



МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МИНОБОРОНЫ РОССИИ)
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
КАЗЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
12 ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
НАУЧНО - ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

г. Сергиев Посад-7, ул. Весенняя, д. 2Б
Московская обл., 141307

«18» 11 2016 г. № 6319

Председателю диссертационного
совета Д 002.024.03
на базе Института прикладной
математики им. М.В. Келдыша
Российской академии наук
академику Б.Н. ЧЕТВЕРУШКИНУ
125047, г. Москва, Миусская пл., 4

Уважаемый Борис Николаевич!

Высылаю отзыв официального оппонента Валько В.В. о диссертационной работе Цыгвинцева И. П. на тему: «Трехмерное моделирование коротковолнового источника излучения на основе лазерной плазмы», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

- Приложение. 1. «Отзыв...», экз. 1, 2 на 6 стр. каждый, несекретно.
2. «Согласие на оппонирование», 1 экз. на 5 стр., несекретно.
3. «Диссертация», «Автореферат диссертации», 1 кн./1бр. к н/вх. № 5712 от 24.10.16, несекретно.
Приложение – только адресату.

С уважением,

Заместитель начальника института по научной работе

В.Чипко

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертационной работе
ЦЫГВИНЦЕВА Ильи Павловича на тему:
«Трёхмерное моделирование коротковолнового
источника излучения на основе лазерной плазмы»,
представленной на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности
05.13.18 «Математическое моделирование, численные
методы и комплексы программ»

1 Актуальность избранной темы диссертации

Тема диссертации актуальна. Это определяется несколькими обстоятельствами различного характера, среди которых целесообразно выделить два. Первое из них – необходимость создания программных средств для эффективного решения плазменных задач взаимодействия лазерного импульса и вещества мишени методами математического моделирования. Второе обстоятельство – актуальность выполнения вычислительных экспериментов с целью прогнозирования и анализа натурных экспериментов при решении проблемы по разработке нового поколения фотолитографических установок.

2 Степень обоснованности научных положений, выводов, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна

Во введении автор работы, Цыгвинцев И.П., приводя обзор научной литературы по изучаемой проблеме, формулирует цель и задачи, решаемые в работе. На основе проведенного анализа сформулированы основные предъявляемые требования к разрабатываемому трёхмерному радиационно-газодинамическому коду, позволяющему проводить многопараметрические численные исследования воздействия лазерного импульса на вещество мишени.

Первую главу работы автор посвятил вопросам физических приближений и физико-математической модели процессов, происходящих в лазерной плазме. В основу этой модели положено приближение одножидкостной двухтемпературной квазинейтральной плазмы с учетом нестационарной ионизации. Учитывается отклонение ионного состава плазмы от равновесного, и влияние излучения на

термодинамические и оптические характеристики плазмы. Расчет ионизации осуществляется либо в квазистационарном приближении, либо в приближении эффективного времени релаксации для среднего заряда иона.

Основная часть первой главы посвящена построению гибридной модели переноса лазерного излучения, которая совмещает геометрическую оптику и одномерное волновое уравнение Гельмгольца.

Хотелось отметить, что идея гибридного подхода не нова, она высказывалась ещё в 1982 г. в трудах ФИАН. И отдельные элементы, в том числе и для трехмерной постановки, уже были опубликованы в 2006 и 2012 г.г. Однако необходимо отметить, что соискатель предложил принципиально новую реализацию данной модели в разработанном программном комплексе 3DLINE, который предназначен для параллельных вычислений. Автор провел исследование поведения данной модели на различных простых случаях и убедительно показал, что она учитывает рефракцию и обеспечивает корректный выход на формулы Френеля для разрывной диэлектрической проницаемости.

Во второй главе соискатель излагает описание дискретизации построенной физико-математической модели.

Уравнения газодинамики решаются известным методом конечных разностей в лагранжево-эйлеровых переменных (в научной литературе – известен как СЭЛ метод). В работе автор на лагранжевом этапе, используя неявную схему, модифицирует её, что позволяет в трехмерном случае сохранять полную консервативность. Однако хотелось бы отметить, в отдельных случаях такая модификация может приводить к избыточному росту энтропии, т.е. не совсем корректно проведена модификация. При обсуждении методики пересчета величин на скорректированную сетку автор не счел нужным изложить алгоритм построения такой сетки.

В данной главе также изложены используемые методы расчета переноса теплового излучения: спектральное диффузионное приближение и метод дискретных ординат, в котором уравнение переноса решается вдоль длинных или коротких характеристик. Мне кажется, что имея в своем арсенале такие методики,

автор мог бы, сделав незначительную модификацию, реализовать и метод квазидиффузии.

Третья глава диссертационной работы посвящена программной реализации предложенных автором численных схем и алгоритмов программного комплекса 3DLINE. Особое внимание уделено тестированию отдельных физических модулей. Материал, изложенный в главе неоднороден – ряд тестов и подобран правильно, и изложен хорошо. А для некоторых тестов, например, сравнение методов расчета переноса излучения на модельной задаче, выбор задачи неудачен, поэтому при изложении этого материала не продемонстрированы в полной мере все те преимущества методов расчета, которые заложены при разработке вычислительного комплекса.

Тестовая задача о точечном взрыве, которая предназначена для тестирования блока газовой динамики, изложена не лучшим образом. Считаю, что выбор для сравнительного анализа распределения плотности является неудачным. Для характеристики сильной ударной волны более информативным являются эпюры избыточного давления. Не приведены численные значения о точностных характеристиках схемы, а терминология «несколько хуже», «отлично согласуется» в ряде случаев просто не корректна.

