

СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета Д002.203.01

протокол N 124 от 06 декабря 2021г.

Председатель:

доктор физ.-мат. наук,
профессор, академик РАН
Балега Юрий Юрьевич

Ученый секретарь:

кандидат физ.-мат. наук
Шолухова Ольга Николаевна

Состав совета – 20 человек, присутствуют – 15:

д.ф.-м.н., Балега Ю.Ю. 01.03.02

д.ф.-м.н., Клочкова В.Г. 01.03.02

к.ф.-м.н., Шолухова О.Н. 01.03.02

д.ф.-м.н., Бескин Г.М. 01.03.02

д.ф.-м.н., Васильев Е.О. 01.03.02

д.ф.-м.н., Глаголевский Ю.В. 01.03.02

д.ф.-м.н., Караченцев И.Д. 01.03.02

д.ф.-м.н., Левшаков С.А. 01.03.02

д.ф.-м.н., Макаров Д. И. 01.03.02

д.ф.-м.н., Мингалиев М.Г. 01.03.02

д.ф.-м.н., Моисеев А.В. 01.03.02

д.ф.-м.н., Панчук В.Е. 01.03.02

д.ф.-м.н., Романюк И.И. 01.03.02

д.ф.-м.н., Трушкин С.А. 01.03.02

д.ф.-м.н., Фабрика С.Н. 01.03.02

Председатель:

Представлена в совет к защите диссертация Е.С. Шабловинской «Исследование центральных областей активных ядер по наблюдениям в поляризованном свете». Работа выполнена в Специальной Астрофизической Обсерватории РАН, научный руководитель - Моисеев Алексей Валерьевич, д.ф.-м.н., в.н.с. САО РАН, официальные оппоненты – Кравченко Евгения Васильевна, к.ф.-м.н. н.с. Астрокосмического центра Учреждения Российской академии наук Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, Киселев Николай Николаевич, д.ф.-м.н., г.н.с. федерального государственного бюджетного учреждения науки «Крымская астрофизическая обсерватория РАН». Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет». Прошу секретаря совета представить ситуацию с документами соискателя.

Секретарь:

С документами всё отлично. Диссертант вовремя всё сдал – экзамены и все требуемые ВАК документы, и может спокойно защищаться.

Председатель:

Есть ли вопросы к секретарю совета? Вопросов по формальной части нет. Тогда, Елена Сергеевна, прошу. Доклад 20 минут.

Шабловинская Е.С.:

Здравствуйте, коллеги, еще раз доброе утро! Надеюсь, что слышно меня хорошо и в зале, и в интернете.

Сегодня я готова представить результаты своей диссертационной работы, выполненной в нашей обсерватории сначала под руководством В.Л. Афанасьева и законченной под руководством А.В. Моисеева.

Предметом исследования стали активные ядра галактик – яркие, компактные области, светимость которых составляет до 90% светимости всей родительской галактики. В настоящее время структуру активных ядер принято рассматривать в рамках Унифицированной модели. При этом различные наблюдаемые типы активных ядер объясняются различной ориентацией системы относительно наблюдателя, а процесс энерговыделения везде один и тот же – это аккреция вещества на центральную сверхмассивную черную дыру. Сегодня мы будем фокусироваться на центральном парсеке – областях, ограниченных пылевым тором

– это его внутренняя граница, область формирования широких линий (область BLR) и релятивистский джет.

Ещё с 60-х годов стало понятно, что по аналогии с Крабовидной туманностью излучение активных ядер должно быть линейно поляризовано. В 70-х линейная поляризация была обнаружена для активных ядер. Однако сегодня мы знаем, что поляризация активных ядер не ограничивается исключительно синхротронным механизмом. В настоящее время механизмы поляризации принято делить на внутренние – связанные с аккреционным диском – и внешние – два типа рассеяния: полярное и экваториальное. В ходе наблюдений некоторые из этих механизмов удается разделить между собой. Именно это позволяет получить дополнительную информацию о структуре и физическом состоянии вещества внутри активных ядер.

Несмотря на то, что в общих чертах положения Унифицированной модели сейчас общеприняты, они фактически подтверждаются, мы все еще далеки от детального понимания всех процессов, происходящих внутри активных ядер. В первую очередь, влияние истечений из центральных областей – это ветры аккреционного диска и BLR – до сих пор еще плохо изучены. В частности, не совсем понятно, каким образом они влияют на состояние поляризации активных и насколько это повлияет на возможность применения спектрополяриметрического метода оценки масс сверхмассивных черных дыр. Кроме того, невозможность прямого разрешения структур центрального парсека активных ядер ведет к необходимости развития методик оценки размеров внутри активных ядер.

Благодаря методам оптической поляриметрии удастся решить, хотя бы частично, некоторые актуальные вопросы, связанные с активными ядрами. Это определило ряд задач, стоявших перед нашей работой:

Построение численной модели экваториального рассеяния в широких линиях УФ-диапазона и сравнение результатов с данными спектрополяриметрических наблюдений с редуктором светосилы SCORPIO-2 первичного фокуса 6-м телескопа БТА.

Разработка нового метода определения размера области экваториального рассеяния для повышения точности спектрополяриметрического метода определения масс СМЧД в АЯГ.

