

Утверждаю
Директор федерального государственного
бюджетного учреждения науки
«Крымская астрофизическая обсерватория РАН»

А.Н. Ростопчина-Шаховская

15 февраля 2022 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Крымская астрофизическая обсерватория РАН» на диссертацию 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».

Исследование активных ядер галактик (АЯГ) всегда было актуальным вследствие экстремальных свойств этих объектов. Несмотря на то, что в последние десятилетия проводятся многоволновые и радиоинтерферометрические наблюдения АЯГ, вопросы о локализации излучающих на различных частотах областей до сих пор остаются предметом дискуссий. Новое качество эти исследования приобретают благодаря достижению космическим оптическим телескопом Gaia углового разрешения, сравнимого с разрешением, обеспечиваемым до этого только в радиодиапазоне методом радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами (РСДБ). Дополнительную значимость для понимания физики АЯГ придает факт ассоциации зарегистрированного детектором IceCube высокоэнергетического нейтринного события с блазаром TXS 0506+056. Диссертационная работа Плавина А.В. посвящена именно этим вопросам, находящемуся на переднем крае исследований АЯГ.

Автор впервые убедительно показал наличие связи смещений в положениях АЯГ, определяемых Gaia и РСДБ, с протяженной структурой — джетами. Дал интерпретацию этой связи в рамках унифицированной модели АЯГ в предположении различного вклада в наблюдаемое оптическое излучение от джета, аккреционного диска и звезд родительской галактики. Полученное отличное согласие между теоретическими ожиданиями и наблюдениями не только в очередной раз подтверждает унифицированную модель АЯГ, но и дает весомые аргументы в пользу утверждаемого присутствия протяженных, вплоть до 100 миллисекунд дуги, ярких оптических джетов. Важно отметить, что уже получены независимые подтверждения сделанных в Главе 1 выводов.

В связи с результатами Главы 1, на первый план выходит вопрос возможной переменности положения РСДБ ядра (видимое начало джета) со

временем. Для его исследования автор использовал суммарно более полутора тысяч наблюдений, выполненных для 40 объектов на протяжении 20 лет. Для определения смещения РСДБ ядра, наблюдаемого на двух частотах, был разработан новый метод, основанный на машинном обучении. Это позволило максимально автоматизировать обработку данных. Выполненный анализ влияния на полученные измерения сдвига РСДБ ядра от различных эффектов, например, неравномерного заполнения (u, v) -плоскости, изменения FWHM диаграммы направленности вдоль джета, делает выводы о переменности положения РСДБ ядра и их связи с изменениями физических параметров в джете убедительными. Разработан новый метод определения скорости потока джета по смещению РСДБ ядер. Результаты его применения показали хорошее соответствие с независимыми измерениями, выполненными в рамках проекта MOJAVE.

Беспрецедентный результат получен в Главе 3. А именно, обнаружена статистически значимая связь нейтринных событий с яркими в радиодиапазоне блазарами. Независимые коллективы авторов независимо подтвердили этот результат.

Содержание работы

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. Материал изложен на 99 страницах (не включая список литературы) и содержит 25 рисунков и 6 таблиц. Список литературы содержит 218 наименований.

Во введении приведен обзор современного состояния исследований, актуальность и научная новизна проводимого исследования, определены цели и задачи работы, перечислены научная и практическая значимость результатов, отмечены апробация результатов, публикации и личный вклад автора.

Глава 1 содержит исследование оптического излучения АЯГ на основе сравнения астрометрических положений АЯГ, определяемых в радиодиапазоне методом РСДБ, а в оптическом диапазоне космическим телескопом Gaia. Устанавливается связь полученных смещений для нескольких тысяч источников и направления их джетов. Дается интерпретация этой связи в предположении о различном доминировании в общем излучении от трех основных компонент: джета, аккреционного диска и звезд хозяйской галактики. Приводятся доказательства существования протяженных оптических джетов.

В Главе 2 исследуется смещение положения РСДБ ядер, наблюдаемых на частотах 2 и 8 ГГц, для 40 объектов. Описывается разработанный автоматизированный метод сопоставления РСБД карт, полученных на разных частотах. Проанализированы оценки ошибки измерений смещения РСДБ ядра, полученных этим методом. Дается объяснение обнаруженной переменности сдвига РСДБ ядра за счет изменения физических параметров джета. Предлагается новый способ измерения скорости потока джета.

Глава 3 посвящена исследованию связи нейтринных событий, детектируемых IceCube с яркими в радиодиапазоне блазарами. Описываются выборки нейтринных событий и АЯГ. Проводится статистический анализ

соответствия двух выборок. Статистическими методами доказываемая ассоциация нейтринных событий широкого диапазона энергий как с блазарами в целом, так и с их активностью. Представлен сценарий, качественно объясняющий рождение нейтрино и его связь с радиоизлучением блазаров.

