

«УТВЕРЖДАЮ»
Директор ФГБУН «КрАО РАН»
Ростопчина-Шаховская Алла Николаевна



04

2015 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
«Крымская астрофизическая обсерватория РАН»
о диссертации М. С. Бутузовой

Докторская диссертация «Джеты активных ядер галактик на различных пространственных масштабах: форма, ориентация, физические условия и переменность наблюдаемых параметров» выполнена в отделе радиоастрономии и геодинамики Крымской астрофизической Обсерватории РАН (КрАО РАН).

В период подготовки диссертации Бутузова Марина Сергеевна работала в КрАО РАН на должности старшего научного сотрудника.

В 2008 году Бутузова М.С. с отличием окончила Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина по специальности «Астрономия» с присуждением квалификации астронома, физика. С 2008 по 2011 обучалась в аспирантуре Радиоастрономического института Национальной академии наук Украины (г. Харьков). Диссертацию на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук на тему «Физические параметры килопарсековых джетов квазаров, определяемые по радио- и рентгеновскому излучению» защитила 14 июня 2012 года в специализированном ученом совете Харьковского национального университета им. В. Н. Каразина (шифр Д 64.051.02).

Диплом о присуждении ученой степени кандидата физико-математических наук ДК № 008564 выдан 26 сентября 2012 года.

По результатам рассмотрения диссертации «Джеты активных ядер галактик на различных пространственных масштабах: форма, ориентация, физические условия и переменность наблюдаемых параметров» принято следующее заключение:

Основные цели диссертационного исследования Бутузовой М.С. состояли в исследовании формы и движения джетов активных ядер галактик

от парсековых до килопарсековых масштабов и изучении влияния искривленной формы и нерадиального движения на различные наблюдаемые свойства. А именно на долговременную и внутрисуточную переменность потока, квазипериодичность изменения плотности потока излучения и корреляцию между различными спектральными диапазонами и РСДБ-данными, поперечные распределения свойств поляризации.

В диссертационной работе для достижения поставленных целей были успешно решены следующие задачи:

- Разработана геометрическая и кинематическая модель для описания винтовой формы джетов активных ядер галактик на парсековых масштабах.
- Данная модель была применена при интерпретации данных фотометрических и радиоинтерферометрических наблюдений отдельных блазаров.
- Проанализированы прецессия центральной машины и неустойчивость Кельвина-Гельмгольца как возможные причины формирования винтовой формы джетов на примере джета блазара OJ 287.
- Проведено моделирование поперечных распределений свойств поляризации джетов в рамках разработанной модели при использовании широкого диапазона вариаций модельных параметров. Сравнение с данными РСДБ-наблюдений показало хорошее качественное согласие.
- Исследована внутрисуточная и долговременная оптическая переменность потока излучения блазара S5 0716+714 и сделан вывод относительно возможности образования переменности на короткой временной шкале вследствие искривленного движения субкомпонентов джета.
- Проанализировано обратное комптоновское рассеяние излучения центрального источника как возможный механизм образования рентгеновского излучения килопарсековых джетов квазаров.
- Проведена оценка скорости и угла килопарсековых джетов с лучом зрения в рамках предложенного выше механизма образования их рентгеновского излучения.
- Сформулированы выводы относительно формы и кинематики джетов от парсековых до килопарсековых масштабов.

Личное участие соискателя ученой степени в получении результатов, изложенных в диссертации.

Личный вклад соискателя в получении результатов, представленных в диссертации, определяющий. Соискателем самостоятельно разработана модель винтового джета с нерадиальным движением компонентов, в рамках этой модели интерпретированы данные долговременных фотометрических и РСДБ-наблюдений блазара S5 0716+714, проведено моделирование свойств поляризации и получена оценка скоростей и направлений килопарсековых джетов. Так в 1/3 публикаций диссертант является единственным автором. В

большинстве коллективных работ Бутузова М.С. является первым автором. В остальных статьях вклад соискателя не меньший, чем других соавторов.