Разработка методов анализа данных длительных поляриметрических мониторингов блазаров для оценки геометрических размеров областей оптического излучения джета.

Введение в эксплуатацию фотометра-поляриметра для 1-м телескопа и его методические исследования для проведения с его помощью высокоточных поляриметрических наблюдений внегалактических объектов.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения.

В первой главе вводится математический формализм параметров Стокса, а также определения степени и угла плоскости поляризации. Поскольку работа носит наблюдательный характер, описываются основные принципы работы анализаторами поляризации, наиболее часто применяемыми в астрономии. Кроме того, даются особенности работы и обработки данных, получаемых с двух приборов – SCORPIO-2 телескопа БТА и «Стокс-поляриметр» 1-м телескопа. Последний был введен в эксплуатацию в начале 2020 года. Прибор новый, поэтому в рамках работы требовалось проведение методических исследований: в частности, здесь представлен нуль-пункт уровня инструментальной поляризации, а также отклонение наблюдаемых параметров поляризации для звезд-стандартов от их табличных значений. В ходе исследований мы показали, что с помощью этого прибора в хороших атмосферных условиях точность измерения поляризации достигает 0.1% для объектов до 16 звездной величины.

Глава 2 посвящена численным моделям поляризации вследствие экваториального рассеяния. В данном случае мы рассматривали простую модель центральных областей, которые при экваториальном рассеянии мы видим в «пылевом зеркале» тора. При этом стояла задача рассмотреть влияние истечений на профиль поляризации широких линий. Для этого в простую модель мы добавили истечение в линии Mg II,двигающееся со скоростью 6000 км/с под углом 60° к экваториальной плоскости. Мы рассмотрели три линии – H α , H β , Mg II – для четырех разных углов наклона системы к наблюдателю. Как видно из полученной численной модели профили всех трех линий похожи друг на друга в поляризованном свете. В данном случае мы больше всего фокусировались на изменении угла поляризации, который S-образную структуру при экваториальном рассеянии. Здесь я представляю результаты для линий H α , которая в основном используется при спектрополяриметрии активных ядер, и Mg II, в которой присутствуют истечения. Видно, в профиле угла поляризации присутствует дополнительный подъем в крыльях профиля, который мы не видим для линии H α , а на плоскости логарифма скорости от логарифма тангенса угла поляризации – именно эта зависимость используется при спектрополяриметрической оценке массы сверхмассивной черной дыры – наблюдается чуть больший разброс модельных точек. Однако показано, что этот разброс дает ошибку оценки массы, не превышающую 35%, что

позволяет нам продлевать делает спектрополяриметрический метод на линии УФ диапазона.

Выводы, сделанные в главе 2, мы применили к галактикам на далеких, как мы называем, красных смещениях, т.е. красных смещениях больше 1. Первый из них – это квазар SBSS 1419+538. Его наблюдали в режиме спектрополяриметрии на БТА в широкой ассиметричной линии Mg II, приходящейся на длину волны примерно 8000Å. Представив данные на плоскости логарифма скорости от логарифма тангенса угла поляризации, мы смогли оценить массу сверхмассивной черной дыры, оказавшуюся равно $5 \cdot 10^9$ масс Солнца. Кроме того, оценили отношение его болометрической светимости к критической, что было сделано для этого квазара впервые.

Вторым объектом выборки стал гравитационно-линзированный квазар Q0957+561. Квазар 1 типа линзируется эллиптической галактикой на красном смещении примерно 0.4; на небесной плоскости наблюдаются два изображения квазара, разделенные 6". Для обоих компонент мы провели спектрополяриметрические наблюдения. Однако ни в одной из широких линий – ни в линии Mg II, ни в линии CIII] – нам не удалось обнаружить признаки экваториального рассеяния. Что говорит либо о наличии некоторой деполяризующей области в квазаре, либо о том, что размер области излучения сравним с областью рассеяния. Однако в этих наблюдениях мы обнаружили другие свойства квазара, которые вообще говоря не являются типичными для гравитационно линзированных систем: во-первых, это систематическая разница состояния поляризации между двумя компонентами, а во-вторых – плавная зависимость поляризации от длины волны.

Мы подтвердили это дополнительными поляриметрическими наблюдениями в широких полосах. Мы предлагаем два наиболее правдоподобных сценария: во-первых, из-за наличия задержки излучения между изображениями квазара примерно в 400 дней могут наблюдаться эффекты прецессии системы диск-джет, либо из-за разного прицельного расстояния могут наблюдаться различные эффекты, в частности, эффекты микролинзирования центральных областей активного ядра, например, аккреционного диска.

Как было показано выше, спектрополяриметрический метод оценки масс, также впервые разработанный в нашей обсерватории, моим первым научным руководителем, чувствителен и требует известного размера области экваториального рассеяния. Обычно принято считать, что это совпадает с размером пылевого тора. В настоящее время существует два метода оценки размера пылевого тора, оба инфракрасные: это инфракрасное эхокартирование и инфракрасная интерферометрия. Однако инфракрасные методы чувствительны к пыли на

достаточно большой оптической толщине, в то время как экваториальное рассеяние происходит при оптической толщине около 1, вблизи радиуса сублимации пыли. Таким образом, область экваториального рассеяния, находится ближе к центральной машине, чем области максимума яркостной температуры в ИК, и дальше, чем области, доступные для оптического эхокартирования. Поскольку при экваториальном рассеянии изначально неполяризованное излучение широких линий, проходящее из области BLR, отражается от пылевого тора и приобретает поляризацию, мы можем измерить задержку поляризованного излучения широкой линии в момент t_3 к наблюдателю относительно излучения неполяризованного континуума, проходящего из аккреционного диска в момент t_1 . Эта задержка будет равна размеру области экваториального рассеяния.