Достоверность результатов, публикации, апробация работы

Проводимые в диссертации исследования всегда сопровождались оценками погрешностей и достоверностей для получаемых параметров. Результаты опубликованы в 5 статьях в высокорейтинговых международных изданиях. Плавин А.В. докладывал результаты исследований на многочисленных всероссийских и международных конференциях, в том числе и в качестве приглашенного докладчика на European Astronomical Society Annular Meeting 2021. В тексте диссертации вклад автора четко указан.

Вопросы и замечания

Во Введении автор указывает, что синхротронное самопоглощение способствует определению расстояния от видимого РСДБ ядра до черной дыры. Тогда как в остальных разделах диссертации корректно используется расстояние от истинного начала джета до РСДБ ядра.

Нумерация литературных источников начинается с 6, но по всему тексту диссертации прослеживается соответствие повествования и ссылок на литературные источники.

В Главе 1 не раскрыто подробно понятие «групповая задержка».

В Главе 1 не обсуждается возможность смещения координат АЯГ, определяемых Gaia за счет оптического излучения джета на килопарсековых масштабах.

В Главах 1 и 2 нет пояснений об используемых критериях или методах для определения направления джета, на основе которого выстраивается дальнейший анализ.

В Главе 2 рассматривается влияние изменения численной плотности излучающих частиц, магнитного поля и доплер-фактора на положение РСДБ ядра. Но приведены результаты только для первых двух параметров. Более того, в вычислениях используется связь плотности потока РСДБ ядра и его положения. При этом, учет доплер-фактора произведен как для оптически тонкой среды, тогда как РСДБ-ядра – области с ощутимым синхротронным самопоглощением. Дополнительно к этому, если принимать во внимание изменение доплер-фактора, то надо понимать, что при фиксированной частоте наблюдения, частоты в системе отсчета джета, соответствующие пику в спектре синхротронного излучения с самопоглощением, различаются и ассоциируются с различными расстояниями от истинного начала джета. Учитывался ли этот эффект при вычислениях?

В параграфе 3.1.1 сразу после обсуждения выборки высокоэнергетических нейтринных событий для анализа, говорится, что «значительная часть событий не является астрофизическими». Возникает

естественный вопрос о физическом обосновании выбора этих событий для анализа, ответа на которого в тексте диссертации нет.

Заключение

Выполненные в рамках диссертационной работы исследования отличаются оригинальностью постановки задачи, логичной связанности этапов и научной новизной выводов относительно свойств АЯГ. Для анализа были использованы все доступные базы данных, соответствующие целям в проводимом исследовании. Это позволило сделать выводы на основе максимально (наиболее полной) доступной выборки объектов (несколько тысяч в Главах 1 и 3) и максимальной продолжительности рядов двухчастотных РСДБ-наблюдений 40 АЯГ (Глава 2). Также статистическими методами были проведены оценки погрешностей рассматриваемых параметров. Поэтому сделанные выводы являются достоверными. Необходимо отметить значение полученных в диссертации результатов в задачах высокоточной астрометрии.

Результаты диссертации уже используются в исследованиях других научных групп (о чем свидетельствует большое число ссылок на работы автора). Более того, Плавин А.В. продолжает начатые исследования в сотрудничестве с коллективами нейтринных телескопов. Также, в составе научной группы, диссертант проводит наблюдения оптических джетов АЯГ на телескопе Hubble и участвует в анализа РСДБ данных.

Все вышеперечисленное показывает высокий профессиональный уровень Плавина А.В., актуальность и востребованность проведенного им исследования.

Диссертация Плавина Александра Викторовича «Изучение высокоэнергетических процессов в ядрах активных галактик по данным радио, оптических и нейтринных наблюдений» является целостной научно-исследовательской работой, удовлетворяющей всем требованиям ВАК при Минобрнауки России. Соискатель заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук специальности 01.03.02 – «Астрофизика и звёздная астрономия».

Отзыв подготовлен заместителем директора по научной работе, заведующим отделом радиоастрономии и геодинамики КрАО РАН, доктором физико-математических наук Вольвачем Александром Евгеньевичем.

Отзыв обсужден и одобрен на объединенном астрофизическом семинаре КрАО РАН 08.02.2022 г.

Руководитель астрофизического семинара КрАО РАН,
доктор физ.-мат. наук

П.П. Петров

Подпись П.П. Петрова заверяю:

начальник отдела кадров КрАО РАН

А.С. Семенова

Телефон: +7 (978) 878 03 57

E-mail: petrov@craocrimea.ru

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Крымская астрофизическая обсерватория РАН» (ФГБУН «КрАО РАН»)

E-mail: crao@inbox.ru

Телефон: + 7 (36554) 71161

Почтовый адрес: 298409, Республика Крым, Бахчисарайский р-н,
пгт. Научный