

## ОТЗЫВ

на диссертацию Малыгина Евгения Андреевича

«Исследование геометрии и кинематики центральных областей активных галактик»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 – физика космоса, астрономия

Диссертационная работа Е.А. Малыгина «Исследование геометрии и кинематики центральных областей активных галактик» выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук, САО РАН. Она состоит из Введения, четырех глав, Заключения, Списка литературы, содержащего 143 наименования. Общий объем диссертации – 94 страницы. В диссертации 22 рисунка и 5 таблиц.

Диссертация посвящена **актуальной** проблеме современной астрофизики. В ней всесторонне исследованы окрестности сверхмассивных черных дыр (СМЧД) – ядер активных галактик, с применением различных оптических наблюдательных методов. Получен целый ряд интересных результатов относительно геометрической структуры и кинематики вещества в центральном оптически неразрешенном парсеке активного галактического ядра. Отдельно хотел бы отметить профессиональный подход к проведению астрофизических наблюдений, включающих в себя многочисленные процедуры калибровок светоприемной аппаратуры и исследование систематических ошибок, влияющих на конечный результат.

Разработанные в САО РАН методы фотометрических, поляриметрических и спектральных наблюдений, а также методы фотометрического эхокартирования и спектрополяриметрии активных галактических ядер успешно применены диссертантом к исследованию центральных областей галактик LEDA 3095839, VII Zw 244, Mrk 335 и Mrk 509. В ходе многолетнего мониторинга первых двух галактик **впервые** измерены размеры BLR-областей, скорости газа, светимости, напряженности магнитного поля на горизонте событий черной дыры, массы СМЧД, получены оценки спина, а также степени зависимости магнитного поля от радиуса аккреционного диска. Для галактик Mrk 335 и Mrk 509 определены расстояния до области экваториального рассеяния континуального излучения из центральных областей активного галактического ядра. Эти результаты диссертации были получены путем сочетания разных экспериментальных методов. Их **достоверность** подтверждается многочисленными проверками и хорошим согласием с оценками

перечисленных параметров центральных областей активных галактик, полученными другими авторами.

Работы Малыгина, вошедшие в диссертацию, докладывались на десяти всероссийских и международных конференциях, опубликованы в шести статьях, цитируются и используются коллегами.

После Введения, содержащего необходимые сведения о диссертационной работе (актуальность темы, цель работы, ее научная новизна и практическая значимость), в Главе 1 дается описание основных характеристик фотометрических, поляриметрических и спектральных наблюдений активных галактических ядер.

В этой Главе автор дает глубокий анализ светоприемной аппаратуры и полностью раскрывает методологические проблемы исследований в оптическом диапазоне компактных областей вокруг активных ядер галактик. На мой взгляд, некоторым недостатком этой Главы является малое количество иллюстративного материала.

Методы фотометрического эхокартирования активных галактических ядер рассмотрены в Главе 2. Подробно описан метод эхокартирования, вычисления времени задержки кривой блеска континуального излучения и реагирующих на него облаков газа в BLR-области. Также приводятся результаты анализа спектральных наблюдений на 6-м телескопе БТА двух галактик – LEDA 3095839 и VII Zw 244.

Глава 3 посвящена спеткрополяриметрическим наблюдениям активных галактических ядер. В основе метода, разработанного Афанасьевым и Поповичем, лежит исследование переключения поляризационного угла вдоль профиля широкой линии излучения, которое происходит при экваториальном рассеянии на пылевом торе. В данной Главе продолжены исследования активных галактических ядер LEDA 3095839 и VII Zw 244 с использованием модифицированного спектрографа SCORPIO-2. В этой же Главе описаны наблюдения поляризации в континууме и в эмиссионных линиях  $H_\alpha$  и  $H_\beta$ , приводятся оценки спина СМЧД, вычисления параметров Стокса, степени поляризации и поляризационного угла, величина магнитного поля, временной задержки в  $H_\alpha$  и  $H_\beta$ , массы СМЧД и болометрической светимости активных ядер.

Поляриметрическое эхокартирование активных галактических ядер изложено в Главе 4. Эта Глава посвящена, в основном, галактикам Mrk 335 и Mrk 509. Поляриметрические параметры этих галактик были уточнены диссертантом. По кривым блеска оценены временные задержки излучения в широкой поляризованной эмиссионной линии относительно переменного континуального потока.

Основные результаты, полученные соискателем ученой степени, перечислены в Заключении.

Переходя к общей оценке диссертационной работы, отметим следующее.

1. **Тщательно отработана методика** поляриметрических и спектрополяриметрических наблюдений активных ядер галактик, что является важным научным достижением.
2. Накоплен **большой наблюдательный материал**, причем вклад диссертанта в получение данных, а также в обработку результатов наблюдений, является доминирующим.
3. Анализ наблюдений позволил получить ряд **новых** важных характеристик СМЧД, надежность которых обеспечивается контролем систематических ошибок в процессе наблюдений, а также использованием современных математических методов обработки временных рядов.