Этот метод – метод поляриметрического эхокартирования в широких линиях – был применен впервые к архивным данным спектрополяриметрического мониторинга галактики Mrk 6, полученным также на нашем телескопе. Была измерена задержка сигнала в поляризованной широкой линии относительно неполяризованного континуума. Эта задержка оказалась равной приблизительно 100 дней, что совпало с теоретическими предсказаниями положения радиуса сублимации пыли и оказалось в 2 раза меньше ранее полученных результатов по данным инфракрасной интерферометрии. Таким образом, мы впервые получили метод, который позволяет напрямую измерять размер области экваториального рассеяния и, в частности, если сравнивать с инфракрасной интерферометрией, продлевать метод на большие красные смещения.

В последней главе мы уходим от формализма экваториального рассеяния. Глава 5 посвящена другому типу объектов – это объекты типа BL Lac, или блазары. В них поляризация имеет синхротронную природу и в оптическом диапазоне генерируется в релятивистской джете на расстоянии менее 0.01 пк от центрального ядра. В качестве объекта изучения мы выбрали один из самых ярких, и потому популярных, блазаров S5 0716+714. Мы провели его поляриметрический мониторинг на БТА, который показал переменность блеска и переменность направления вектора поляризации на QU-плоскости, происходящая с одним и тем же периодом около 1.5 часов, что характеризует линейный размер области излучения порядка 10 а.е. Спустя 2 года мы повторили эти наблюдения на приборе «Стокс-поляриметр» на 1-м телескопе и получили тот же самый результат: изменения блеска направления вектора поляризации с тем же самым 1.5-часовым периодом, что указывает на стабильность излучающей области. Для того чтобы объяснить наблюдаемую нами картину, мы построили простую геометрическую модель конического джета с геликальным магнитным полем. Если добавить к этой

простой модели прецессии с периодом около 15 дней, мы получаем, что модель с хорошей точностью аппроксимирует получаемые нами данные.

Основные положения, выносимые на защиту:

На основе численной модели доказана возможность применения спектрополяриметрического метода оценки масс СМЧД в УФ линии Mg II даже в случае высокоскоростных истечений из ядра.

По данным спектрополяриметрических наблюдений в широкой линии Mg II гравитационно-линзированного квазара Q0957+561 ($z=1.41$) обнаружено, что экваториальное рассеяние не является здесь доминирующим механизмом поляризации излучения. Сделано предположение о возможном комплексном влиянии эффектов микро- и макролинзирования на излучение внутренних областей квазара и прецессии системы диск-джет.

Разработан новый метод определения внутреннего радиуса пылевого тора, основанный на идее эхокартирования в широких эмиссионных линиях в поляризованном свете АЯГ 1-го типа с экваториальным рассеянием. На примере активной галактики Mrk 6 показано, что измеряемый размер области рассеяния соответствует эмпирическим оценкам радиуса сублимации пыли и позволяет значительно уточнить размер пылевого тора относительно оценок, полученных по данным ИК наблюдений.

На основе поляриметрического мониторинга блазара S5 0716+714 обнаружена внутрисуточная переменность блеска и направления поляризации с периодом около 1.5 часов. Построена геометрическая модель поляризованного излучения джета и дана оценка линейным размерам геликального магнитного поля, отождествляемого с излучающей областью размером около 10 а.е. на расстоянии менее 0.01 пк от ядра. Стабильность области формирования оптического поляризованного излучения подтверждена повторными наблюдениями на телескопе Цейсс-1000 с прибором "Стокс-поляриметр".

Исследованы параметры разработанного и введенного в строй фотометра-поляриметра для 1-м телескопа САО РАН "Стокс-поляриметр". Продемонстрирована возможность реализации с этим прибором точности измерения линейной поляризации 0.1-0.2% для объектов до 16 зв.в.

Научная новизна:

Впервые проведено численное моделирование поляризации излучения вследствие экваториального рассеяния излучения широкой линии Mg II в случае высокоскоростных истечений из центральных областей активного ядра.

Впервые признаки экваториального рассеяния были найдены в поляризованном свете в спектральной линии Mg II в квазаре SBSS 1419+538, что позволило также впервые применить спектрополяриметрический метод измерения массы СМЧД к объекту на красном смещении больше 1.

Впервые обнаружена систематическая разница между состоянием поляризации двух компонент гравитационно-линзированного квазара Q0957+561, а также зависимость поляризации континуума в компонентах от длины волны.

Впервые предложен метод поляриметрического эхокартирования в широких линиях АЯГ 1-го типа с экваториальным рассеянием, позволяющий напрямую оценивать размер области экваториального рассеяния.

