

УТВЕРЖДАЮ

Директор САО РАН

Г.Г. Валявин

«22» августа 2023 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук

Диссертация «Исследование геометрии и кинематики центральных областей активных галактик», представляемая на соискание учёной степени кандидата физ.-мат. наук по научной специальности 1.3.1 Физика космоса, астрономия выполнена в лаборатории спектроскопии и фотометрии внегалактических объектов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук (САО РАН).

В период подготовки диссертации соискатель Малыгин Евгений Андреевич работал в САО РАН в должности стажёра-исследователя.

В 2020 г. окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет" по специальности 03.05.01 Астрономия и ему присвоена квалификация «Астроном. Преподаватель».

В период подготовки диссертации соискатель обучался по программе подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре САО РАН по направлению 03.06.01 Физика и астрономия, профиль 01.03.02 Астрофизика и звёздная астрономия, в 2023 году успешно её оканчивает. Соискатель обучался сначала под руководством доктора физ.-мат. наук, профессора Афанасьева Виктора Леонидовича, затем доктора физ.-мат. наук Моисеева Алексея Валерьевича.

Научный руководитель – доктор физ.-мат. наук Моисеев Алексей Валерьевич работает в лаборатории спектроскопии и фотометрии внегалактических объектов САО РАН в должности ведущего научного сотрудника.

По итогам обсуждения принято следующее заключение.

Работа посвящена исследованию геометрии и кинематики центральных областей активных галактик различными наблюдательными методами. В основе работы лежат наблюдательные данные, полученные на телескопах САО РАН - 1-м Цейсс-1000 и 6-м БТА, а также 1.82-м телескопе Коперника в Асьяго (Италия). Сочетание фотометрических, поляриметрических, спектральных и спектрополяриметрических наблюдательных методов позволяет всесторонне исследовать оптически неразрешимые активные ядра галактик (АЯГ), уточняя наши представления об их устройстве.

Метод эхокартирования АЯГ позволяет по задержке переменности излучения в широких эмиссионных линиях относительно переменности в континууме определять расстояния до орбит обращения газа в центральном парсеке, что в связке со спектральными измерениями скоростей газа по широким эмиссионным линиям позволяет оценить массу центральной сверхмассивной чёрной дыры (СМЧД). Спектральный метод эхокартирования для наблюдений АЯГ подразумевает использование телескопов, начиная с 2-м класса, а продолжительность мониторинга составляет годы. Однако в последнее десятилетие активно развивается фотометрический метод эхокартирования, в основе которого лежат наблюдения в

среднеполосных фильтрах, полосы пропускания которых ориентированы на излучение в спектральной линии и континуум рядом, что позволяет эхокартировать АЯГ с помощью телескопов 1-м класса. Адаптация метода фотометрического эхокартирования на 1-м и 6-м телескопах САО РАН позволила получить оценки размеров области формирования широких линий в АЯГ, не уступающих по точности спектральным измерениям, а также заложила фундамент для дальнейшего развития метода до поляриметрических наблюдений.

С другой стороны, исследование АЯГ в поляризованном свете позволяет независимыми методами измерять массы их СМЧД, подразумевая различное происхождение поляризованного излучения. В случае генерации поляризации излучения в аккреционном диске, окружающем СМЧД, теоретические модели в сочетании с результатами эхокартирования позволяют оценить величины массы, спина СМЧД, напряжённости магнитного поля на горизонте событий и показателя степени зависимости магнитного поля от радиуса. В случае, когда излучение из области формирования широких линий в экваториальной плоскости рассеивается в окружающей холодной, оптически толстой газопылевой среде (т.н. пылевом торе), профили широких спектральных линий приобретают характерные особенности в поляризованном свете.

Тогда для измерения массы СМЧД применим спектрополяриметрический метод, разработанный В. Л. Афанасьевым и Л. Поповичем (Afanasiev V.L.&Popović L.Č, 2015). При сравнении оценок масс СМЧД, независимо полученных с помощью спектрополяриметрического подхода и с помощью метода эхокартирования, возможно определить угол наклона системы, поскольку метод эхокартирования зависит от геометрии АЯГ. Таким образом, полученные в диссертации результаты показывают эффективность спектрополяриметрических исследований, позволяющих исследовать оптически неразрешимый центральный парсек АЯГ с помощью различных подходов, даже если механизмы формирования поляризации излучения центрального парсека АЯГ различны.

Сектрополяриметрический метод определения массы СМЧД опирается на оценку размера области экваториального рассеяния – в общем случае, она является внутренней границей пылевого тора в АЯГ. В 2020 году Шабловинская с соавторами (Shablovinskaya et al, 2020) предложили и реализовали новый подход по прямому измерению размера области экваториального рассеяния, в основе которого лежало развитие метода эхокартирования до спектрополяриметрического мониторинга. Однако такой подход требует большого количества времени на крупнейших оптических телескопах, оснащённых соответствующей для спектрополяриметрических наблюдений аппаратурой. В диссертации представлены результаты расширения метода фотометрического эхокартирования АЯГ в среднеполосных фильтрах до метода поляриметрического эхокартирования АЯГ в среднеполосных фильтрах с задействованием телескопов 1-м и 2-м класса. В ходе продолжительного мониторинга по измеренным временным задержкам переменности поляризованного излучения в линии относительно неполяризованного континуума были получены первые оценки размеров областей экваториального рассеяния в двух активных галактиках с широкими линиями, в том числе с помощью нового фокального редуктора «MAGIC» для 1-м телескопа Цейсс-1000 САО РАН, методически исследованного в рамках данной диссертации.