Степень достоверности результатов проведенных соискателем исследований.

Результаты достоверны, так как при их получении использовались стандартные математические методы при моделировании, широко распространенный метод кинетического уравнения Больцмана при получении аналитических выражений, а также данные наблюдений на инструментах VLBI, Chandra и оптических телескопах АЗТ-8 (КрАО РАН), АЗТ-5 (ГАИШ МГУ) с апробированной методикой обработки. Результаты докладывались на семинарах и конференциях, опубликованы в ведущих российских и зарубежных журналах и цитируются коллегами.

Новизна проведенных соискателем исследования.

Научная новизна исследований, представленных диссертантом определяется следующим:

- Разработана модель винтового джета с нерадиальным движением компонентов и применена для интерпретации различных наблюдаемых свойств и их корреляции между собой. В частности объяснено различие периодов переменности плотности потока излучения в различных спектральных диапазонах, различие в скорости движения наблюдаемых РСДБ-деталей джета, чередование интервалов сильной положительной, отрицательной корреляции и её отсутствия между интенсивностью излучения в различных спектральных диапазонах и позиционным углом внутренней части парсекового джета.
- Доказано, что джеты на парсековых масштабах имеют хорошо упорядоченное магнитное поле. При этом впервые показано, что по асимметрии поперечного джету распределения направления поляризации невозможно однозначно определить направление закрутки винтового магнитного поля в струе. Также получено, что ширина сердцевины джета, содержащей торoidalное магнитное поле больше, чем ширина области, в которой наблюдается продольное направление электрического вектора в волне.
- Интерпретация рентгеновского излучения джетов на килопарсековых масштабах обратным комптоновским рассеянием излучения, образованного в парсековом джете, наиболее просто объясняет наблюдаемые свойства и дает универсальный метод определения направления и скорости килопарсековых джетов.

Практическая значимость и ценность научных работ соискателя.

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы в широком круге задач, связанных с феноменом активных ядер галактик. Во-первых, предложенная модель винтового джета может быть применена при

интерпретации новых данных РСДБ-наблюдений инструментами Event Horizon Telescope (ЕНТ) и Global Millimeter VLBI Array (GMVA), указывающие на изогнутую форму джетов активных ядер галактик, и способствовать определению причины искривления струи. Модель, представленная в диссертации, может быть применена для исследования структуры потока джета и физических условий в нем. Так результат о присутствии синхротронного самопоглощения в оптическом диапазоне в джете блазара S5 0716+714 был отмечен Научным советом по астрономии РАН как важнейшее достижение в секции Внегалактической астрономии за 2022 год.

Во-вторых, присутствие хорошо упорядоченного магнитного поля в джетах на парсековых масштабах ограничивает теоретические модели распространения джетов, механизмы переменности наблюдаемых величин и предположения о природе наблюдаемых ярких РСДБ-деталей.

В-третьих, исследования джетов от парсековых до килопарсековых масштабов, совместно с исследованиями квазипериодичности величин, относящихся к субпарсековым и парсековым масштабам, востребованы для эволюционных моделей галактик. Для многоканальной астрономии и прогнозирования результатов проектов пульсарного тайминга и космического лазерного интерферометра LISA актуальными являются вывод об отсутствии в центре блазара OJ 287 тесной системы двойной черной дыры, который может быть распространен на многие блазары с квазипериодичностью в переменности потока излучения на длительной временной шкале.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем ученой степени.

Результаты, представленные в диссертации, полностью изложены в 18 научных работах, опубликованных в рецензируемых журналах, индексируемых базами данных “Web of Science”, “Scopus” и “RSCI”: 10 статей в журналах Q1, 2 статьи в журналах Q2 и 6 статей в Q3.