Впервые на основе высокоточного поляриметрического мониторинга с высоким временным разрешением блазара S5 0716+714 сделана оценка линейного размера геликального магнитного поля на расстоянии менее 0.01 пк от ядра, отождествляемого с излучающей областью, около 10 а.е.

Научная и практическая значимость:

Численный расчет поляризации вследствие экваториального рассеяния в УФ линии Mg II показал возможность применения спектрополяриметрического метода оценки масс СМЧД даже в присутствии высокоскоростных истечений из ядра, на основе чего метод был успешно применен к исследованиям двух галактик на красных смещениях больше 1.

Представленный в диссертации новый метод эхокартирования в широких поляризованных линиях позволяет получать прямые оценки размера области экваториального рассеяния (или внутреннего радиуса пылевого тора) в АЯГ 1-го типа. Это позволяет повысить точность спектрополяриметрического метода оценки масс СМЧД и дать более точные оценки радиуса сублимации пыли в АЯГ по сравнению с данными наблюдений в ИК диапазоне.

Полученные в диссертации данные длительного поляриметрического мониторинга объекта типа VL Lac демонстрируют возможность получения оценки линейных размеров оптически неразрешаемых областей джета вблизи СМЧД.

Работа была представлена на семинарах нашей и других обсерваторий, а также более десяти раз на все российских и международных конференциях лично диссертантом.

Результаты, представленные в данной работе, описаны в 6 статьях, опубликованных в рецензируемых российских и зарубежных журналах.

Личный вклад состоял в получении наблюдательного материала, в обработке и анализе получаемых данных, в случае блазаров – построение геометрической модели поляризации в джете, в случае сейфертовских галактик – разработка методов оценки радиуса сублимации пыли, а также введение в эксплуатацию и методическая работа с новым поляриметром для 1-м телескопа.

Председатель:

Спасибо! Давайте попробуем задавать вопросы, используя это устройство. Вопросы к докладчику?

Левшаков С.А.:

У меня такой маленький вопрос. Вы не могли бы несколько слов сказать, что имеется в виду под численными моделями?

Шабловинская Е.С.:

Вы имеете в виду в случае экваториального рассеяния?

Левшаков С.А.:

Да, то, что у вас вынесено в достижения. Это гидродинамические модели, перенос излучения? Какие характеристики вашей модели?

Шабловинская Е.С.:

Это численная модель методом Монте-Карло. Моделируется излучение в однородной области формирования широких линий. То есть, моделируется точечный континуальный источник – аккреционный диск, дающий ионизационное излучение, возбуждающее вещество в области формирования широких линий. Там моделируется процесс переноса излучения, после этого моделируется отражение фотона от границы пылевого тора и получение поляризации. Потом под разными углами наклона мы смотрим, какое количество фотонов как именно поляризовано. Это то, что мы получаем для каждой широкой линии – определенные свойства поляризации для каждой длины волны.

Левшаков С.А.:

А сам тор у вас стабильный или дышит?

Шабловинская Е.С.:

Стабильный, в данном случае – стабильный.

Председатель:

Так, ещё вопросы, коллеги?

Васильев Е.О.:

А можно продолжение предыдущего вопроса? Этот тор, он однородный?

Шабловинская Е.С.:

В данном случае – да.

Васильев Е.О.:

То есть, вот, профили достаточно однородные. Но известно, что торы вообще-то турбулентные. Насколько оно изменит модель и насколько это можно видеть в наблюдениях? Спасибо.

Шабловинская Е.С.:

Спасибо большое за вопрос. Это действительно некоторый задел на будущее. В данном случае мы рассматривали и пылевой тор однородным, и область формирования широких линий, которая вообще говоря тоже неоднородна и состоит из отдельных облаков. Действительно, следующий шаг, который мы планируем сделать в будущем – это расширить модель на более клочковатую структуру. В настоящий момент передовой край науки, который занимается этим, они пытаются включить движения пыли внутри тора – пылевые истечения в конусе, в растворе тора. Но в данном случае мы рассматривали достаточно простую модель, которая все равно сошлась с наблюдательными данными.

Председатель:

Спасибо, ещё вопросы есть, коллеги?

Бескин Г.М.:

Два вопроса у меня – по двойному квазару и по блазару. По двойному квазару: там же галактика рядом, в 1''? Какая её возможная роль – обнаруживаемая или не обнаруживаемая – в поляризации с учетом микролинзирования, поглощения, возможной деполяризации? Это первый вопрос. И второй я сразу задам: какие минимальные времена переменности были для блазара зарегистрированы? Что на эту можно сказать – не только о периоде, но и о дребезге, его роли? Спасибо.

