

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Горностаева Михаила Игоревича
на тему: «Моделирование переноса излучения и гидродинамических
процессов в высокотемпературной астрофизической плазме»
по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия
(01.03.02 – Астрофизика и звездная астрономия)

Диссертация Горностаева Михаила Игоревича посвящена исследованию процессов генерации и распространения излучения в двух астрофизических задачах: свечение аккреционных потоков в окрестности нейтронных звёзд с сильным магнитным полем (рентгеновских пульсаров), рассеяние космического микроволнового излучения на горячей межзвёздной плазме (эффект Сюняева-Зельдовича).

Актуальность исследований свечения рентгеновских пульсаров связана с необходимостью объяснения существующих наблюдаемых данных. Такие объекты представляют большой интерес, так как являются экстремальными природными лабораториями, в которых присутствуют как эффекты горячей плазмы, излучения, экстремальных магнитных полей, на уровнях не достижимых в земных лабораториях. Исследования таких объектов позволяют продвигать наше понимание физики окружающего мира.

Космическое микроволновое излучение является источником информации о ранней Вселенной. Использование эффекта Сюняева-Зельдовича, с одной стороны, вносит вклад в построение лестницы космологических расстояний. На этой лестнице основано современное представление о строении Вселенной и её эволюции, с её использованием проводятся исследования свойств загадочных субстанций – тёмной материи и тёмной энергии. С другой стороны, данный эффект позволяет исследовать структуру далёких галактик.

Научная новизна исследования определяется использованием собственных моделей, а также численных кодов, разработанных автором для каждой модели. **Достоверность** полученных результатов обосновывается сопоставлением результатов аналитических оценок и численных расчётов, тестированием разработанных кодов, сравнением полученных результатов с данными других исследований, а также с данными наблюдений.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы.

Во введении к диссертации раскрывается актуальность работы, формулируются задачи, перечисляются положения, выносимые на защиту. Также представлен обзор литературы по теме диссертации.

В первой главе приводятся аналитические оценки, описывающие структуру аккреционного течения в окрестности нейтронной звезды. Представленные закономерности позволяют проводить быстрые простые оценки для новых объектов. В главе исследуются несколько режимов течения: столкновительное торможение плазмы, для которого аналитически получены профили основных параметров среды вдоль аккреционной колонки. Далее рассматривается бесстолкновительная ударная волна, что соответствует низким темпам аккреции вещества. Получено соотношение между высотой ударной волны над поверхностью и темпом аккреции. В следующем разделе первой главы рассматриваются высокие темпы аккреции, при которых возникает режим радиационного доминирования. Для этого режима в работе также получено соотношение между высотой ударной волны и темпом аккреции. Далее в первой главе рассматривается излучение на циклотронной частоте при учёте дипольного магнитного поля звезды. В рамках разработанной модели показана корреляция между параметрами излучения в линии (её энергии, ширины, относительного потока) и темпом аккреции вещества. Проведено сравнение этих корреляций с наблюдаемыми данными, получено хорошее согласие.

Во второй главе проведено численное моделирование течения в аккреционных колонках для случая доминирования излучения. Система гидростатического равновесия сведена к уравнению в частных производных на скорость течения, которое решается методом установления. Таким образом удаётся рассчитать структуры заполненной и незаполненной колонок. Показано влияние магнитного поля, которое приводит к асимметрии течения. Представленная модель позволяет вычислить полный поток излучения уходящего через боковую поверхность.

В третьей главе представлено развитие модели из второй главы, в котором решается одновременно уравнение как на скорость течения, так и на спектральную плотность энергии излучения, что позволяет рассчитывать спектры выходящего излучения. Результаты, полученные в численном расчёте, согласуются с простыми оценками из первой главы.

Четвертая глава посвящена другой теме — процессу комптонизации излучения, проходящего через горячую плазму. При этом особенность работы — исследование эффекта при различных вариантах пространственного распределения источников. Автором был разработан численный код, решающий уравнение переноса в рассеивающей среде с использованием метода Монте-Карло. Код протестирован на нескольких задачах с известными решениями. С его помощью исследован тепловой эффект Сюняева-Зельдовича для реликтового излучения, проходящего через облако газа. Результаты моделирования для усредненного по направлениям излучения согласуются с известными теоретическими расчётами. Продемонстрирована зависимость интенсивности излучения от угла выхода, что необходимо учитывать при детальной обработке данных наблюдений. Получено поведение хвостов функции распределения реликтового излучения после комптонизации.

В заключении ещё раз сформулированы основные результаты работы.

Автореферат соответствует тексту диссертации.

К диссертационной работе Горностаева М.И. следует сделать несколько замечаний:

1. На протяжении всей диссертации не хватает схематических рисунков, раскрывающих исследуемую постановку: геометрию задачи, течений, структуру магнитного поля и т. п. Это значительно бы упростило восприятие материала. Особенно это было бы полезно в главах 2 и 3.
2. В главах 2 и 3 находится стационарное решение для параметров внутри аккреционной колонки. Такие решения довольно часто имеют сильную зависимость от граничных условий, а также размеров счётной области. В работе не обсуждается влияние такой зависимости на полученные результаты и выводы (в частности на рис. 16д заметно, что максимум температуры достигается на границе расчётной области, потенциальное изменение размеров области могло бы уточнить решение в окрестности области повышенной температуры).
3. Исследование многомерной структуры аккреционной колонки проводится в приближении постоянного и однородного магнитного поля. В работе не обсуждается область применимости такого приближения.
4. При исследовании эффекта Сюняева-Зельдовича рассматривается несколько вариантов расположения источников излучения в облаке. При этом не обсуждается физический смысл этих вариантов, в том числе, какой из них моделирует реликтовое излучение Вселенной.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия (01.03.02 – Астрофизика и звездная астрономия) (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете

имени М.В.Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Горностаев Михаил Игоревич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия (01.03.02 – Астрофизика и звездная астрономия).

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук,
начальник отдела ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова»

Глазырин Семен Игоревич

—
13.05.2022

Контактные данные:

тел.: 7(903)1498003, e-mail: glazyrin@vniia.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

01.04.02 – Теоретическая физика

Адрес места работы:

127055, г. Москва, ул. Суцевская, д. 22,
ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова», Центр фундаментальных и прикладных
исследований

Тел.: 8 (499) 978-41-85; e-mail: glazyrin@vniia.ru

Подпись сотрудника ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» Глазырина С.И. удостоверяю:

Учёный секретарь НТС ФГУП
«ВНИИА им. Н.Л. Духова», к.т.н.

Л.В. Феокистова

13.05.2022