

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**  
**ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.280.01 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО**  
**ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ**  
**ИНСТИТУТА АСТРОНОМИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК,**  
**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ,**  
**ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ**  
**УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело N \_\_\_\_\_

Решение диссертационного совета от 29 июня 2022 г. № 67 о присуждении  
Урвачеву Егору Михайловичу, Российская Федерация,  
учёной степени кандидата физико-математических наук

**Диссертация** «Многомерное моделирование сверхновых с помощью M1-приближения для переноса излучения» по специальности 01.03.02 Астрофизика и звездная астрономия принята к защите 21 апреля 2022г., протокол № 64, диссертационным советом Д 002.280.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института астрономии Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования, 119017 Москва, ул. Пятницкая, д.48, состав совета утверждён приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 128/нк от 22 февраля 2017 г., частичные изменения состава внесены приказами Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 301/нк от 23.11.2018, № 129/нк от 17.02.2021, № 331/нк от 12.04.2021.

**Соискатель** Урвачев Егор Михайлович, 1995 года рождения, в 2018 году окончил ФГАОУ ВО «Московский физико-технический институт (государственный университет)» (МФТИ), г. Москва, ему присвоена квалификация «магистр»; 01.10.2018 поступил и в настоящее время продолжает обучение в аспирантуре ФГБУ «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия, по направленности 01.03.02

Астрофизика и звездная астрономия, срок—окончания—аспирантуры – 30.09.2022г. Урвачев Е.М. работает младшим научным сотрудником в Центре фундаментальных и прикладных исследований ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова» (ФГУП «ВНИИА»).

**Диссертация выполнена** в Центре фундаментальных и прикладных исследований ФГУП «ВНИИА», Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом».

**Научный руководитель** – доктор физико-математических наук Блинников Сергей Иванович, главный научный сотрудник Центра фундаментальных и прикладных исследований ФГУП «ВНИИА».

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается** темой исследования и компетентностью в вопросах, рассматриваемых в диссертации. Компетентность подтверждается публикациями по схожей тематике оппонентов и сотрудников ведущей организации.

**Официальные оппоненты:**

д.ф.-м.н. **Гребенев Сергей Андреевич**, заведующий лабораторией Рентгеновской и гамма-астрономии ФГБУН Института космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН);

д.ф.-м.н., ст.н.с. **Колдоба Александр Васильевич**, заведующий кафедрой моделирования и технологий разработки нефтяных месторождений ФГАОУ ВО МФТИ

**дали положительные отзывы на диссертацию.**

**Ведущая организация** – Государственный астрономический институт имени П.К. Штернберга Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (ГАИШ МГУ), г. Москва, – **в своём положительном отзыве**, составленном старшим научным сотрудником отдела звездной астрофизики ГАИШ МГУ д.ф.-м.н. **Богомазовым Александром Ивановичем** и утверждённом проректором МГУ имени М.В. Ломоносова д.ф.-м.н., профессором **Федяниным Андреем Анатольевичем**, указала, что кандидатская диссертация является научно-квалификационной работой, она

соответствует всем требованиям ВАК РФ, а её автор, — несомненно, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 Астрофизика и звездная астрономия.

Соискатель имеет 6 печатных научных работ, в том числе **по теме диссертации опубликовано 4 работы** в рецензируемых научных изданиях, **рекомендованных ВАК** и входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования (WoS и Scopus). Основные результаты диссертации, выносимые на защиту, в этих работах изложены полностью. Случаев заимствования материала без ссылки на автора не выявлено. **Наиболее значимые работы по теме диссертации:**

1. Urvachev, Egor; Shidlovski, Dmitry; Tominaga, Nozomu; Glazyrin, Semyon; Blinnikov, Sergei. The Simulation of Superluminous Supernovae Using the M1 Approach for Radiation Transfer // **The Astrophysical Journal Supplement Series**. – 2021. – Vol. 256, no. 1. – id.8, 19 pp.

2. Е.М. Урвачев, С.И. Блинников, К. Номото. Транзиент AT2018cow: сценарий с экваториальным диском // **Письма в Астрономический журнал**. – 2021. – Т. 47, No 11. – С. 765 – 772.

3. Е.М. Урвачев, С.И. Глазырин. Моделирование болометрических кривых блеска сверхновой SN2009ip // **Математическое моделирование**. – 2022. – Т. 34, No 1. – С. 16–32.

4. Урвачев Е.М., Блинников С.И., Глазырин С.И., Бакланов П.В. Об особенностях моделирования сверхновых типа II в приближении серой непрозрачности и свойства их кривых блеска // **Письма в Астрономический журнал**. – 2022. – Т. 48, No 1. – С. 24–33.

На диссертацию и автореферат дополнительных отзывов не поступило.

Диссертационная работа посвящена многомерному моделированию переноса излучения в рамках M1-приближения для сверхновых звезд. Приведено сравнение моделей с данными наблюдений.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

– Показано, что использование модели серой непрозрачности при учете переноса излучения в M1-приближении позволяет воспроизвести

образование и динамику движения плотного тонкого слоя, а также поведение болометрической кривой светимости при ударно-волновом сценарии для сверхновых.

– Сделан вывод о согласии характера изменения болометрической светимости на этапе роста кривой блеска на уровне 10% в одномерной и двумерной моделях ударно-волнового сценария для сверхновых, обладающих изначальной сферической симметрией, при использовании M1-приближения переноса излучения в рамках серой модели непрозрачности.

