

УТВЕРЖДАЮ

Проректор
по научной работе, к.ф.-м.н.

Баган Виталий
Анатольевич

«12» _____ 2022 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»
(МФТИ, Физтех)

Диссертация «Свойства активных ядер галактик, полученные из анализа радионаблюдений их полных выборок» выполнена на кафедре проблем физики и астрофизики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

В период подготовки диссертации с 2017 г. по настоящее время соискатель **ПОПКОВ Александр Викторович** работал в лаборатории фундаментальных и прикладных исследований релятивистских объектов Вселенной федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» в должности младшего научного сотрудника.

В 2017 г. Попков А.В. окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет, по специальности 03.05.01 Астрономия. В 2021 г. окончил очную аспирантуру МФТИ на кафедре проблем физики и астрофизики по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия.

Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2022 г. федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)».

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, профессор РАН КОВАЛЕВ Юрий Юрьевич. Основное

место работы – федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Физический институт имени П.Н. Лебедева Российской академии наук», Астрокосмический центр, лаборатория внегалактической радиоастрономии, высококвалифицированный главный научный сотрудник.

По итогам обсуждения диссертации «Свойства активных ядер галактик, полученные из анализа радионаблюдений их полных выборок» *принято следующее заключение.*

Тема диссертации является актуальной, поскольку позволяет приблизиться к получению ответов на ряд открытых вопросов, касающихся физических процессов в радиогромких активных ядрах галактик (АЯГ) и их наблюдательных проявлений. Во-первых, это связь между широкополосными радиоспектрами АЯГ и их структурой на масштабах парсек. Ранее, доля РСДБ-компактных источников с крутым спектром была известна очень неточно. При этом данные источники интересны тем, что они, вероятно, являются ранними стадиями развития АЯГ. Во-вторых, это свойства первого высоковероятного кандидата - источника астрофизических нейтрино высоких энергий, блазара TXS 0506+056. Их понимание необходимо для разработки моделей механизма генерации нейтрино высоких энергий в блазарах. В-третьих, это проблема достоверных оценок Доплер-фактора джетов АЯГ — величины, которая необходима для перевода наблюдаемых характеристик блазаров во внутренние.

Цели и задачи диссертации: использование РСДБ-наблюдений и широкополосных радиоспектров статистически полных выборок АЯГ для уточнения долей объектов разных классов в популяции АЯГ и исследования высокоэнергичных процессов, происходящих в их компактных джетах на масштабах парсек и суб-парсек.

Основные результаты диссертации:

1. По наблюдениям полной выборки 482 АЯГ, ограниченной плотностью потока на 1.4 ГГц, установлено, что компактные структуры масштабов сотен парсек и менее наблюдаются в практически всех источниках с плоским или пиковым широкополосным радиоспектром и примерно в 1/4 источников с круто падающим спектром. Среди компактных источников выборки блазары с плоским спектром составляют лишь около половины. Остальные компактные объекты имеют круто падающий спектр; основная часть их излучения приходит от оптически тонких областей джетов или облаков плазмы.
2. Широкополосный радиоспектр блазара TXS 0506+056, отождествлённого как источник высокоэнергетичных нейтрино, и его переменность, были проанализированы в сравнении с сотнями других блазаров статистически полной выборки. Типичность его характеристик в радиодиапазоне даёт указание на возможность не только в нем, но и в других блазарах, механизма эффективного ускорения протонов и рождения нейтрино высоких энергий.
3. Обнаружено согласие между оценками Доплер-факторов для большой выборки релятивистских джетов АЯГ, полученными в данной работе

по РСДБ-измерениям яркостной температуры, и ранее опубликованными другими авторами оценками из анализа радиовспышек. Взаимное соответствие двух принципиально независимых методов приводит к выводу о надёжности полученных оценок.

Все результаты диссертации получены лично соискателем при научном руководстве доктора физико-математических наук, члена-корреспондента РАН Ковалева Ю.Ю.

Научная новизна работы заключается в изучении свойств на парсековых масштабах большой несмещённой выборки компактных источников с крутым спектром и в определении их доли в полной выборке компактных АЯГ. Данная работа является первой из установивших, что нейтрино-ассоциированный источник TXS 0506+056 является типичным блазаром. Впервые обоснованно делается вывод, какие методы обеспечивают наиболее достоверные на сегодняшний день оценки релятивистских Доплер-факторов джетов АЯГ.

