

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации Плавина Александра Викторовича «Изучение высокоэнергетических процессов в ядрах активных галактик по данным радио, оптических и нейтринных наблюдений», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 — астрофизика и звездная астрономия

Активные галактики – одни из самых загадочных объектов нашей Вселенной. Основное отличие от обычных галактик заключается в экстремально большом количестве энергии, вырабатываемой в их ядрах. Ядра активных галактик это самые яркие долгоживущие объекты во Вселенной, обладающие переменностью излучения в широчайшем диапазоне длин волн: от радиоволн до гамма-излучения. Галактики с активными ядрами являются объектами, проявляющими экстремальные свойства. Понимание природы этих свойств, механизма работы центральной машины активных галактик может существенно приблизить нас к пониманию ранних этапов эволюции Вселенной. В настоящее время наиболее общепризнанной является гипотеза о наличии в центре активной галактики сверхмассивной черной дыры, при аккреции на которую окружающего вещества происходит выделение большей части энергии и происходит выброс релятивистских струй.

Диссертационная работа Плавина А. В. посвящена исследованию процессов в центральных областях активных ядер галактик (АЯГ), преимущественно блазаров, на парсековых масштабах. Диссертантом сформулированы три основные цели (задачи) работы: 1) локализация оптического излучения активных галактик, выяснение механизмов и характерных пространственных масштабов этого излучения; 2) определение природы видимых в радиодиапазоне вспышек в струях (джетах) АЯГ, выяснение причин их возникновения; 3) исследование гипотезы о возможности рождения нейтрино высоких энергий в областях, близких к началу джета. В работе дается четкий анализ современного состояния указанных проблем, не нашедших до настоящего времени полного решения, несмотря на достигнутый значительный прогресс в наблюдательной астрофизике активных ядер галактик, что определяет **актуальность** настоящей работы.

Актуальность темы диссертационной работы в значительной степени определяется также: 1) имеющейся в настоящее время развитой радиоастрономической наблюдательной базой АЯГ со сверхвысоким угловым разрешением, включающей ряд как одиночных радиотелескопов, так и РСДБ комплексов; 2) доступностью высокоточных астрометрических и фотометрических данных наблюдений со спутника Gaia в оптическом диапазоне; 3) регистрацией на нейтринных обсерваториях астрофизических нейтрино в диапазоне энергий от ТэВ до ПэВ, ассоциированных с яркими

блазарами. Надо также отметить, что актуальность работы не ограничивается чисто астрофизическими приложениями. Результаты работы очень важны и актуальны также для построения наиболее точных инерциальных систем отсчёта.

Диссертация состоит из введения, трёх глав и заключения. Она изложена на 117 страницах, включает 6 таблиц и 25 рисунков, список литературы содержит 218 наименований.

Три основные задачи, озвученные диссертантом, предопределили дальнейшую структуру и содержание диссертации. Так, **первая глава** диссертации посвящена исследованию оптического излучения активных ядер галактик по измерениям РСДБ и Gaia, а именно, смещению положений активных галактик, измеренных средствами РСДБ и Gaia. **Вторая глава** посвящена изучению смещения видимого начала радиоджетов блазаров со временем, причиной которых являются вспышки. В **третьей главе** изучается связь между нейтрино высоких энергий и физическими процессами в центральных парсеках блазаров.

Сущность полученных результатов.

В **первой главе** диссертации установлено, что смещения положений активных галактик, измеренных РСДБ и Gaia, в основном совпадают с направлением джетов на масштабах парсек и преимущественно связаны с джетами. Показано, что смещения РСДБ-Gaia в направлении вниз по течению джета можно объяснить только наличием яркого и протяженного оптического излучения джета. Смещения РСДБ-Gaia в обратном направлении, вверх по течению, которые оказались довольно большими, показывают, что РСДБ-положения не совпадают с началом джета. В работе сделан вывод, что в случаях РСДБ-Gaia смещения вверх по потоку, положение, измеренное Gaia, определяется доминирующим излучением аккреционного диска. Последний вывод подтвержден в результате сравнения предсказаний унифицированной схемы активных галактик с результатами, полученными отдельно для квазаров, лацертид и сейфертовских галактик.

Во **второй главе** диссертации разработан и применен автоматизированный метод измерения эффекта смещения ядра в компактных джетах АЯГ с использованием многочастотных РСДБ наблюдений, который показал себя более надежным по сравнению с известными ручными методами. С использованием нового метода удалось осуществить массовые измерения эффекта сдвига ядра из-за синхротронной непрозрачности его излучения. На основе сформированного набора многоэпоховых данных для 40 источников автору впервые удалось исследовать временную переменность сдвига ядра в компактных джетах. Показано, что эта переменность тесно связана со вспышками в области ядра. Предложен новый независимый способ оценки скорости течения плазмы в джете на основе измерений сдвига ядра.