– Продемонстрировано, что моделирование сверхновых второго типа с помощью явных численных алгоритмов годуновского типа в эйлеровых кодах требует использования схем с малой численной диффузией. Это может быть обеспечено такой модификацией римановского решателя, когда в пределе большой оптической толщины поток между гранями ячеек стремится к потоку, определяемому из диффузионного приближения.

– Показано, что область высокой температуры в объекте AT2018cow может быть получена при наличии в системе плотного экваториального диска (в рамках модели серой непрозрачности). Такая область видна в близком к рентгеновскому диапазоне под углами, близкими к углу раскрытия диска, и позволяет указать на механизм формирования наблюдаемого излучения.

#### **Теоретическая значимость исследования:**

– Показано, что болометрическая светимость на этапе роста кривой блеска согласуется в одномерной и двумерной моделях ударно-волнового механизма для сверхновых.

– Продемонстрировано, что на этапе роста кривой блеска неустойчивости плотного тонкого слоя не приводят к его значительной деформации, и он остается близким к сферически-симметричному.

Оба сделанных вывода имеют важное значение для прямого метода определения космологических расстояний DSM, который не зависит от калибровок по наблюдениям близких объектов и может применяться на больших красных смещениях.

**Практическое значение** полученных соискателем результатов исследования заключается в следующем:

– Показано, что при радиационно-гидродинамическом моделировании сверхновых при рассмотрении системы моментных уравнений в сопутствующей системе отсчета достаточно использовать линейную точность по  $v/c$ , а не квадратичную, как в случае лабораторной системы отсчета.

– Сделан вывод о том, что динамика движения вещества сверхновой, а также болометрическая кривая блеска корректно описываются в модели серой непрозрачности.

– Продемонстрированы проблемы, возникающие при моделировании сверхновых типа II с использованием явных численных схем Годуновского типа и предложены возможные пути их решения.

Отработанная методика моделирования может также применяться для исследования разнообразных астрофизических объектов, обладающих существенно многомерной структурой. Кроме этого, развиваемый радиационно-гидродинамический код может использоваться и для моделирования земных экспериментов, в частности, для решения задач лазерного термоядерного синтеза.

**Достоверность результатов** подтверждается расчетами тестовых задач с известными аналитическими и полуаналитическими решениями, а также сравнением с результатами, полученными с помощью многомерного кода HERACLES. Кроме этого, проводилось сравнение результатов одномерных моделей для различных астрофизических объектов с решениями, полученными с помощью многократно апробированного для расчета кривых блеска сверхновых одномерного кода STELLA, в котором реализована более точная модель переноса излучения, а также с наблюдательными данными.

#### **Личный вклад соискателя:**

Автором реализованы методы для моделирования переноса излучения в рамках M1-приближения в численном многомерном коде FRONT, развиваемом в коллаборации. Автор предпринял ключевые шаги в реализации многомерной модели ударно-волнового сценария для сверхновых и сценария асимметричного взрыва для AT2018cow. Также автором проведена отработка применения развитой методики к сверхновым типа II. В основных

результатах, выносимых на защиту, вклад диссертанта является определяющим.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

– Слабым местом валидации работы программного кода с астрофизической точки зрения является преимущественная опора на теоретические расчеты, при этом лишь небольшое количество графиков в диссертации включают в себя наблюдательные точки сверхновых SN2009ip и AT2018cow.

– В работе используется HLL-солвер для приближенного решения задачи Римана. Этот солвер модифицирован введением некоего коэффициента, призванного уменьшить численную диффузию и дать возможность корректного описания распространения излучения в диффузионном режиме. Было бы полезно пояснить правило, по которому выбирался этот коэффициент.

– При тестировании кода были выявлены численные неустойчивости (нитевидные структуры) и эффекты (области уярчения), которые потенциально могут приводить к неправильным результатам в сложных многомерных расчетах. Фактически с такими возмущениями автор сталкивается при моделировании плотного слоя в сверхмощных сверхновых, 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.

Соискатель Урвачев Е.М. согласился с большей частью замечаний, а на наиболее критические ответил:

– Для проведения корректного сравнения с наблюдательными данными в большинстве случаев (особенно при сравнении в конкретных фильтрах) необходимо использование реалистичной модели непрозрачности. Развиваемая в настоящее время многогрупповая версия кода позволит проводить такие расчеты.

– Было продемонстрировано, что при использовании поправочного коэффициента в той форме, в которой он представлен в диссертации, поток излучения через границы ячеек в случае большой оптической толщины становится пропорциональным градиенту плотности энергии, что согласуется с диффузионным приближением.

– На физическую природу неустойчивости указывает тот факт, что возмущения развиваются при двумерных расчетах в различных геометриях (цилиндрическая, сферическая). Кроме этого, было показано, что на внутренней границе слоя ускорение и градиент плотности противонаправлены, что также указывает на физическую неустойчивость типа Рэлея-Тейлора.

**На заседании 29 июня 2022 г. диссертационный совет постановил: за решение научной задачи, имеющей значение для развития естественных наук, присудить Урвачеву Е.М. учёную степень кандидата физико-математических наук.**

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 12 докторов наук по специальности 01.03.02 Астрофизика и звёздная астрономия, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 18, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель диссертационного совета Д 002.280.01, д.ф.-м.н.

Бисикало  
Дмитрий Валерьевич

Ученый секретарь диссертационного совета Д 002.280.01, к.ф.-м.н.

Чупина  
Наталья Викторовна



29.06.2022