

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Куликова Игоря Михайловича «Математическое моделирование трехмерных гидродинамических процессов в самосогласованном гравитационном поле на суперЭВМ», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Актуальность темы исследований

Диссертационная работа Куликова Игоря Михайловича «Математическое моделирование трехмерных гидродинамических процессов в самосогласованном гравитационном поле на суперЭВМ» посвящена описанию и изучению трехмерных нелинейных гидродинамических процессов в астрономических объектах. Развитие в середине XIX века спектрального анализа, в 40-х годах XX века радиоастрономии, а в конце XX века спутников и космических телескопов превратили астрономию в одну из бурно развивающихся областей физики. Большой объем новых экспериментальных данных дал возможность сравнивать различные этапы развития астрономических объектов, тем самым вводя в астрономию динамический эксперимент, чего не было в астрономии ранее. Однако, несмотря на успехи современной наблюдательной астрономии, остаются открытыми многие актуальные проблемы исследования физических процессов во Вселенной, их влияние на самоорганизацию, эволюцию, динамику и взаимодействие астрономических объектов. Необходимость учета гравитационного и магнитных полей, а также существенные ограничения на воспроизведение условий космоса в лабораторных условиях приводят к тому, что математическое моделирование – это основной, а порой и единственный, подход к теоретическому исследованию астрофизических процессов и астрономических объектов. Сложность математических моделей предъявляет высокие требования к их численной реализации.

Автором построена математическая гидродинамическая модель для описания и исследования астрономических объектов начиная с масштаба отдельных метеоритов при их столкновении с поверхностью планет до крупномасштабных космологических структур. Эта модель реализуется в ходе вычислительного эксперимента на суперкомпьютерах. Несомненна актуальность и практическая значимость исследований, что подтверждается наличием разработанных и запатентованных программных пакетов, которые используются в ряде российских и зарубежных научных организаций.

Научная новизна исследований и полученных результатов

Основная научная новизна полученных в работе результатов состоит в следующем:

1. На основе предложенного уравнения состояния общего вида для описания всех фазовых состояний материала построена новая математическая модель упруго-пластических деформаций с учетом фазовых переходов.
2. Построена термодинамически согласованная математическая модель астрономических объектов с учетом фазовых переходов.
3. Разработан и эффективно реализован новый численный метод решения гиперболических уравнений высокого порядка точности на гладких решениях и с малой диссипацией решения в области разрывов.
4. В рамках термодинамически согласованной гидродинамической модели смоделированы и исследованы различные сценарии взаимодействия галактик, а также эволюция межзвездной среды.
5. Впервые в рамках модели изотермической гравитационной газовой динамики экспериментально обоснована гипотеза об образовании большего числа спиральных рукавов галактики при меньшей массе диска по отношению к массе Гало. Определены соотношения между массами диска и Гало, при которых образуются два, четыре и семь спиральных рукавов галактики.

Полученные автором теоретические и практические результаты и разработанные численные модели дают специалистам в области математического моделирования гидродинамических процессов в самосогласованном гравитационном поле эффективный инструмент для решения задач в области теоретической астрофизики и геофизики.

Таким образом, в диссертационной работе И.М. Куликова подробно и полно исследованы нестационарные гидродинамические процессы с учетом самогравитации, что представляется важным как в теоретическом, так и в практическом плане. Поставленные и исследованные задачи, безусловно, являются актуальными. Все основные результаты, выносимые на защиту, получены впервые и представляют несомненный интерес для специалистов в области математического моделирования гидродинамических процессов, теоретической астрофизики и геофизики.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Общий объем диссертации составляет 275 страниц, включая 97 рисунков, 13 таблиц и список литературы из 281 наименования.

Во введении приведен анализ современного состояния математических гидродинамических моделей с учетом самогравитации, численных методов для их решения и программных реализаций.

В главе 1 описана вычислительная модель упруго-пластических деформаций с учетом фазовых переходов. В основе модели лежит численное решение уравнений нелинейной теории упругости в лагранжевых координатах с несимметричным тензором напряжений на основе уравнения состояния общего вида, пригодного для описания всех фазовых состояний материала. Приведена верификация модификации метода Годунова для этой модели на задаче «о распаде разрыва» в упругой среде. Приведены результаты вычислительных экспериментов по изучению ранней стадии

взаимодействия метеоритов с поверхностью планет при наличии и отсутствии атмосферы.

В главе 2 описаны гидродинамические математические модели астрономических объектов и подсеточные процессы, необходимые для учета на различных масштабах. Модели основаны на совместном использовании магнитогазодинамической модели и уравнений для первых моментов бесстолкновительного уравнения Больцмана, описывающих бесстолкновительные компоненты астрономических объектов (звезд и темной материи в галактиках и крупномасштабных космологических структурах). Такой способ формулировки позволяет представить термодинамически согласованную гидродинамическую модель для описания динамики астрофизических течений.