К тексту диссертации имеется несколько замечаний.

1. Рисунок 2.3 – верхние две панели (стр. 38). Поведение модельной кривой для эмиссионной линии в промежутках между датами 289 – 322 и 433 – 505, где отсутствуют наблюдательные данные, вызывает сомнения, поскольку существенное понижение амплитуды в этих промежутках противоречит аналогичной ситуации для кривой изменения континуального излучения в промежутке 305 – 322, в котором также отсутствуют исходные наблюдательные данные, а модельная кривая проведена горизонтально, без резких изменений амплитуды.

Аналогичные горизонтальные участки кривых в промежутках без наблюдательных данных изображены на нижней панели для VII Zw 244.

В то же время, резкое понижение амплитуды кривых блеска в промежутках без измерений можно отметить и для VII Zw 244.

Особый вопрос вызывает деталь модельной кривой для  $H_{\beta}$  в VII Zw 244 при дате  $800 \pm 39$ , форма которой в точности повторяет форму модельной кривой изменения континуума. Однако, для континуума в этом интервале указаны 4 экспериментальных точки, а для линии  $H_{\beta}$  – только 2 крайних.

В какой мере полученные значения временных задержек зависят от указанных особенностей в кривых блеска?

2. Рисунок 4.7 (стр. 75) показывает результаты анализа JAVELIN временной задержки излучения в широкой поляризованной линии относительно переменного континуального потока для Mrk 509. Выделенный узкий пик на  $\tau = 114$  дней получен, фактически, по 9 точкам в интервале 9000 – 9150, что следует из рисунка 4.6 (стр. 74). Однако, на стр. 71 утверждается, что более надежным методом является ZDCF, который считается более робастным при анализе дискретных корреляционных функций. Этот метод не показал значительной корреляции в Mrk 509, как утверждает сам автор на стр. 74.

Возникает вопрос о достоверности пиков на 39 и 85 дней для Mrk 335, полученных с помощью кода JAVELIN, и пика на 114 дней для Mrk 509.

#### Мелкие замечания.

1. Опечатки в тексте: стр. 5 «в настоящее...» – «В настоящее...», «нечасто» – «не часто», стр. 22 – «...положению пикселей по иси» – «...положению пикселей по оси», стр. 59 – «...можно нейти...» – «...можно найти...», стр. 62 – «...данных» – «...данным».
2. Стр. 10 – «14 зв. величины» – следует указать, в каком фильтре.
3. Стр. 13 – «...степени и угла...» – «...степени поляризации и угла...».
4. Стр. 32 – параметр  $f$  в формуле (2.1) – следовало бы дать диапазон возможных значений для этого параметра.
5. Стр. 33 – ссылка на рисунок 2.2 появляется раньше, чем рисунок 2.1, стр. 36 – ссылка на рисунок 2.4 раньше рисунка 2.3.
6. Стр. 39 – «...скорость вращения...» – «...квадрат скорости вращения...», стр. 40 – «Оценка скорости газа...» – «Оценка квадрата скорости газа».
7. Стр. 67 – Таблица 5 – не указаны ошибки измеренных величин.
8. Стр. 68, 75 – «каденция» – сомнительный профессиональный термин, лат. «cado» – «падаю, оканчиваюсь», «cadere» – «падать».
9. Рисунок 4.3 (стр. 70) и рисунок 4.4 (стр. 72) – что означают точки с интервалами неопределенности? Стр. 71 – «...черным цветом и несут дополнительную информацию.» – какую именно?
10. Замечание к ошибкам измерений по всему тексту. Согласно общепринятым правилам, ошибки измерений округляются до первой значащей цифры. Если первая значащая цифра 1, то сохраняется следующий разряд. Например, в Заключение (стр. 79) приведено значение  $R_{BLR} = 54.8+8.4$  (для верхнего индекса), которое следовало бы,

согласно правилам округления, записать как 55+8. Далее, 7.699+0.153 (верхний индекс) должно было быть записано как 7.70+0.15, и т.д.

Разумеется, что перечисленные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы Малыгина Е.А. Считаю, что рассматриваемая диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г., № 842, а ее автор – Евгений Андреевич Малыгин – заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 – физика космоса, астрономия.

Автореферат диссертации правильно отражает ее содержание.

Левшаков Сергей Анатольевич

д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник сектора теоретической астрофизики, Отделение физики плазмы, атомной физики и астрофизики, Федеральное государственное бюджетное учреждение

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук

С.-Петербург, 194021

Политехническая, 26

тел. раб. 292-73-26

e-mail: lev@astro.ioffe.ru

09 октября 2023 г.

 /С.А. Левшаков/

Подпись С.А. Левшакова удостоверяю:

Подпись Левшакова С.А. удостоверяю  
в отделе кадров ФТИ им.А.Ф.Иоффе  
  
М.С. Буселко