Научная новизна работы заключается в адаптации метода фотометрического эхокартирования в среднеполосных светофильтрах на 1-м и 6-м телескопах САО РАН, позволившего впервые измерить размеры областей формирования широких линий в активных галактиках LEDA 3095839 и VII Zw 244, а также расширению метода до поляриметрического эхокартирования в среднеполосных светофильтрах, что позволило впервые измерить размеры областей экваториального рассеяния в активных галактиках Mrk 335 и Mrk 509. Комбинация фотометрического эхокартирования с поляриметрическим, спектральным и спектрополяриметрическими методами исследований АЯГ позволила впервые для

LEDA 3095839 и VII Zw 244 провести оценки величин масс и спинов СМЧД, напряжённости магнитного поля на горизонте событий и углов наклона систем.

Научная и практическая значимость работы состоит в расширении возможностей наблюдений на телескопах метрового класса для решения задач исследования АЯГ. С одной стороны, на примере наблюдений методом фотометрического эхокартирования в среднеполосных фильтрах показано, что результаты не уступают спектральному методу эхокартирования, но при этом экономят телескопное время более крупных инструментов. С другой – адаптация нового метода поляриметрического эхокартирования в среднеполосных фильтрах позволяет эффективно задействовать малые телескопы для оценки размеров области экваториального рассеяния в АЯГ 1-го типа. Это позволяет повысить точность спектрополяриметрического метода измерения масс СМЧД для большего количества ярких АЯГ, поскольку прежде размер области экваториального рассеяния оценивался из допущений, либо длительного спектрополяриметрического мониторинга на 6-м телескопе БТА. Представленный в работе анализ спектрополяриметрических данных, полученных на 6-м БТА с прибором SCORPIO-2, показывает возможность измерения набора различных параметров СМЧД и газа вокруг неё с применением различных моделей генерации поляризации излучения в континууме и линии.

Личный вклад автора заключается в получении наблюдательного материала на 1-м и 6-м телескопах САО РАН, обработке и анализе наблюдательных данных, адаптации фотометрического и поляриметрического методов эхокартирования АЯГ в среднеполосных фильтрах на телескопах САО РАН и методической работе с аппаратурой.

Все результаты, выносимые на защиту, аргументированы и подробно изложены в 6 статьях соискателя, опубликованных в рецензируемых журналах списка ВАК. Представленные результаты и выводы обсуждались на международных и всероссийских конференциях, а также на семинарах САО РАН, КраО РАН и КФУ.

По докладу автора на Учёном совете САО РАН были заданы вопросы, на которые докладчик исчерпывающе ответил.

В выступлениях Романюк И.И., Пустильник С.А. и Трушкин С.А. отметили хорошее представление результатов. Валявин Г.Г. высказал мнение о корректировке порядка положений, выносимых на защиту. Шолухова О.Н. обратила внимание, что если не имеется патента на методические разработки, то следует переформулировать пункт положения, выносимого на защиту по методической разработке. Власюк В.В. отметил заметный профессиональный рост соискателя. Сотникова Ю.В. отметила высокий уровень работы с использованием и наблюдений, и обработки полученных наблюдательных данных, и интерпретации полученных результатов. Моисеев А.В. рассказал о разработанных наблюдательных методиках в лаборатории спектроскопии и фотометрии внегалактических объектов САО РАН и о поставленной Малыгину Е.А. задаче, с которой тот успешно справился. Алексей Валерьевич обратил внимание, что разработанные в работе методы используются другими исследователями в других странах. Также, он отметил большой объём проделанной работы, учитывая сокращённый срок обучения, и что Малыгин Е.А. зарекомендовал себя, как самостоятельный молодой исследователь – это хорошо видно по его публикационной активности.

Учёный совет пришёл к заключению, что представляемая диссертация является самостоятельной, законченной научно-квалификационной работой. Выполненная работа удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, паспорту научной специальности, а соискатель заслуживает присвоения ему учёной степени кандидата физ.-мат. наук.

Диссертация «Исследование геометрии и кинематики центральных областей активных галактик» Малыгина Евгения Андреевича рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.3.1 Физика космоса, астрономия.

Заключение принято на заседании Учёного совета САО РАН 18 августа 2023 года.

Присутствовало на заседании 15 членов Учёного совета.

Результаты голосования: "за" – единогласно, протокол №415 от 18 августа 2023 г.

Председатель Учёного совета,
директор САО РАН,
кандидат физ.-мат. наук



/Валявин Г.Г./

Учёный секретарь САО РАН,
кандидат физ.-мат. наук



/Кайсина Е.И./