

УТВЕРЖДАЮ

Директор
НИЦ «Курчатовский институт» – ИТЭФ
доктор физ.-мат. наук В.Ю. Егорычев
«19» _____ 2020 г.



Заключение

Федерального государственного бюджетного учреждения «Институт теоретической и экспериментальной физики имени А.И. Алиханова» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» – ИТЭФ) на диссертационную работу Поташова Марата Шамилевича «Эффекты неравновесности и нестационарности в оболочках сверхновых», представленную к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – Астрофизика и звёздная астрономия.

Поташов Марат Шамилевич в 2005 г. окончил федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)» (МФТИ) и получил степень магистра по специальности «Прикладные математика и физика». С 2005 по 2008 гг. обучался в аспирантуре НИЦ «Курчатовский институт» – ИТЭФ. В настоящее время работает в НИЦ «Курчатовский институт» – ИТЭФ в должности инженера. Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в аспирантуре НИЦ «Курчатовский институт» – ИТЭФ в 2020 г.

Представленная к защите диссертационная работа М.Ш. Поташова «Эффекты неравновесности и нестационарности в оболочках сверхновых» выполнена соискателем в НИЦ «Курчатовский институт» – ИТЭФ в 2010–2020 гг.

Научный руководитель диссертационной работы – Блинников Сергей Иванович, доктор физ.-мат. наук, главный научный сотрудник лаборатории физики плазмы и астрофизики НИЦ «Курчатовский институт» – ИТЭФ.

По итогам обсуждения представленной диссертационной работы на заседании секции №1 Учёного совета НИЦ «Курчатовский институт» – ИТЭФ 06 февраля 2020 г. принято следующее **заключение**.

Актуальность исследований

При моделировании физических процессов, происходящих в сверхновой приходится прибегать к неизбежным упрощениям в расчётах населённостей уровней в атомах многозарядной плазмы вещества. Одно из таких упрощений – стационарное приближение кинетической системы населённостей уровней, в рамках которого считается, что система находится в статистическом равновесии. Эффектом нестационарности называют отклонение истинных населённостей уровней от их стационарных значений. Данная диссертационная работа посвящена исследованию эффекта нестационарной ионизации.

Утробин и Чугай (2002, 2005, 2007) нашли сильный эффект нестационарности в кинетике ионизации и линиях водорода в сверхновых типа II в течение фотосферной фазы. Важным следствием этих работ являлся вывод, что учёт нестационарной ионизации позволял получать спектры излучения пекулярной SN 1987A и нормальной SN 1999em с более сильными линиями H α , что ранее не удавалось сделать без перемешивания радиоактивного ^{56}Ni до внешних высокоскоростных слоёв при стационарном приближении. Выводы Утробина и Чугая были подтверждены Дессартом и Хи́лиером с помощью программного пакета CMFGEN. В работе Поташов и др. (2017) была подтверждена важность эффекта на примере SN 1999em с помощью оригинального кода LEVELS.

С другой стороны, Де и др. (2010) нашли на основе расчётов с помощью программного пакета PHOENIX, что нестационарная кинетика важна только в первые дни после взрыва сверхновой. Фойгль и др. (2019), используя открытый код TARDIS, не отрицая важность временно-зависимого эффекта в кинетике, тем не менее пренебрегают им при моделировании спектров SN 1999em и получают хорошее согласие. Подавляющее большинство кодов симуляций Монте-Карло (Люси, Мацали, SEDONA, ARTIS) также не учитывают эффект нестационарности в кинетике.

Таким образом, выводы различных исследовательских групп расходятся, и важность эффекта до сих пор ставится под сомнение. Поэтому актуальность диссертации, убедительно доказывающей, что эффект нестационарности важен, не вызывает никаких сомнений.

В диссертации также развивается новый метод определения расстояний до сверхновых SNe IIp “метод плотного слоя” (Dense Shell Method, DSM). Разрабатываемый метод DSM позволяет измерять расстояния до далёких объектов, при наличии хорошего спектра, напрямую, не опираясь на лестницу космологических расстояний, с присущими ей неопределённостями калибровки. Важность прямых методов измерения космологических расстояний особенно актуальна в свете проблемы неопределённости в измерении параметра Хаббла (Hubble tension).

Научная новизна работы

Впервые подробно аналитически проанализирована кинетическая модельная система, которая разрешает давно обсуждаемый вопрос о важности учёта эффекта нестационарности. Рассмотрены многочисленные факторы, влияющие на выраженность эффекта. Разработан метод расчёта кинетики многозарядной плазмы в оболочке сверхновой. Алгоритм (код LEVELS) решает зависящую от времени систему интегродифференциальных уравнений кинетики населённостей уровней элементов совместно с уравнением переноса в линиях в модифицированном приближении Соболева и строит наблюдательные спектры.

