

“УТВЕРЖДАЮ”

Проректор по научной деятельности  
Казанского (Приволжского)  
Федерального университета

  
  
Габурский Д.А.  
15 сентября 2023 г.  
Литова Е.А.

Отзыв Ведущей организации  
на диссертацию Малыгина Евгения Александровича  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИИ И КИНЕМАТИКИ ЦЕНТРАЛЬНЫХ  
ОБЛАСТЕЙ АКТИВНЫХ ГАЛАКТИК,**  
представленную на соискание учёной степени  
кандидата физико-математических наук  
по специальности 1.3.1 - физика космоса, астрономия

Активные ядра галактик (АЯГ) являются одними из абсолютно ярчайших источников излучения в наблюдаемой части Вселенной. Более того, источник энерговыделения АЯГ - аккреция вещества на сверхмассивную чёрную дыру (СМЧД) – наиболее эффективный известный способ генерации энергии, обеспечивающий мощность излучения, достаточную для наблюдения этих объектов вплоть до предельных в Метагалактике расстояний порядка  $10^{10}$  световых лет. Всё это, наряду с распространённостью АЯГ и влиянием их на наблюдательные проявления эволюции галактик, делает подобные объекты важной и интересной целью многих исследований.

Важной особенностью АЯГ является их переменность во всех диапазонах электромагнитного спектра, поскольку в них происходит экстремальное энерговыделение посредством аккреции вещества на СМЧД. Наблюдения также указывают на эволюционную связь между СМЧД в центрах галактик и их сфероидальными звёздными компонентами (балджами), а также с галактическими гало, состоящими из тёмной материи. Массы центральных чёрных дыр коррелируют с оптической светимостью сферической составляющей родительских галактик, с дисперсией скоростей звёзд в них, а также с полной звёздной массой в балдже. Считается, что величина спина СМЧД играет центральную роль в генерации релятивистских джетов в АЯГ, и мощность излучения джета часто используется для определения величины спина. Таким образом, исследование характеристик СМЧД и их окрестностей в АЯГ является важнейшей задачей астрофизики для изучения вещества в экстремальных условиях и понимания эволюции галактик.

Евгением Малыгиным были получены многолетние ряды наблюдательных данных для исследуемых объектов, включая фотометрические, спектроскопические и спектрополяриметрические наблюдения, на основе которых определены параметры BLR-областей галактик выборки, массы и спины СМЧД в них, а также впервые определены напряжённость магнитного поля на горизонте событий в этих объектах. Также впервые для исследуемых галактик получены оценки расстояний до области экваториального рассеяния. Была проведена определённая техническая работа по модернизации оптического тракта телескопа Цейсс-1000 САО РАН. В этом состоит актуальность и значительная новизна исследования.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения (ссылка на которое отсутствует в содержании) и списка литературы. Объём диссертации составляет 94



страницы, включая 22 рисунка и 5 таблиц, список цитированной литературы содержит 143 наименования.

Во **введении** выполнен краткий обзор опубликованных данных по теме диссертации, общепринятых в мировой практике и использованных в работе методов исследования, а также описаны научная новизна работы, апробация полученных результатов, выносимые на защиту положения и личный вклад автора.

В **первой** главе приводится более подробный обзор наблюдательных методов (фотометрических, спектральных и поляриметрических), обсуждаются особенности их применения на инструментах САО РАН, использованных диссертантом при выполнении работы. В разделе 1.1 вводится система АВ-величин, используемая в дальнейшем в работе. В разделе 1.1.1 описываются характеристики фотометрических мод приборов, с помощью которых получался наблюдательный материал. В разделе 1.1.2 описана методика фотометрических наблюдений. Важным элементом работы, имеющим значение не только в рамках диссертации, является борьба с рассеянным светом и установка кольцевых диафрагм в оптический тракт 1-м телескопа Цейсс-1000 САО РАН, а также исследование их влияния на получаемые данные. Этой проблеме и путям её решения посвящён раздел 1.1.3. Следующие разделы главы посвящены методике обработки данных, редукации и калибровке. Приведены характеристики поляриметрических мод используемых приборов. В частности, в разделе 1.2 описываются параметры Стокса, и вводятся определения степени и угла плоскости поляризации, используемые далее в работе. Описывается коррекция за статистическое смещение полученных при низком отношении сигнал/шум поляриметрических данных, а также описана редукация данных. В разделе 1.2.1 описываются характеристики поляриметрических мод приборов, содержащих в качестве анализатора поляризации клиновую двойную призму Волластона, а в разделе 1.2.2 описывается методическое исследование поляриметрической моды нового фокального редуктора MAGIC для телескопа Цейсс-1000 с двойной призмой Волластона квадрупольного дизайна. Раздел 1.3 посвящён описанию спектроскопического метода наблюдений, раздел 1.4 описывает спектрополяриметрический метод наблюдений.

