

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

**Физический
институт**



*имени
П.Н.Лебедева*

Российской академии наук

Ф И А Н

119991, Москва, В-333
Ленинский проспект, 53, ФИАН
Телефоны: (499) 135 1429
(499) 135 4264
Телефакс: (499) 135 7880
<http://www.lebedev.ru>
postmaster@lebedev.ru



УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора ФИАН
профессор д.ф.-м.н.

А.А. Гиниус

« 5 » _____ 2014 г.

Отзыв ведущей организации

**Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук
на диссертацию ГЛАЗЫРИНА Семена Игоревича
“Свойства фронтов горения в сверхновых типа Ia”,
представленную на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности
01.04.02 – теоретическая физика**

Общая характеристика работы. Структура и содержание

Представленная соискателем, Глазыриным С.И., диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении “Государственный Научный Центр Российской Федерации Институт Теоретической и Экспериментальной Физики” Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт”. Поступивший в Отделение теоретической физики им. И.Е. Тамма Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук экземпляр рукописи содержит 107 страниц машинописного текста, 21 рисунок и 6 таблиц. Список цитированной автором литературы содержит 171 источник. Работа состоит из введения, пяти глав основного текста, заключения и списка цитируемой литературы. Работа написана грамотным русским языком, по своему внешнему оформлению она отвечает требованиям ВАК.

Актуальность темы. Диссертация Глазырина С.И. посвящена теоретическому и численному исследованию процессов горения и детонации в сверхновых Ia, развитию моделей для описания этих процессов и изучению их свойств. Сверхновые типа Ia являются одними из наиболее интересных астрофизических систем. Они представляют собой пример удаленных от нас объектов, в которых происходят явления, встречающиеся на Земле, – физика горения белого карлика во многом похожа на горение пламен в лабораторных условиях. Так переход дефлаграции в детонацию - это актуальная фундаментальная проблема, как в го-

рении в земных условиях, так и в космических масштабах. Описание подобных явлений чрезвычайно сложная задача, поскольку она включает в себя множество пространственно-временных масштабов, связанных с различными физическими и химическими процессами, происходящими в пламени, такими как тепловыделение в процессе реакции, кинетика реакций, гидродинамические и гравитационные эффекты, теплопередача от горячих продуктов реакции к свежей смеси и т.д. В связи с этим в ближайшей перспективе принципиально невозможно просчитать полную модель горения в сверхновых и для его объяснения необходимо развитие некоторых минимальных теоретических моделей, включающих наиболее важные факторы объясняющие наблюдаемые явления. Работа Глазырина С.И. лежит в этом русле и посвящена актуальной проблеме теоретической физики. Важность подобных исследований в прикладном смысле связана, в первую очередь, с возможностью применения их в современных космологических наблюдениях. Для надежного обоснования возможности такого применения необходимо понимание физики происходящих процессов.

Во **введении** дан обзор состояния исследований в области изучения горения и взрыва сверхновых Ia, дан краткий обзор диссертационной работы, сформулированы цели работы, обоснована актуальность, значимость и научная новизна проводимых исследований, сформулированы основные положения, выносимые на защиту. Приведенные во **Введении** доводы и соображения диссертанта представляются вполне обоснованными, а тема работы и поставленные в ней цели и задачи исследования **актуальными**.

В **главе 1** рассматриваются основные режимы стационарного распространения пламени в звезде: дефлаграция и детонация. Описываются и обсуждаются параметры, модели и подходы для описания этих режимов. Рассматривается модель горения белого карлика в упрощающих предположениях, позволяющих свести задачу к системе обыкновенных дифференциальных уравнений. В рамках этой модели удастся описать динамику горения на стадии дефлаграции и вычислить предельное выгорание звезды в отсутствие неустойчивостей. В конце главы обсуждаются возможные механизмы перехода медленного горения в детонацию.

В **главе 2** представлена гидродинамическая модель, которая описывает процесс горения в сверхновой Ia, обсуждаются основные физические процессы, учитываемые в модели, выводится коэффициент теплопроводности электронной составляющей среды, приводятся сетки ядерных реакций и уравнение состояния. В главе описывается численный метод, использованный для решения системы модельных уравнений в частных производных. Представлены результаты проведенных с помощью этого кода расчетов для плоского фронта горения при различных условиях среды (начальной плотности). Данные результаты сравниваются с результатами, известными из литературы, и показано, что они хорошо согласуются.