Шабловинская Е.С.:

Спасибо большое! Я начну с первого вопроса про гравлинзированный квазар. В спектре мы видим вклад спектра эллиптической галактики – мы даже смогли его экстрагировать из наблюдаемых спектров компонент. Однако, поскольку галактики

– существа в общем-то неполяризованные, поэтому в поляризованном свете это не накладывает дополнительного эффекта. Это может, скорее, деполяризовать излучение, но, так как это сложно разрешимая система, пока не совсем понятно, есть ли этот эффект. Скорее всего, нет. Мы всё-таки стараемся объяснить наблюдения либо эффектом прецессии, либо микролинзированием, а вот тут уже поляризация галактики не так важна. Касательно второго вопроса по блазару S5 0716+714, стоит действительно сказать, что в 90-х годах именно этот блазар наблюдался у нас в обсерватории моими старшими коллегами. Тогда было показано, что у этого блазара есть переменность – уже тогда были намеки на часовой период. В той же статье и в статье позже говорилось, что, кажется, существует эффект более короткой переменности – 15-минутной, некоторые другие оптические работы говорят, что чуть ли не минутная переменность. Однако говорить об этом достаточно сложно – всё-таки если мы говорим о внегалактических объектах, мы ожидаем переменности намного больше одной минуты, а вот минутная переменность, скорее всего, связана с эффектами атмосферными. По крайней мере, мы их так интерпретируем. Если говорить о других диапазонах, то, например, в рентгеновском диапазоне есть работы, подтверждающие переменность порядка нескольких минут.

Председатель:

Спасибо, ещё вопросы, коллеги? Есть такой вопрос. Вот в пункте 4 у вас говорится о том, что стабильность области формирования поляризованного излучения блазара подтверждается наблюдениями на Цейссе. Как это понимать? В чем стабильность области? Что это такое?

Шабловинская Е.С.:

Спасибо! Сейчас поясню. В данном случае, в этой главе я основываюсь на двух эпохах наблюдений: одна была проведена в 2018 году на БТА, и тогда мы впервые нашли 1.5-часовой период переменности; спустя два года точно такой же эксперимент с точно такой же продолжительностью наблюдений, с таким же временным разрешением мы провели на метровом телескопе. Получив тот же самый период переменности, мы можем сказать, что та область, которая отвечает за линейно поляризованное оптическое излучение, по крайней мере, её размер остался точно таким же.

Председатель:

Спасибо! Так, вопросы ещё есть, коллеги? В интернете, кто у нас там дистанционно находится? Никто, интернет молчит. Еще вопросы, коллеги? Нет. Спасибо, тогда переходим к отзыву научного руководителя.

Моисеев А.В.:

(отзыв научного руководителя Моисеева А.В.)

Председатель:

Спасибо! Поскольку вопросов научному руководителю мы не задаем, то переходим к заключению с места выполнения работы.

Секретарь:

(заключение с места выполнения работы)

Председатель:

Спасибо! Ольга Николаевна, отзывы на автореферат поступили?

Секретарь:

На автореферат отзывы не поступали.

Председатель:

Тогда переходим к отзыву ведущей организации.

Секретарь:

(отзыв ведущей организации)

Шабловинская Е.С.:

Кратко отвечу на замечания. Я поблагодарила лично В.А. Гаген-Торна, автора этого отзыва, и поблагодарю его здесь. Действительно, ряд замечаний, которые он высказывает как опытный поляриметрист, как человек, который много работал, в частности, и с объектом S5 0716+714, его замечания очень ценны. Последнее из замечаний – о несоответствии параметров Q и U на графике и на рисунке. Как сказано в тексте, на графике обозначены инструментальные величины параметров Стокса, а на рисунке вектор Стокса домножен на матрицу поворота. Форма зависимости при этом не меняет, а величины, действительно, несколько другие.

Председатель:

Спасибо! Переходим к отзывам официальных оппонентов.

Кравченко Е.В.:

Я добавлю немножко от себя. Я буду и читать, и дополнять, потому что хотела бы сказать побольше. Действительно, я думаю, все из вас слышали, что был существенный прорыв в последние годы сделан по изучению внутренних областей

активных ядер, в том числе благодаря телескопу горизонта событий, который сейчас представляет все новые результаты, и, конечно, это результаты РадиоАстрона, но все равно для детального изучения доступны порядка десятка активных ядер. Близко подойти к окрестностям черных дыр невозможно. Одним из самых существенных методов, позволяющих это сделать – это наблюдения мазеров, но это тоже ограничивается десятком активных ядер. Поэтому то, что выполняется в диссертации Еленой Сергеевной – это, безусловно, актуально, поскольку реально можно оценивать кинематику и параметры внутренних областей, что существенно влияет на понимание того, что там происходит, и позволяет производить дальнейшие расчеты и анализ.

(отзыв оппонента Е.В. Кравченко)

Шабловинская Е.С.:

Я кратко поблагодарю оппонента за свежий, не оптический, радиоастрономический взгляд на проделанную работу.

Председатель:

Если нет претензий к представленным замечаниям, тогда продолжаем нашу работу.

Киселев Н.Н.:

(отзыв оппонента Н.Н. Киселева)

Шабловинская Е.С.:

Я благодарю Н.Н. Киселева за действительно ценные замечания, особенно в отношении методики поляриметрии. В будущем мы действительно учтем их. Касательно шестого пункта замечаний, про экспозицию, необходимую для достижения с помощью Стокс-поляриметра точности 0.1% – речь идет об экспозициях порядка 3-4 часов.

Председатель:

Коллеги, теперь мы переходим к общей дискуссии. Прошу желающих высказаться.