**Вторая** глава посвящена исследованию двух АЯГ (LEDA 3095839 и VII Zw 244) методом фотометрического эхокартирования. Сам метод описывается в разделе 2.1. Следующий раздел 2.2 посвящён краткому описанию фотометрических и спектральных наблюдений объектов исследования. Далее (в разделе 2.3) анализируются полученные данные на предмет вычисления расстояний до обращающихся вокруг СМЧД облаков газа и их скоростей. В следующем разделе (2.4) автор приводит оценки масс центральных СМЧД исследуемых галактик, полученные результаты обсуждаются и сравниваются с предыдущими косвенными оценками по эмпирическим зависимостям.

**Третья** глава посвящена исследованию тех же объектов, что были описаны в главе 2, но с использованием спектрополяриметрического анализа. В частности, в разделе 3.1 кратко описаны наблюдения исследуемых АЯГ в поляризованном свете (в разделе 3.1.1 спектрополяриметрические наблюдения, в разделе 3.1.2 наблюдения в режиме поляриметрии). Раздел 3.2 посвящён анализу полученных данных и измерению различных физических и геометрических характеристик АЯГ. В разделе 3.2.1 для активной галактики LEDA 3095839 приводятся измеренные значения континуальной поляризации, болометрической светимости, угла наклона системы и величины спина СМЧД. Также рассчитывается геометрия распределения магнитного поля в аккреционном диске. В разделе 3.2.2 для активной галактики VII Zw 244 описаны обнаруженные признаки экваториального рассеяния излучения, на основании которых был применён спектрополяриметрический метод измерения массы центральной СМЧД, не зависящий от геометрии системы. Сравнение полученных спектрополяриметрических результатов с результатами эхокартирования позволило измерить угол наклона системы.



Также приводятся оценки величин болометрической светимости, спина СМЧД и магнитного поля в аккреционном диске. Раздел 3.3 содержит краткие выводы и результаты, полученные в главе 3.

В **четвертой** главе описывается адаптация метода поляриметрического эхокартирования АЯГ в среднеполосных фильтрах, а также приводятся полученные в ходе многолетнего поляриметрического мониторинга результаты. Исследуются две активные галактики Mrk 335 и Mrk 509, в широких линиях которых ранее были обнаружены признаки экваториального рассеяния. В разделе 4.1 описаны поляриметрические наблюдения исследуемых АЯГ, в разделе 4.2 приводится анализ полученных из наблюдений данных. В частности, в разделах 4.2.1 и 4.2.2 для галактик Mrk 335 и Mrk 509 соответственно приведён анализ кривых блеска, полученных в поляризованной линии и в неполяризованном континууме. Раздел 4.3 посвящён обсуждению полученных в рамках четвертой главы результатов - измерению размеров областей экваториального рассеяния для исследуемых активных галактик.

В кратком **заключении** перечисляются основные результаты выполненной в рамках диссертационного проекта работы.

Представленную диссертацию можно охарактеризовать как комплексную и актуальную обширную научную работу, выполненную сформировавшимся исследователем и обладающую значительной **новизной**, как в части методики, так и в части фактических результатов. Значительный задел диссертанта в части навыков получения фотометрических, спектральных и поляриметрических наблюдательных данных начал формироваться ещё на студенческой скамье в ходе выполнения ВКР и значительно расширился в годы работы Евгения в САО РАН. Евгением Малыгиным получен обширный наблюдательный материал, выполнены все этапы обработки данных, включая первичную редукцию, калибровку, финальную обработку и интерпретацию. Отдельного внимания заслуживает часть работы, связанная с уменьшением влияния рассеянного света, проведённые технические работы и полученный результат. Евгений освоил наблюдения на 1-м и 6-м телескопах САО РАН и продемонстрировал сочетание качеств, позволяющее выполнять все этапы научного исследования – от постановки задачи и проведения необходимых технических работ до получения наблюдательного материала, его обработки и интерпретации.

