

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации

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

Диссертация Куликова И.М. посвящена созданию нового математического аппарата для описания различных астрономических объектов с помощью вычислительных экспериментов на суперЭВМ. В основе математического аппарата лежит использование гидродинамической модели и формулировка уравнений состояния для описания тех или иных компонент астрономических объектов для различных масштабов. Использование такого аппарата позволяет записать основные законы сохранения в форме гиперболической системы уравнений и использовать единый вычислительный подход для их разрешения.

Во введении приведен обзор современных численных методов для решения уравнений гравитационной гидродинамики и программных кодов, основанных на этих методах. Первая глава посвящена описанию вычислительной модели упруго-пластических деформаций с учетом фазовых переходов материала «твердое тело – жидкость – газ», реализуемых с помощью записи уравнения состояния общего вида и релаксации скоростей продольных и поперечных скоростей звука. Сформулированы условия на уравнение состояния, обеспечивающие корректность модели для каждого состояния среды. В математическую модель также включена возможность учета «откола» материала, возникающего при достижении критических напряжений, что особенно важно при описании кумулятивной струи при косом соударении пластин. С помощью упруго-пластической модели, учитывающей фазовые переходы, смоделирована ранняя стадия взаимодействия метеорита с поверхностью планет в до- и сверхзвуковом режимах столкновения. Вторая глава посвящена математическим моделям процессов самогравитирующей гидродинамики для описания астрономических объектов от масштаба протопланетных систем до крупномасштабных космологических структур. Стоит отметить модель звездной компоненты галактик и их скоплений, основанную на уравнениях для первых моментов бесстолкновительного уравнения Больцмана. Такая формулировка позволяет термодинамически согласованно описать процесс звездообразования и роль сверхновых звезд (фактически описать фазовый переход между газовой компонентой галактик и звездами). Третья глава посвящена численным методам решения уравнений гравитационной гидродинамики. В работе предложен новый численный метод, основанный на комбинации метода разделения операторов, метода Годунова и кусочно-параболического метода на локальном шаблоне. Полученный численный метод является методом высокого порядка точности на гладких решениях, что показано на тесте Аксенова, и с малой диссипацией решения на разрывах, что показано на тесте Сода. Стоит отметить, что в созданном методе для корректного воспроизведения разрывов не используются члены с искусственной вязкостью или ограничители потоков. Кроме этого, использование переопределенных систем уравнений позволяют гарантировать неубывание энтропии. Куликовым И.М. сделана полная верификация численных методов на классических тестах и на модельных постановках задач, максимально приближенных к моделируемым астрономическим объектам. Численные методы были эффективно реализованы на всех распространенных современных архитектурах суперЭВМ (классические и гибридные на основе графических ускорителей и ускорителей Intel Xeon Phi). Четвертая глава посвящена моделированию динамики астрономических объектов. С помощью

вычислительных экспериментов подтвержден ряд гипотез, связанных с эволюцией галактик и межзвездной среды. Так подтверждена гипотеза об образовании различных сценариев столкновения галактик, областей активного звездообразования в них, объяснены механизмы развития многорукавных галактик и МГД турбулентности в межзвездной среде. В заключении приведены основные выводы, рекомендации и перспективы разработки темы. Как следует из автореферата, результаты диссертации опубликованы в достаточном количестве статей в журналах из списка рекомендованных ВАК. Стоит также отметить ряд публикаций автора в журналах с высоким импакт-фактором.

Автореферат содержит незначительные недостатки, связанные с опечатками и ограничением на его объем:

1. Из автореферата не очень понятен выбор константы, которая используется для определения границы газ-вакуум (стр. 19) и как ее величина влияет на решение. По всей видимости, такая константа получена в ходе исследования вычислительных экспериментов и по порядку совпадает со значениями, используемых в программных реализациях других авторов.
2. На стр. 3 следовало бы уточнить, что имеется ввиду под событиями 2013 года.
3. В разделе «Личный вклад автора» вместо сочетания «... результатов бал равным ...» следует использовать «... результатов был равным ...» (стр. 14).

Указанные замечания не носят принципиального характера и, судя по содержанию автореферата, диссертация Куликова И.М. удовлетворяет требованиям к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, а ее автор, Куликов Игорь Михайлович, безусловно, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук.

Роменский Евгений Игоревич

Главный научный сотрудник лаборатории

дифференциальных уравнений и смежных вопросов анализа

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Институт математики им. С.Л. Соболева

Сибирского отделения Российской академии наук

Доктор физико-математических наук

05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

630090, Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 4

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт математики им. С.Л. Соболева

Сибирского отделения Российской академии наук

Тел.: +7 (383) 329-76-57

e-mail: evrom@math.nsc.ru



Роменский Е.И.

Подпись Роменского Евгения Игоревича удостоверяю

Руководитель Организационного отдела Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт математики им. С. Л. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук

Киндалева Н. З.

«20» января 2017 г.