В 6 публикациях соискатель является единственным автором, в 4 статьях – первым автором. Основные результаты диссертации представлялись на астрофизических семинарах КрАО РАН и Астрокосмического центра Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, на всероссийских и международных конференциях.

Ценность научных работ соискателя ученой степени.

В своих научных работах соискатель:

- Предложил модель винтового джета с нерадиальным движением компонентов и применил эту модель для совместной интерпретации различных фотометрических и РСДБ-данных наблюдений некоторых активных ядер галактик. При этом был получен ряд важных результатов, среди которых вывод об отсутствии в центре блазара OJ 287 компактной

двойной системы черных дыр; чередование периодов с различной корреляцией между наблюдаемыми величинами, ассоциированными с областями, находящимися на разных расстояниях от истинного начала джета; увеличение продолжительности квазипериода переменности величин с удалением области, ответственной за эту наблюдаемую величину, от истинного начала джета; вывод о присутствии синхротронного самопоглощения в оптическом диапазоне в джете блазара S5 0716+714.

- Доказал присутствие хорошо упорядоченного магнитного поля в джетах активных ядер галактик на парсековых масштабах. Проиллюстрирована сильная зависимость характера поперечных джету распределений свойств поляризации от геометрических и кинематических параметров компонента джета. Доказана невозможность однозначного определения направления закрутки винтового магнитного поля из направлений электрического вектора в волне на разных сторонах джета.
- Доказал, что скорость и направление килопарсековых джетов не являются параметрами, определяющими возможность детектирования килопарсекового джета в рентгеновском диапазоне. Установлено, что вне зависимости от детектирования рентгеновского излучения на килопарсековых масштабах, в джетах активных ядер галактик происходит изгиб между парсековыми и килопарсековыми масштабами, величина которого примерно в полтора раза меньше угла парсекового джета с лучом зрения.
- Показал, что рентгеновское излучение килопарсековых джетов квазаров производится за счет обратного комптоновского рассеяния излучения парсекового джета. При этом в высокочастотном спектре присутствует излом из-за перемены энергий взаимодействующих частиц, дающих основной вклад в рассеянное излучение на фиксированной частоте. Предложен универсальный метод определения скорости продвижения и угла с лучом зрения килопарсековых джетов квазаров.

Текст диссертации соответствует установленным правилам научного цитирования, библиографические ссылки оформлены корректно.

Диссертационное исследование по своему содержанию соответствует заявленной специальности 1.3.1. – «Физика космоса, астрономия».

Основные идеи и положения диссертационной работы изложены в 18 научных работах. Все эти статьи опубликованы в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базе данных Web of Science / Scopus / RSCI.

Астрофизический семинар КРАО РАН пришел к заключению, что по своей актуальности, новизне и практической значимости диссертационная работа Бутузовой М.С. полностью удовлетворяет всем требованиям о присуждении ученых степеней и является завершённой научно-квалификационной работой. Исследование удовлетворяет требованиям,

предъявляемым к докторским диссертациям, а диссертант заслуживает присвоения ему степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Джеты активных ядер галактик на различных пространственных масштабах: форма, ориентация, физические условия и переменность наблюдаемых параметров» Бутузовой Марины Сергеевны рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.1 – «Физика космоса, астрономия» (физико-математические науки).

Заключение принято на астрофизическом семинаре Крымской астрофизической обсерватории РАН. На заседании присутствовало 26 чел. Результаты голосования: «за» - 26 чел., «против» - 0 чел., «воздержалось» - 0 чел. Протокол № 4 от « 9 » апреля 2025 г.

Руководитель
астрофизического семинара

Петров Петр Петрович,
доктор физ.-мат. наук, г.н.с.,
отдел физики звезд

Секретарь астрофизического
семинара
отдел физики звезд

Бакланова Диляра Наилевна,
кандидат физ.-мат. наук, с.н.с.

Зам директора по научной
работе КрАО РАН

Антонюк Кирилл Анатольевич,
кандидат физ.-мат. наук