Сравнение полученных различными методами данных между собой, а также с ранее опубликованными параметрами исследуемых объектов (там, где это было возможно), подчёркивает тщательность проведённого исследования и **достоверность** полученных результатов. **Научную значимость** имеют как определённые параметры АЯГ и СМЧД в них, так и апробация методики их получения. **Большую практическую значимость** имеет обширный архив обработанных наблюдательных данных для объектов выборки.

Представленная к защите диссертация не лишена и некоторых недостатков.

1. С точки зрения оформления работы – в содержании отсутствует ссылка на заключение, а само заключение является, по сути, перечислением полученных результатов, с минимальным их обсуждением (имеющимся, впрочем, в каждом из разделов, но и там предельно кратким).
2. Обращает на себя внимание крайне скудный обзор, лишённый даже изображения «унифицированной схемы», к которой обращается диссертант в тексте.
3. Для АЯГ LEDA 30958309 полученные углы наклона в  $35^\circ$  и  $45^\circ$  приводятся без какого-либо комментария по точности, при том из точности, получаемой для данного параметра другими методами, можно сделать вывод, что эти решения, вероятно, неотличимы в пределах  $3\sigma$ . Всё это требует комментария в работе.



4. Для АЯГ VII Zw 244 полученный угол наклона  $i \approx 14^\circ$  характерен, скорее, для блазара или промежуточного объекта и требует комментария в связи с упоминаемой автором УС для АЯГ. Этот комментарий приводится в устном докладе, но не отражён в тексте диссертации.

В целом ещё раз хочется отметить малый объём той части работы, где проводится обсуждение полученных результатов и неизбежных вопросов, с ними связанных.

При этом указанные недостатки, во многом, имеют технический характер, не умаляют научных достоинств диссертации и не влияют на результаты, выносимые на защиту.

**Апробация** работы обеспечена выступлениями диссертанта на российских и международных научных конференциях. Основные положения диссертации опубликованы в 6 статьях в ведущих рецензируемых журналах мирового уровня, а также в 10 выступлениях на конференциях, что говорит о высоком уровне работы.

Диссертация Е.А. Малыгина является оригинальным научным исследованием с **новизной** в определении основных физических параметров исследуемых объектов и совмещении различных методик исследования для получения достоверного результата.

Результаты, полученные в диссертации Е.А. Малыгиным, могут быть использованы в ГАИШ МГУ, САО РАН, ИНАСАН, КФУ, КраО, ГАО РАН и в других отечественных и зарубежных организациях, занимающихся исследованиями в области внегалактической астрономии, в частности, изучением АЯГ, СМЧД и развитием инструментальных методов наблюдения этих объектов.

Автореферат полностью соответствует структуре и содержанию диссертации.

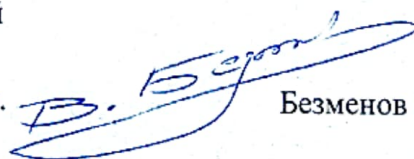
Считаем, что диссертация "**Исследование геометрии и кинематики центральных областей активных галактик**" является завершённым научным исследованием и удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор **Малыгин Евгений Андреевич** заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 – физика космоса, астрономия.

Отзыв подготовлен кандидатом физ.-мат. наук, доцентом кафедры астрономии и космической геодезии Института физики КФУ Жучковым Романом Яковлевичем, обсуждён и утверждён на Астрофизическом Семинаре кафедры астрономии и космической геодезии Института физики Казанского (Приволжского) федерального университета 19-го октября 2023 года.

Жучков Роман Яковлевич, Институт физики КФУ  
ул. Кремлёвская, д. 18, г. Казань, 420008  
телефон (843)-292-77-97  
электронный адрес: gilgalen@yandex.ru



Заведующий кафедрой астрономии и космической геодезии Института Физики Казанского (Приволжского) федерального университета, к.т.н.  
ул. Кремлёвская, д. 18, г. Казань, 420008  
телефон (843)-292-77-97



Безменов В.М.