В диссертации расширяется подход к новому методу DSM, позволяющему прямым способом измерять расстояния до SN IIp. При помощи обобщённой реализации метода DSM получены расстояния до сверхновых SN 2006gy и SN 2009ip. Эти значения хорошо согласуются с известными ранее расстояниями до родительских галактик, что подтверждает работоспособность метода.

Личный вклад автора

Автор предложил простую аналитическую модель водородной оболочки, реалистично описывающую основные свойства полной системы. Автор проделал все ключевые шаги анализа и развития простой модели. Она позволила ответить на вопрос о важности учёта эффекта нестационарной ионизации водорода в оболочках сверхновых.

Автор реализовал код LEVELS, полностью переработав первый вариант программы, рассчитывающей стационарные НЛТР населённости в многозарядной плазме оболочки сверхновой, предложенный Андроновой А.А. Автор существенно расширил применимость алгоритмов, добавив в них учёт нестационарности и модифицированное приближение Соболева. С помощью кода LEVELS автор обобщил анализ простой аналитической модели, численно доказав необходимость учёта эффекта нестационарной ионизации водорода в оболочках сверхновых.

На основе первой версии кода для вычисления расстояний методом DSM, реализованной Баклановым П.В., автор разработал новый оригинальный код, позволивший существенно улучшить качество и точность работы метода. Первоначальная версия, позволяла оценить расстояния, используя две точки наблюдений. Вариант, представленный в диссертации, использует множество наблюдательных данных, с учётом их ошибок. С помощью новой программной реализации были определены расстояния до сверхновых SN 2006gy и SN 2009ip (в этих статьях вклад авторов равный). Полученные значения прекрасно согласуются с известными ранее расстояниями до родительских галактик, что подтверждает работоспособность метода.

В основных результатах, выносимых на защиту, вклад диссертанта является определяющим.

Научная и практическая значимость

Построенная простая кинетическая модельная система и её аналитический анализ позволяют разобраться во всех факторах, влияющих на нестационарность ионизации в оболочках сверхновых в течение фотосферной фазы.

Разработанные и применённые в программе LEVELS алгоритмы учитывают нестационарную ионизацию и эффекты нелокального термодинамического равновесия (НЛТР) в кинетических схемах на основе рассчитанной кодом STELLA модели сверхновой, что позволяет корректно описать перенос излучения в линиях и кинетику в сверхновых.

Также показана эффективность разработанных автором алгоритмов и реализующих их программных кодов для определения расстояний до сверхновых прямым методом плотного слоя (DSM).

Достоверность результатов

Достоверность полученных результатов обеспечена их публикацией в ведущих рецензируемых отечественных и зарубежных журналах, таких как *Письма в астрономический журнал*, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. Результаты диссертации опубликованы в 6 научных работах в рецензируемых журналах. Разработанные аналитические и численные методы тестировались на простых модельных задачах с известными заранее ответами. Также в ходе работы, результаты сравнивались с решениями других авторов.

Свидетельством достоверности полученных результатов является их апробация на ведущих международных конференциях и семинарах в России и за рубежом. Результаты неоднократно докладывались соискателем на семинарах ИТЭФ (Москва), Курчатовский институт (Москва), ИЯФ (Новосибирск), ИКИ РАН (Москва, Таруса), ГАИШ (Москва), ИНАСАН (Москва), СПбГУ (Санкт-Петербург), ФТИ им. А. Ф. Иоффе (Санкт-Петербург), КФУ (Казань), СевГУ (Севастополь), Basel University (Базель, Швейцария), NAOJ (Митака, Япония), IPMU (Кашива, Япония), MPA (Гархинг, Германия).

Содержание работы полностью соответствует заявленной специальности 01.03.02 – Астрофизика и звёздная астрономия. Диссертация удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым Положением о присуждении учёных степеней к кандидатским диссертациям.

Секция №1 Учёного совета НИЦ «Курчатовский институт» – ИТЭФ приняла решение **рекомендовать** диссертационную работу М.Ш. Поташова «Эффекты неравновесности и нестационарности в оболочках сверхновых» к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – Астрофизика и звёздная астрономия в диссертационном совете Д002.280.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института астрономии Российской академии наук.

Присутствовало на заседании: 12 членов секции.

Результаты голосования: «ЗА» – 12, «ПРОТИВ» – 0, «ВОЗДЕРЖАЛИСЬ» – 0.

Протокол № 1 от 06 февраля 2020 г.

Председатель Секции №1 Учёного совета
НИЦ «Курчатовский институт» – ИТЭФ,
доктор физ.-мат. наук

В.В.Брагута

Секретарь Секции №1 Учёного совета
НИЦ «Курчатовский институт» – ИТЭФ,
кандидат физ.-мат. наук

А.Ю. Котов