В главе 3 приведено описание численного метода решения гиперболических уравнений, его верификация на различных задачах газовой динамики, магнитной газовой динамики, гравитационной газовой динамики, а также для уравнений первых моментов бесстолкновительного уравнения Больцмана. Приведено описание и исследование параллельной реализации численного метода на суперкомпьютерах различных типов.

В главе 4 представлены результаты вычислительных экспериментов по моделированию гидродинамических процессов, начиная от крупномасштабных объектов (космологические структуры), заканчивая объектами масштаба протопланетного диска.

В заключении сформулированы основные выводы и основные результаты диссертации, приведены рекомендации по использованию результатов диссертации и перспективы дальнейшей разработки темы.

Обоснованность и достоверность полученных результатов

Диссертация И.М. Куликова обладает смысловым единством, достоверность представленных в ней результатов основана на применении обоснованных математических моделей, верифицированных на специальном наборе тестов, сравнением результатов моделирования с лабораторными экспериментами и наблюдениями, наличием высокорейтинговых публикаций и докладов по теме диссертации на различных специализированных конференциях и семинарах. Таким образом, работа носит законченный характер.

Научная и практическая ценность основных положений диссертации

Сформулированные в диссертации научные положения и основные результаты представляются обоснованными. И.М. Куликовым построена и теоретически обоснована математическая модель упруго-пластических деформаций с учетом фазовых переходов и термодинамически согласованная гидродинамическая модель астрофизических объектов.

Результаты диссертации важны как для практических приложений, связанных с моделированием гидродинамических процессов в самосогласованном гравитационном поле, так и для дальнейшего развития теории нелинейных гидродинамических процессов в астрономических объектах.

Публикации и соответствие паспорту специальности

Основные результаты по теме диссертации в полном объеме изложены в двух монографиях, 23 статьях в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК. Из них 15 в журналах, зарегистрированных в системе Scopus, 13 в журналах, зарегистрированных в системе Web of Science, в 4 свидетельствах о государственной регистрации программы для ЭВМ. Результаты диссертации докладывались и обсуждались на 18 всероссийских конференциях, 16 международных конференциях, а также на ведущих научных семинарах. Под руководством И.М. Куликова были выполнены два гранта Президента РФ для молодых ученых кандидатов наук, три гранта РФФИ, грант Мэрии г. Новосибирска и работа в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009 – 2013 годы», результаты которых вошли в содержание диссертации. Содержание диссертации соответствует специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Замечания по диссертационной работе

Несмотря на достаточно широкий обзор литературы и сформулированные на его основе адекватные гипотезы по эволюции астрономических объектов не приведено сравнение результатов вычислительных экспериментов с астрономическими наблюдениями для задач эволюции рукавов галактик, развития МГД турбулентности межзвездной среды и крупномасштабных космологических объектов. Эти сравнения, несомненно, украсили бы диссертационную работу. Имеются отдельные шероховатости в стиле изложения.

Отмеченные недостатки не снижают высокой оценки, которую заслуживает данная работа. Разработка математической гидродинамической модели для описания астрономических объектов на суперкомпьютерах, несомненно, является крупным научным достижением в области изучения пространственных, существенно трехмерных нелинейных гидродинамических процессов.

В автореферате обоснована актуальность исследования, его цели и задачи, научная новизна, практическая ценность и значимость научных результатов, выносимых на защиту. Автореферат полно и правильно отражает содержание диссертации.

Заключение о работе

Считаю, что диссертация Куликова Игоря Михайловича «Математическое моделирование трехмерных гидродинамических процессов в самосогласованном гравитационном поле на суперЭВМ» соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, согласно п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней» с изменениями постановления Правительства Российской Федерации от 21 апреля 2016 г. № 335 «О внесении изменений в Положение о присуждении ученых степеней», а ее автор Куликов Игорь Михайлович, безусловно, заслуживает присуждения ему ученой

степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18 –
Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент,
Заведующий лабораторией дифференциальных уравнений ИГиЛ СО РАН,
д.ф.-м.н.



Александр Павлович Чупахин

«29» декабря 2016 г.
e-mail: chupakhin@hydro.nsc.ru
тел.: +7 (383) 333-19-64

Подпись д.ф.-м.н, заведующего лабораторией дифференциальных уравнений ИГиЛ
СО РАН А.П. Чупахина заверяю

Ученый секретарь ИГиЛ СО РАН
к.ф.-м.н.

И.В. Любашевская

Чупахин Александр Павлович
Доктор физико-математических наук
Специальность 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы
Заведующий лабораторией дифференциальных уравнений
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
Сибирского отделения Российской академии наук

Адрес: 630090, Российская Федерация, Новосибирск, пр. Лаврентьева, 15,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
Сибирского отделения Российской академии наук (ИГиЛ СО РАН)
Телефон: +7 (383) 333-16-12
Факс: +7 (383) 333-16-12
E-mail: igil@hydro.nsc.ru
Сайт: <http://www.hydro.nsc.ru/>