Не сформулированы выводы, подтверждающие выполнение всех заявленных свойств разработанной программы.

Данное изложение третьей главы нельзя признать столь успешным, как хотелось бы. Это, по всей вероятности, объясняется краткостью изложения и не всегда удачным выбором тестовых задач.

В главе 4 автором изложены первые результаты, полученные в ходе вычислительных экспериментов: задача о скользящем падении лазерного пучка на плоскую мишень, задача нецентрального воздействия лазерного пучка на оловянную каплю и моделирование динамической плазменной фазовой пластины. К сожалению, при изложении данного раздела по моделированию задач плазмодинамики автором практически не рассматриваются вопросы физики изучаемого явления. Это затрудняет прочтение данного раздела вследствие

недосказанности. К тому же, надо добавить, задача решена на грубой сетке, и поэтому на представленном графическом материале не видны особенности газодинамического течения. Кстати, на более подробной сетке процессы испарения капли приведут не только к количественному, но и, возможно, качественно к другому результату.

Считаю, что результаты, изложенные в данной главе, носят больше дискуссионный характер и говорят о потенциальной возможности проведения вычислительного эксперимента моделирования задач плазмодинамики с использованием разработанного автором программного обеспечения и получения не только качественно правильных результатов, но и количественно подтвержденных натурными экспериментальными данными.

Научная новизна работы заключается в том, что её автор построил новую гибридную модель лазерного излучения, учитывающую рефракцию лазерного излучения в плазме, корректно описывающую поглощение излучения на скачке диэлектрической проницаемости; модифицировал схемы и разработал алгоритмы, позволившие создать новый трехмерный распараллеленный код, адаптированный под решение задач радиационной газовой динамики, связанных с моделированием лазерной плазмы.

3 Практическая значимость работы заключается в том, что созданное программное обеспечение является инструментарием трехмерного моделирования воздействия лазерных импульсов на вещество мишени, и в настоящее время используется для прогнозирования и анализа результатов экспериментов при решении проблемы разработки нового поколения фотолитографических установок.

4 Степень достоверности работы и качество оформления

Работа имеет завершённый характер, является законченным научно-квалификационным трудом.

Достоверность полученных результатов обеспечивается строгостью используемого математического аппарата, подтверждается сравнительным анализом результатов решения задач, имеющих аналитические решения, а также численного

моделирования с экспериментальными данными и с данными вычислительных экспериментов, выполненных по известным численным методикам.

Объем работы, её текстовое и графическое оформление соответствует требованиям. Язык изложения научного материала свидетельствует о высоком профессиональном уровне автора в данной отрасли науки и техники.

Список публикаций, приведенный в диссертационной работе, соответствует реально действующим научным статьям, в которых диссертант является автором или соавтором.

Содержание автореферата соответствует основным идеям и выводам диссертации.

5 Замечания (предложения, пожелания) по диссертации

5.1 При построении гибридной модели переноса лазерного излучения, которая совмещает геометрическую оптику и одномерное волновое уравнение Гельмгольца, предложение по использованию простейшего критерия перехода между моделями является не обоснованным. Возможно, например, использование критерия, учитывающего градиент коэффициента преломления.

5.2 Изложенные алгоритмы работы с интерполяционными таблицами непрозрачности и уравнений состояния не позволяют описывать области фазового перехода в двухтемпературной модели.

5.3 При построении блока газовой динамики не обоснован выбор неявной эйлерово-лагранжевой разностной схемы трехмерной газовой динамики на основе согласованных аппроксимаций балансов массы и импульса.

В области решения задачи есть как сверхзвуковые течения, так и дозвуковые. В одном случае выбор оправдан, в другом – нет. Неявность увеличивает время счета задачи и создает дополнительные неудобства при распараллеливании под MPI технологии.

5.4 В работе не продемонстрирована реализация гибридного подхода (MPI-OpenMP) при работе кода в параллельном режиме. Есть упоминание о семикратном ускорении при использовании 16 вычислительных ядер на одном узле.

5.5 Выводы, изложенные в Заключение, носят слишком обобщающий характер и не дают истинного понимания степени проработанности решенных автором задач. Не сделаны необходимые комментарии и не обозначены перспективы дальнейших исследований по теме настоящей диссертации.

6 Выводы

Считаю, что указанные замечания не снижают ценности рассмотренной работы и не влияют на положительную оценку работы в целом.

Из приведенного анализа содержания работы следует, что в ней дано новое решение актуальной научной задачи: разработка и реализация в рамках программного комплекса численных методов и алгоритмов решения уравнений радиационной газодинамики с учетом новой гибридной модели лазерного излучения, учитывающей рефракцию лазерного излучения в плазме. Эта задача имеет большое значение в теории вычислительного эксперимента актуальных задач при решении проблемы разработки нового поколения фотолитографических установок. Все результаты диссертации опубликованы в ведущих рецензируемых научных журналах.

Диссертационная работа соответствует требованиям п. 7 «Положения о порядке присуждения степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Цыгвинцев Илья Павлович, достоин присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент

доктор технических наук ведущий научный сотрудник

Федерального государственного казенного учреждения «12 Центральный научно-исследовательский институт» Министерства обороны Российской Федерации (ФГКУ «12 ЦНИИ» Минобороны России)

Московская обл, Сергиево-Посадский р-н, городок Сергиев Посад-7, 141307

E-mail: fgul2tsnii@mil.ru, тел: +7 (499) 790-9274

Валько Виктор Васильевич

Подпись Валько Виктора Васильевича удостоверяю:

Учёный секретарь ДС 215.304.01

Осоловский В.С.

«18» ноября 2016 г.