Караченцев И.Д.:

Я не могу повторять уже многократно отмеченные замечательные достоинства диссертации – не буду тратить время. Я с удовольствием брошу белый шар в корзину. Я хочу дать краткую историческую справку о первом гравитационной линзе. Гравитационные линзы были предсказаны Альбертом Эйнштейном более ста

лет. Ситуация с ними находилась в спящем состоянии более полувека. В 1964 году в Monthly Notices появилась статья норвежского астронома Рэфсдала, который конкретно указал, какие могут быть звездные величины у гравитационно линзированных объектов, какие угловые расстояния, что это можно наблюдать. Я хорошо помню, потому что в 1964 году меня как аспиранта В.А. Амбарцумян попросил вникнуть в эту работу и доложить на семинаре. Следующий момент: 1976, апрель. Мало кто знает, что исторически первый снимок первой гравитационной линзы был получен на БТА с помощью английской электронной камеры, которую Браун и его коллега привезли для оптического отождествления радиоисточников. Погода была не очень хорошая, изображения были так себе, так что эти снимки не публиковались, но снимок этот был получен научным руководителем – Виктором Леонидовичем Афанасьевым. Ну а сейчас Елена Сергеевна внесла значительный вклад в исследование этой первой гравитационной линзы, так что, получается, что Елена Сергеевна находится на расстоянии трех мысленных рукопожатий от Альберта Эйнштейна. Надеюсь это обстоятельство не вскружит ей голову.

Мингалиев М.Г.:

Коллеги, нам представлена была прекрасная работа, прекрасно выполненная. Особенно радует, что это делают наши молодые коллеги наших старых, на не выкинутых на свалку инструментах. Игорь Дмитриевич напомнил, что на этот объект обращали внимание еще чуть раньше. У меня пожелание еще более активно стараться смотреть на наши инструменты. Активные ядра галактик также исследуются в радиодиапазоне на наших инструментах, нашими коллегами. Остается внутреннее сожаления, что это еще плохо развито. Остается надеяться, что такие люди, которые представляют такие работы – уже было сказано в обсуждении, что уже планируется многое, будут продолжать и расширять это направление. Я призываю коллег проголосовать за работу, а кандидат, который претендует на это звание, его заслуживает.

Додонов С.Н.:

Я очень рад, что Елена Сергеевна представила свою работу. Она мне очень понравилась, хотя я её слышу не первый раз. Более того, я хочу подчеркнуть, что сейчас у нас в лаборатории идет смена поколений – вы, наверное, заметили. У нас появляются молодые талантливые сотрудники, которые представляют такие работы. Она активный наблюдатель, очень активный – надо бы немножко её притормозить, чтобы здоровья хватило подольше работать, и человек, который, более того, занимается методикой, что нехарактерно сейчас для нашей обсерватории – методики у нас практически не осталось, кроме нашей лаборатории. Тут я должен сказать я должен сказать, что Елена Сергеевна большой молодец в

этом плане – даже если она не все сама руками делает, мальчиков она привлекает очень активно. Я поддерживаю эту работу двумя руками и, думаю, Виктор Леонидович тоже был бы рад услышать эту работу в полном объеме. Предлагаю проголосовать за.

Панчук В.Е.:

Я постараюсь сохранить тональность, присущую более к вечернему мероприятию. Взгляд со стороны: я хотел бы остановиться на соотношении наблюдений и теории. Сколько мы работаем, занимаясь звездной спектроскопией – ну, сейчас это не доминирующее направление, – мы всегда слышим: вы не учли отклонение от ЛТР, вы там не учли другого... Как правило, эти замечания идут от столичных университетов, которые, как правило, не так часто добегают до телескопа. Основной задачей сотрудника обсерватории я считал, считаю и буду считать – это получение новых фактов. Дальше, если у вас достаточно сил и времени заниматься теорией – пожалуйста, но наша функция здесь, даже если это будет феноменологический уровень – увидеть первыми, показать первыми и поддерживать соответствующие технологии. Достоинства этой работы – это достоинства всей обсерватории: это приемники, о которых тут ничего не было сказано – без приемников, созданных в обсерватории, ничего бы этого не было, это технологии, которые развивал Афанасьев всю свою сознательную жизнь. Эксперименты, поставленные так, что они дали результат. Не все наши программы и эксперименты поставлены так, что они дают такой сильный и яркий результат. Ну и небольшая историческая реминисценция: когда-то планировалось, что вокруг БТА будет эскадра телескопов, которые будут поддерживать БТА и помогать ему что-то делать. В реальности получился только один телескоп. Когда обсерватория писала бумаги на его приобретение в конце 70-х – начале 80-х годов, говорилось, что метровый телескоп будет работать в паре с БТА. Де-факто получилось немножко по-другому: это стал самостоятельный телескоп со своей аппаратурой, очень редко по задачам пересекающийся с БТА. И вот в данной работе мы вернулись к первой изначальной идее и чуть-чуть оправдались перед людьми, которых уже нет. Меня, конечно, поражают цифры. Хотя я и не знаю, что такое галактика 16 величины, поражают цифры по накоплению, потому что в поляриметрии надо еще знать, что может вам дать и что может отобрать атмосфера. Я, конечно, очень высоко ценю отзывы крымских специалистов по поляриметрии, ну а языковые претензии от университета, который подготовил нам специалиста – ну, это они не доучили культурному русскому языку сами, а у нас уже в лесу это дело не поправить. Я призываю членов совета высоко оценить работу и пожелать дальнейших успехов и достижений.