Исследования, проведенные в **третьей главе**, позволили установить, что астрофизические нейтрино широкого диапазона энергий, от ТэВ до ПэВ, массово рождаются в ярких блазарах, джеты которых направлены на наблюдателя. Показано, что существует более 70 радиоярких блазаров, испускающих нейтрино таких энергий. Показано, что нейтрино рождаются в блазарах преимущественно во время вспышек в их центральных областях. Так, обнаружена временная корреляция прихода нейтрино и радиовспышек, наблюдаемых на частотах выше 10 ГГц на радиотелескопе РАТАН-600. В работе рассмотрены вероятные механизмы производства астрофизических нейтрино такого широкого спектра энергий.

Диссертация Плавина А.В. представляет собой фундаментальную работу с долгосрочной перспективой ее продолжения. Все выносимые на защиту результаты, предложенные методы обработки и анализа данных, разработанные программы и выводы диссертации являются **новыми**. Цели работы достигнуты. Все этапы исследования выполнены тщательно и подробно описаны. Работа хорошо структурирована, снабжена большим количеством иллюстраций, а также таблиц, в которых отражены полученные результаты.

Научная новизна результатов диссертации в значительной степени определяется тем, что в результате **впервые** проведенного анализа массовых выборок АЯГ: 1) для большинства источников установлено совпадение направления сдвига между РСДБ и Gaia координатами с направлением джета; 2) с использованием разработанного автоматического метода измерения эффекта смещения ядра обнаружена сильная временная переменность видимого положения начала джета, тесно связанная со вспышками в области ядра; 3) установлена связь между рождением нейтрино и процессами, происходящими в релятивистских джетах радиоблазаров.

Научная значимость работы заключается в открытии **новых направлений** в исследовании активных галактических ядер. **Практическую ценность** работы представляют обнаруженные смещения и переменности положений активных ядер галактик, которые необходимо учитывать при построении высокоточных инерциальных систем отсчета.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, а также их достоверность. Все результаты диссертации, выносимые на защиту, обоснованы. Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием астрономических наблюдательных инструментов, а также пакетов программ обработки и анализа данных мирового уровня. Результаты диссертации получили солидную апробацию на международных и российских конференциях, опубликованы в лучших международных астрономических изданиях, получили одобрение

международного научного сообщества, подтверждены результатами независимых исследований других ученых.

Полнота представления результатов. Результаты диссертации полностью отражены в пяти публикациях. Все работы опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК и индексируемых в международных базах данных WOS и Scopus. Все пять работ опубликованы в лучших международных астрономических журналах из квартиля Q1 (A&A, MNRAS, ApJ). В четырех работах диссертант является первым автором. Во всех результатах, выносимых на защиту, личный вклад автора обозначен как основной и определяющий. Результаты диссертации прошли солидную **апробацию** на научных семинарах АКЦ ФИАН, отдела теоретической физики ФИАН, а также других институтов. Результаты работы были доложены на 5 российских и 17 международных конференциях. Доклад на Scientific Symposium of the International Union of Radio Science (2021) был отмечен наградой The Young Scientist Award. Нелишне также отметить, что исследования, вошедшие в диссертацию, отмечены премией им. Д. В. Скобельцына ФИАН в 2020 году. **Автореферат** правильно отражает содержание диссертации.

Замечания по диссертации:

1. Какова точность приближения струи всего двумя компонентами (ядра и оставшейся части джета) при автоматизированном подходе измерения смещения ядра (стр. 36)? В диссертации дана чисто качественная оценка. Были ли получены численные оценки?
2. Структурный член может достигать сравнительно больших величин и он может сильно изменяться во времени из-за переменности структуры источника. К сожалению, проблеме **практического** учета структурного члена при построении высокоточных систем отсчета в диссертации не уделено должного внимания.

Редакционные замечания:

1. В тексте часто встречаются стилистически неверно построенные конструкции вида: «Исследование оптического излучения активных ядер галактик **используя** измерения РСДБ и Gaia». Правильная конструкция выглядит так: «Исследование оптического излучения активных ядер галактик **с использованием** измерения РСДБ и Gaia».
2. Текст диссертации не лишен опечаток. Имеется даже опечатка в формуле на стр. 42.

Высказанные замечания не являются существенными и не влияют на высокую общую оценку работы.

Заключение. Диссертация Плавина Александра Викторовича «Изучение высокоэнергетических процессов в ядрах активных галактик по данным радио, оптических и нейтринных наблюдений» является законченным самостоятельным исследованием, выполненным на высоком научном и техническом уровне. Диссертация удовлетворяет всем критериям, установленным Положением ВАК РФ о порядке присуждения степени кандидата наук, а ее автор Плавин Александр Викторович, безусловно, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 — астрофизика и звездная астрономия.

Официальный оппонент

Байкова Аниса Талгатовна

доктор физико-математических наук, ученое звание с.н.с.

01.03.02 – Астрофизика и звездная астрономия

Главный научный сотрудник Лаборатории
динамики Галактики

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория

Российской академии наук

196140, г. Санкт-Петербург, Пулковское шоссе, д.65, корп.1.

Тел. (812) 363 72 07, электронная почта bajkova@gaoran.ru,
anisabajkova@mail.ru.

4 марта 2022 г.

Подпись А.Т. Байковой удостоверяю,
ученый секретарь ГАО РАН,
кандидат физ.-мат. наук

О. Ю. Барсунова