Практическая ценность и научная значимость результатов диссертации заключается в том, что проведённый анализ связи между свойствами радиоспектра и параметрами парсековой структуры АЯГ, дают возможность оптимизировать планирование новых глубоких РСДБ-обзоров неба и повысить полноту каталогов компактных АЯГ, что важно как для фундаментальных исследований АЯГ, так и для создания высокоточной инерциальной системы отсчета, задач геодезии и космической навигации. Данная работа дала указания на связь процессов, отвечающих за генерацию нейтрино и вспышечного синхротронного радиоизлучения компактных джетов АЯГ. Это помогает в будущем разобраться в механизме ускорения протонов и рождения нейтрино. В-третьих, полученные оценки Доплер-фактора критически необходимы для всех исследований АЯГ, включая проверки предсказаний физических моделей джетов, которые требуют перехода от наблюдаемых к истинным значениям параметров джета.

Обоснованность и достоверность результатов и выводов обусловлена использованием данных современных радиотелескопов и радиоинтерферометров обсерваторий мирового уровня, полученных, в том числе, с непосредственным участием соискателя; исследованием статистически полных выборок АЯГ; использованием современных надёжных методов обработки и статистического анализа данных; согласием результатов обработки данных в различных программных пакетах. Положения и выводы, сформулированные в диссертации, получили полноценную апробацию на международных и российских научных конференциях и семинарах. Достоверность также подтверждается публикациями всех основных результатов исследования в ведущих рецензируемых международных журналах по астрофизике.

Материалы диссертации опубликованы автором достаточно полно в следующих 3 научных статьях в рецензируемых журналах и изданиях, рекомендованных ВАК и индексируемых базами данных Web of Science и Scopus:

1. *Popkov A.V., Kovalev Y.Y., Petrov L.Y., Kovalev Y.A.* Parsec-scale Properties of Steep- and Flat-spectrum Extragalactic Radio Sources from a VLBA Survey of a Complete North Polar Cap Sample // *Astronomical Journal*. – 2021. – Vol. 161, no. 2. – id. 88.
2. *Kovalev Y.A., Kardashev N.S., Kovalev Y.Y., Sokolovsky K.V., Voitsik P.A., Edwards P.G., Popkov A.V., Zhekanis G.V., Sotnikova Y.V., Nizhelsky N.A., Tsybulev P.G., Erkenov A.K., Bursov N.N.* RATAN-600 and RadioAstron reveal the neutrino-associated blazar TXS 0506+056 as a typical variable AGN // *Advances in Space Research*. – 2020. – Vol. 65, no. 2. – P. 745—755.
3. *Homan D.C., Cohen M.H., Hovatta T., Kellermann K.I., Kovalev Y.Y., Lister M.L., Popkov A.V., Pushkarev A.B., Ros E., Savolainen T.* MOJAVE. XIX. Brightness Temperatures and Intrinsic Properties of Blazar Jets // *Astrophysical Journal*. – 2021. – Vol. 923, no. 1. – id. 67.

Содержание диссертационной работы А.В. Попкова изложено максимально доступно, корректно и полно.

Личный вклад соискателя в работах с соавторами заключается в следующем: [1] — основной вклад, включающий обработку РСДБ-данных в пакетах AIPS и Difmap, астрофизический анализ результатов, обсуждение и подготовку публикации. [2] — участие в подготовке расписаний и сопровождении наблюдений на РАТАН-600 и участие, наравне с другими соавторами, в проведении анализа, обсуждении результатов и выводов, подготовке публикации. [3] — анализ результатов по Доплер-факторам и определение величины и значимости их систематических сдвигов, достоверности полученных оценок, а также участие, наравне с другими соавторами, в обсуждении результатов и подготовке публикации.

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на семинарах Астрокосмического центра и Отдела теоретической физики ФИАН им. П. Н. Лебедева и были представлены в виде устных и стендовых докладов на 8 российских и 4 международных научных конференциях и симпозиумах.

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия, в частности, пунктам:

- п. 1 – Исследование физических процессов, связанных с генерацией излучения (электромагнитного, нейтринного, гравитационного), распространения и поглощения излучения в космических средах; разработка методов анализа электромагнитного излучения в различных спектральных диапазонах в применении к астрономическим наблюдениям.
- п. 2 – Исследования физических свойств космических объектов (планет, звезд, галактик и их систем) межпланетной, околозвездной, межзвездной и межгалактической среды, базирующиеся на астрономических наблюдениях.
- п. 3 – Изучение происхождения, движения и эволюции космических объектов на базе фундаментальных физических теорий и астрономических наблюдений.

Диссертация «Свойства активных ядер галактик, полученные из анализа радионаблюдений их полных выборок» **ПОПКОВА Александра Викторовича** удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание степени кандидата наук, и рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности **01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия.**

Заключение принято на заседании кафедры проблем физики и астрофизики МФТИ. Присутствовало на заседании 12 человек. Результаты голосования: «за» – 12 чел., «против» – нет, «воздержались» – нет, протокол № б/н от 11 мая 2022 года.

Зыбин Кирилл Петрович,
член-корреспондент РАН,
доктор физико-математических наук,
заведующий кафедрой
проблем физики и астрофизики
МФТИ, Физтех