Глава 3 посвящена исследованию диффузионно-тепловой устойчивости плоских фронтов горения. Сначала приводится качественное описание механизмов ее возникновения на основе известных результатов по теории процессов горения с химическими реакциями. Обсуждается применимость данных результатов для фронтов горения в сверхновых. Далее вводится ряд одноступенчатых диффузионно-тепловых моделей, описывающих распространение фронтов горения в сверхновых, с различными законами зависимости скорости реакции от температуры. В рам-

ках данных моделей численно и аналитически исследуется устойчивость плоского фронта горения. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что возникновение пульсирующих неустойчивостей невозможно в условиях сверхновой Ia.

В главе 4 проводится исследование неустойчивости Ландау–Даррье волны дефлаграции в условиях течения в канале. При этом считается, что толщина пламени существенно меньше характерных размеров системы, уравнения гидродинамики рассматриваются отдельно от уравнений для динамики фронта горения, для описания которой используется метод уровней или G-уравнение. Представлен численный метод, который позволяет находить решение модельных уравнений для распространения волны дефлаграции, с его помощью исследуются свойства пламени в канале. Показано, что развитие неустойчивости Ландау–Даррье приводит к гофрированной структуре фронта горения, увеличению площади пламени и скорости распространения волны горения. Увеличение скорости не достаточно для перехода дефлаграции в детонацию, но автор также указывает на то, что динамика расширяющегося фронта пламени в условиях сверхновой может быть отлична от результатов, полученных для пламени в канале.

В главе 5 исследуется турбулентный режим распространения волны горения в сверхновой. При этом решается самосогласованная задача, в которой рассматриваемая двух параметрическая модель турбулентности и эволюция фронта пламени взаимодействуют друг с другом. В начале главы обсуждается неустойчивость Рэлея–Тейлора–Ландау, которая является основным источником турбулентности в сверхновых Ia, а также различные режимы турбулентного горения. В дальнейшем на основе модели k - ϵ выводится модель турбулентного горения, описывающая один из режимов. С помощью этой модели рассчитывается распространение пламени по белому карлику в сферически-симметричном приближении. Было продемонстрировано увеличение скорости пламени до величин порядка 3-7% от скорости звука, что недостаточно для объяснения перехода дефлаграции в детонацию.

В заключении сформулированы основные результаты проведенного исследования.

Автореферат правильно и полно отражает основное содержание диссертации. В целом диссертация заслуживает высокой оценки. Однако она не свободна от недостатков, которые не влияют на общую положительную оценку. К их числу относятся следующие:

1. При исследовании диффузионно-тепловой неустойчивости фронта дефлаграции критические числа Зельдовича находились в предположении зависимости скорости реакции от температуры по закону Аррениуса $e^{-T_a/T}$, а ядерные реакции имеют скорее зависимость $e^{-(T_a/T)^{1/3}}$. В работе не отражено, как это может сказаться на результатах анализа устойчивости.

2. Автор не всегда придерживается общепринятой в литературе терминологии. Использование в тексте диссертации, например, определений “Термопульсационная неустойчивость”, “решатель” дифференциальных уравнений не представляется оправданным.

3. В диссертации отсутствует единый список обозначений переменных и встречаются опечатки.

Заключение

Диссертация Семена Игоревича Глазырина “Свойства фронтов горения в сверх-

новых типа Ia” является завершенным научно–исследовательским трудом, на актуальную тему. Полученные в диссертации новые научные результаты имеют большое научное и практическое значение. Выводы достаточно обоснованы. Работа отвечает требованиям пункта 7 “Положения о порядке присуждения ученых степеней”, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации 20 июля 2011 г., № 475, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор С.И. Глазырин заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико–математических наук по специальности 01.04.02 – “Теоретическая физика”.

Диссертация и отзыв обсуждены на Астрофизическом семинаре ФИАН 2 апреля 2014.

Старший научный сотрудник,
Отделения теоретической физики им. И.Е.Тамма
Физического института им. П.Н.Лебедева
к.ф.-м.н.

Губернов В.В.

Ученый секретарь
Отделения теоретической физики им. И.Е.Тамма
Физического института им. П.Н.Лебедева
д.ф.-м.н.

Полежаев А.А.