

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук Урвачева Егора Михайловича на тему: “Многомерное моделирование сверхновых с помощью M1-приближения для переноса излучения” по специальности “01.03.02 – Астрофизика и звездная астрономия”

Диссертация Егора Михайловича Урвачева посвящена:

1. разработке комплекса программ для многомерного моделирования переноса излучения в M1-приближении по углу и условиям действия серой непрозрачности по частоте,
2. интеграции разработанного комплекса программ с радиационно-гидродинамическим кодом FRONT,
3. проверке работоспособности, точности и адекватности разработанного комплекса программ поставленным задачам (моделированию кривых блеска сверхмощных сверхновых в условиях анизотропии, сильных радиационно-доминированных ударных волн, развивающихся неустойчивостях, неоднородности/клочковатости вещества с высокой степенью контрастности),
4. применению разработанного кода к конкретным астрофизическим задачам (взрывам пекулярных сверхновых).

Проблема многомерного моделирования взрывов мощных сверхновых — крайне важна для интерпретации их наблюдений, для обоснования применения сверхновых в космологических задачах, для объяснения моделирования рентгеновских транзиентов, связанных с взрывными выбросами массы в астрофизике.

Диссертация четко структурирована и изложена ясным языком. Автор постарался максимально полно отразить все стороны и особенности каждой из решаемых проблем. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, обширного списка литературы и трех приложений. Во *Введении* определены цели работы и обоснована ее актуальность. Перечислены решенные автором задачи и положения, выносимые на защиту. В *первой главе* обсуждено решение уравнений переноса излучения в M1-приближении в лагранжевой системе координат, особенности созданного комплекса программ, описаны проведенные проверки его работоспособности. Обсуждено его использование в радиационно-гидродинамическом коде FRONT. Во *второй главе* приведены доводы в пользу использования кода в сопутствующей системе координат и представлены результаты такого радиационно-гидродинамического моделирования мощной сверхновой SN 2009ip. В *третьей главе* — представлены результаты моделирования таким кодом сверхновых типа IIp в одномерном (сферически-симметричном) случае — в качестве первого шага на пути к многомерному моделированию. В *четвертой главе* предложен и исследован сценарий вспышки необычного транзиента AT 2018cow, связанный с взрывом в системе с плотным экваториальным ветровым диском. Наконец, в *пятой главе*

рассмотрено использование метода машинного обучения для определения параметров моделей сверхновых (прежде всего массы радиоактивных изотопов, синтезированных при взрыве) по их кривым блеска. В *Приложениях* рассмотрено развитие описанного выше модуля переноса излучения кода FRONT (переход к многогрупповой задаче, т.е. к переносу излучения в разных поддиапазонах, и к более строгому расчету непрозрачности), а также обсуждены вопросы масштабирования кода (распараллеливания вычислений). В *Заключении* суммируются результаты работы.

Диссертация основана на 4 научных работах, опубликованных в ведущих реферируемых журналах (*Astrophysical Journal*, *Письма в Астрономический журнал*, *Математическое моделирование*), во всех работах Е.М. Урвачев является первым автором. Результаты диссертации обсуждены на многих конференциях и семинарах. В частности, Е.М. Урвачев выступал в отделе Астрофизики высоких энергий ИКИ РАН, где произвел хорошее впечатление четкостью доклада и ответов на самые разные вопросы по теме диссертации. Автореферат диссертации полностью соответствует тексту диссертации.

В целом диссертация Е.М. Урвачева производит очень хорошее впечатление. Это четкая тщательно выверенная работа. Трудно найти в ней серьезные недостатки. Отмечу лишь некоторые неясности и стилистические замечания:

1. Мне кажется, что в положениях, выносимых на защиту, нужно прямо внести пункт про создание комплекса программ (модуля) для многомерного моделирования переноса излучения в M1-приближении и приближении серой непрозрачности вещества, а также его интеграции с радиационно-гидродинамическим кодом FRONT.
2. При тестировании кода были выявлены численные неустойчивости (нитевидные структуры, п. 1.1.1) и эффекты (области уярчания, п. 1.1.2), которые потенциально могут приводить к неправильным результатам в сложных многомерных расчетах. Фактически автор с такими возмущениями сталкивается при моделировании плотного слоя в сверхмощных сверхновых (п. 1.2), причем, из объяснений автора не ясно, считает ли он такие возмущения численными или физическими. Хотелось бы иметь ясный критерий, по которому можно было бы судить о природе обнаруженных в расчетах неустойчивостей.
3. На стр. 53 и 67 автор ссылается на приложение А в отношении совершенно разных процессов. По-видимому, во втором случае речь идет о приложении В. Вообще, эти достаточно важные приложения должны быть описаны в тексте более подробно.
4. В последней главе автор использует для представления кривых блеска сверхновых общедоступный код Тиммеса. Мне кажется, что было бы уместно хотя бы в некоторых случаях сравнить кривые блеска Тиммеса с расчетами собственным кодом автора. И вообще более подробно описать особенности этого кода с точки зрения гидродинамики разлета оболочек. Было бы полезно обсудить сторонние эффекты, которые могут влиять на радиоактивную кривую блеска сверхновых, например, задержку в рекомбинации водорода.

5. Нельзя не отметить широкое использование Е.М. Урвачевым американизмов в обозначении научных терминов. Почему, например, нельзя вместо “валидации” и “верификации” использовать обычные “проверка”, “испытание”, “калибровка”, даже “тестирование”?
6. Термины “парная неустойчивость” и “парно-нестабильные сверхновые” мне кажутся не слишком удачными. Не воспринимаются, как связанные с образованием электрон-позитронных пар. Лучше здесь не пытаться сократить фразу в ущерб смыслу.
7. Не очень удачен термин “первоначальник класса подобных объектов”. Лучше — “родоначальник”.

Высказанные замечания, конечно, ни в коей мере не затрагивают справедливости основных выводов диссертации и не умаляют значимости проведенного исследования. Данная диссертация отвечает всем требованиям, установленным для работ такого рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности “01.03.02 — Астрофизика и звездная астрономия” (по физико-математическим наукам) и “Положению о присуждении ученых степеней”, утвержденному Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г.

Считаю, что соискатель Е.М. Урвачев заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности “01.03.02 — Астрофизика и звездная астрономия”.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук*,
заведующий лабораторией Рентгеновской и гамма-астрономии отдела Астрофизики высоких энергий ФГБУН Институт космических исследований Российской академии наук (117997, г. Москва, Профсоюзная ул., д. 84/32, ИКИ РАН),

тел.: 8(916)3375966,
e-mail: grebenev@iki.rssi.ru

14 июня 2022 г.

С.А.Гребенев

Подпись доктора физико-математических наук Сергея Андреевича Гребенева заверяю

Заместитель директора ИКИ РАН,
доктор физико-математических наук

14 июня 2022 г.



А.А. Лутовинов

(* диссертация защищена по специальности 01.03.02 “Астрофизика и радиоастрономия”)