Пустильник С.А.:

Добрый день, коллеги! Я хотел бы тоже присоединиться к высокой оценке представленной диссертационной работы Елены Сергеевны. Мне хотелось подчеркнуть, что у нас не так часто появляются работы, где присутствует синтез исследований – и моделирование, и высококачественные наблюдения, и их анализ, и участие в разработке и методическом исследовании новых приборов. Это, мне кажется, один из очень немногих случаев. В этом, конечно, огромная заслуга научных руководителей и вклад самого диссертанта, безусловно, выше всех похвал. Я хотел немножко лично добавить свои ощущения, что этот блазар S5 0716+714 тоже когда-то начали здесь исследовать на БГА с привозным поляриметром Минипол. Было приятно увидеть, как на новом приборе с новыми возможностями и новым подходом, моделированием, насколько эта работа оказалась продвинута. Я счастлив это увидеть и подчеркнуть. Выше всех планок, которые предъявляются к кандидатской работе.

Председатель:

Заключительное слово соискателя.

Шабловинская Е.С.:

Благодарю диссертационный совет за проделанную работу. Также выражаю благодарность авторам отзывов на мою работу – Е.В. Кравченко, Н.Н. Киселеву; Санкт-Петербургскому университету в лице В.А. Гаген-Торна и В.М. Ларионова; администрацию САО в лице Е.И. Кайсиной, А.В. Панчук, В.В. Власюка; инженеров САО, сотрудников ЛОН и ЛПР; соавторов – Л. Попович, Дж. Савич; коллег по лаборатории СФВО; самая большая моя благодарность – моим научным руководителям: А.В. Моисееву и В.Л. Афанасьеву.

Председатель:

Предлагаю утвердить счетную комиссию в составе Васильева Е.О., Макарова Д.И., Трушкина С.А. Единогласно? Члены совета, переходим к голосованию.

(проводится процедура тайного голосования)

Председатель:

Слово председателю счетной комиссии Трушкину С.А.

Трушкин С.А.:

Протокол номер 124 от 6 декабря 2021 года. Заседание счетной комиссии, избранной диссертационным советом Д 002.203.01. Состав избранной комиссии:

Трушкин, Макаров, Васильев. Комиссия избрана для подсчета голосов при тайном голосовании по диссертации Шабловинской Е.С. на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Состав диссертационного совета утвержден в количестве 20 человек на срок действия номенклатуры специальностей научных работников приказом Минобрнауки России от 2.11.2012 г. №174/нк. Состав совета изменен приказом Минобрнауки РФ № 486/нк от 26 мая 2021 г.

Присутствовало на заседании 15 членов совета, в том числе докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации 14. Роздано бюллетеней 15. Оказалось в урне бюллетеней 15. Результаты голосования по вопросу о присуждении ученой степени кандидата физ.-мат. наук Шабловинской Е.С.: за – 14, против – 0, недействительных – 1.

Председатель:

Нам надо утвердить протокол. Кто за то, чтобы утвердить протокол, прошу голосовать. Кто против утверждения? Кто воздержался? Принимается. Таким образом, можно поздравить! Коллеги, нам предстоит поработать над заключением.

(члены совета обсуждают проект заключения)

Председатель:

Коллеги! Есть еще замечания? Нет? Тогда эти замечания принимаются и учитываются. Утверждаем открытым голосованием это заключение. Нет возражений коллеги? Нет, единогласно. Все, спасибо большое всем за работу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.203.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ
СПЕЦИАЛЬНОЙ АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 6 декабря 2021 г. № 124

О присуждении Шабловинской Елене Сергеевне, Российская Федерация, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Исследование центральных областей активных галактик по наблюдениям в поляризованном свете» по специальности 01.03.02 – «Астрофизика и звездная астрономия» принята к защите 4 октября 2021 г., протокол № 121, диссертационным советом Д002.203.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Специальной Астрофизической Обсерватории Российской академии наук, Российская академия наук, 369167, КЧР, Зеленчукский район, п. Нижний Архыз.

Соискатель, Шабловинская Елена Сергеевна, 1996 года рождения, в 2018 году окончила Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», с 01.09.2018 г. по 31.08.2021 г. проходила обучение в очной аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Специальной Астрофизической Обсерватории Российской академии наук, на данный момент работает в должности младшего научного сотрудника в лаборатории спектроскопии и фотометрии внегалактических объектов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Специальной Астрофизической Обсерватории Российской академии наук.

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Специальной Астрофизической Обсерватории Российской академии наук.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории спектроскопии и фотометрии внегалактических объектов САО РАН, Моисеев Алексей Валерьевич.

Официальные оппоненты:

1. Киселев Николай Николаевич, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Крымская астрофизическая обсерватория РАН»;

2. Кравченко Евгения Васильевна, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Физический институт имени П. Н. Лебедева Российской академии наук»;

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург, в своем положительном заключении, подготовленном доктором физико-математических наук, заведующим кафедрой астрофизики математико-механического факультета Санкт-Петербургского Государственного Университета Гаген-Торном В.А., одобренном на семинаре кафедры астрофизики 11 ноября 2021 года, утвержденном проректором по научной работе Санкт-Петербургского Государственного Университета кандидатом физико-математических наук С.В. Микушевым, указала, что диссертация является законченным научным исследованием, удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – «Астрофизика и звездная астрономия», а ее автор Шабловинская Е.С. безусловно заслуживает присуждения ей искомой степени.

