительных экспериментов с известными опытными данными, полученными на установке “PALS” (г. Прага, ЧР).

3. Развита физико-математическая модель и на основании вычислительных экспериментов получены аналитические зависимости, позволяющие определить массу и заряд форплазмы вблизи катода лазер-плазменного разряда (интенсивность лазерного излучения $\sim 10^{11}-10^{12}$ Вт/см²). Создана программа «LP – лазерная плазма», которая позволяет в режиме “on-line” определять параметры разлетающейся плазмы и сжатого ударной волной вещества.

Результаты диссертации докладывались на 17 Всероссийских и Международных научных конференциях и полностью опубликованы в Российских и Международных журналах (всего -17 наименований, из них 5 из перечня ВАК Минобрнауки РФ и 7 из базы данных Web of Science).

Полнота изложения материалов диссертации и результатов исследований отвечает работам соискателя в научных отечественных и зарубежных изданиях (опубликованных, в частности, в журналах из перечня ВАК и реферативной базе данных по мировым научным публикациям Web of Science).

По работе необходимо сделать следующие замечания:

1.Глава 1, литературный обзор, не содержит глубокого анализа процессов, протекающих в лазерной плазме с точки зрения формулировки физико-математической модели. В частности, не обсуждаются особенности, связанные с неравновесностью плазмы (немасквелловская функция распределения электронов, присутствие и роль горячих электронов), с генерацией магнитных

полей (нелокальность отклика плазмы и пространственная дисперсия), с теплопроводностью плазмы (роль баллистической теплопроводности, наличие вязкости в плазме, возможность турбулентных потоков) и т.д. При этом использованная автором работы модель явно строится в определенных предположениях, которые четко и в явном виде в работе не отражены.

2. Разработанная автором модель ионизации ZRI не учитывает возбуждение и релаксацию через возбужденные состояния, что может приводить к существенному занижению скорости ионизации и рекомбинации в определенном классе лазерно-плазменных задач.

3. При моделировании воздействия лазерного излучения на пористые среды, по сути, среда представляется автором в виде гомогенной среды пониженной (и модулированной по пространству) плотности. При этом не всегда ясно, в какой постановке решалась задача – эйлеровой или лагранжевой, присутствовало ли перемешивание слоев и т.п. Вопрос о влиянии безусловно присутствующей мелкомасштабной неоднородности плазмы автором при этом не обсуждается, хотя в заглавии этой части работы используется термин «турбулентная плазма». Кроме того, в такой плазме следует ожидать повышения ионной температуры среды, что также не обсуждается в работе.

4. Оформление диссертационной работы далеко от идеального. В самой работе и в автореферате не сформулирована общая цель работы. Текст работы изобилует ошибками и опечатками, часть выделенных и встроенных формул набраны с неправильным форматированием, по тексту иногда меняется межстрочный интервал и т. п. В подписях к рисункам и на самих рисунках часто встречается смешение английского и русского языков.

Несмотря на отмеченные серьезные недостатки, работа Лебо Александры Ивановны «Анализ лазер-плазменных экспериментов с помощью методов математического моделирования» соответствует требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», а ее автор заслуживает присуждения искомой степени.

Заключение принято на совместном заседании кафедры общей физики и волновых процессов физического факультета и Ученого совета Международного учебно-научного лазерного центра МГУ имени М.В.Ломоносова. Текст отзыва был обсужден и принят единогласно.

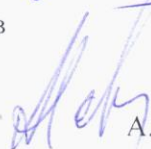
Заключение составили

Директор МЛЦ МГУ имени М.В.Ломоносова,
Зав.кафедрой общей физики и волновых процессов
физического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова
профессор, доктор физико-математических наук



В.А.Макаров

Профессор кафедры общей физики и волновых процессов
физического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова,
доктор физико-математических наук



А.Б. Савельев-Трофимов