Соискатель имеет 6 опубликованных работ по теме диссертации (общим объемом 48 страниц), напечатанных в рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК. Наиболее значимые научные результаты по теме диссертации опубликованы в работах:

1. Shablovinskaya E. S., Afanasiev V. L.; "The intraday variations of the polarization vector direction in radio source S5 0716+714", Mon. Not. R. Astron. Soc., Vol. 482, Issue 4, pp. 4322-4328 (2019)
2. Shablovinskaya E., Afanasiev, V.; "Intraday variability of the polarization vector in AGN S5 0716+714", Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso, Vol. 50, Issue 1, pp. 341-349 (2020)

3. Shablovinskaya E. S., Afanasiev V. L., Popovic L. C.; "Measuring the AGN Sublimation Radius with a New Approach: Reverberation Mapping of Broad Line Polarization", *Astrophys. J.*, Vol. 892, Issue 2, p. 118 (2020)
4. Savic D., Popovic L. C., Shablovinskaya E., Afanasiev V. L.; "Estimating supermassive black hole masses in active galactic nuclei using polarization of broad Mg II, H α , and H β lines", *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, Vol. 497, Issue 3, pp. 3047-3054 (2020)
5. В. Л. Афанасьев, Е. С. Шабловинская, Р. И. Уклеин, Е. А. Малыгин; "Стокс-поляриметр для 1-метрового телескопа", *Астрофиз. Бюл.*, том 76, 1, с. 120–126 (2021)
6. Popovic L. C., Afanasiev V. L., Shablovinskaya E. S., Ardilanov V. I., Savic Dj.; "Spectroscopy and polarimetry of the gravitationally lensed quasar Q0957+561", *A&A*, Vol. 647, id.A98, 11 pp. (2021)

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается темой исследования, высокой компетентностью в вопросах, рассматриваемых в диссертационной работе.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- 1) была построена численная модель поляризации излучения вследствие экваториального рассеяния в широкой линии Mg II, успешное применение которой к спектрополяриметрическим наблюдениям квазара SBSS 1419+538, проведенным на SCORPIO-2, позволили уточнить массу центральной сверхмассивной черной дыры;
- 2) впервые обнаружена систематическая разница между состоянием поляризации двух компонент гравитационно-линзированного квазара Q0957+561, а также зависимость поляризации континуума в компонентах от длины волны;
- 3) впервые предложен метод поляриметрического эхокартирования в широких линиях АЯГ 1-го типа с экваториальным рассеянием, позволяющий напрямую оценивать размер области экваториального рассеяния;
- 4) впервые на основе высокоточного поляриметрического мониторинга с высоким временным разрешением блазара S5 0716+714 сделана оценка линейного размера оптического джета на расстоянии менее 0.01 пк от ядра.

Теоретическая значимость диссертационной работы обоснована тем, что результаты, полученные соискателем, могут быть применены при разработке численных

моделей истечений и сублимации пыли в центральных областях активных галактических ядер.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

1. Численное моделирование величины поляризации вследствие экваториального рассеяния в УФ линии Mg II показало возможность применения спектрополяриметрического метода оценки масс СМЧД даже в присутствии высокоскоростных истечений из ядра, на основе чего метод был успешно применен к исследованиям двух галактик на красных смещениях больше 1.
2. Представленный в диссертации новый метод эхокартирования в широких поляризованных линиях позволяет получать прямые оценки размера области экваториального рассеяния (или внутреннего радиуса пылевого тора) в АЯГ 1-го типа. Это позволяет повысить точность спектрополяриметрического метода оценки масс СМЧД и дать более точные оценки радиуса сублимации пыли в АЯГ по сравнению с данными наблюдений в ИК диапазоне.
3. Полученные в диссертации данные длительного поляриметрического мониторинга объекта типа VL Lас демонстрируют возможность получения оценки линейных размеров оптически неразрешаемых областей джета вблизи СМЧД.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

Достоверность опубликованных результатов обусловлена применением различных методов обработки наблюдательных данных и сопоставлением их результатов, учётом выводов других авторов при интерпретации данных. Все основные результаты опубликованы в рецензируемых журналах.

Личный вклад автора во всех статьях равен вкладу других соавторов. Автор участвовал в первичной обработке данных, полученных со спектрографом SCORPIO-2 в различных наблюдательных режимах с помощью пакетов программ в программной среде IDL; проводил наблюдения с поляриметром StoP на 1-м телескопе Цейсс САО РАН, принимал активное участие в обсуждении и формулировке полученных результатов.

На заседании 06 декабря 2021 г. диссертационный совет принял решение присудить Шабловинской Елене Сергеевне ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования, диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 14 докторов наук по специальности 01.03.02, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 14, против - 0, недействительных бюллетеней - 1.

Председатель диссертационного совета

Академик РАН



Балега Ю.Ю.

Ученый секретарь

диссертационного совета

Шолухова О.Н.

06 декабря 2021 г.