

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. П.Н. ЛЕБЕДЕВА РАН

СТЕНОГРАММА
ЗАСЕДАНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
Д 24.1.262.02

03 апреля 2024 года

Защита диссертации
Зобниной Дарьи Игоревны
на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.1 «Физика космоса, астрономия»

*“Многодиапазонные исследования линейной поляризации и ее
переменности в активных ядрах галактик”*

Присутствовали члены диссертационного совета:

Новиков И.Д., д.ф.-м.н., член-корр. РАН, 1.3.1, физ.-мат. науки, председатель диссертационного совета

Лихачев С.Ф., д.ф.-м.н., 1.3.1, техн. науки, заместитель председателя диссертационного совета

Тюльбашев С.А., д.ф.-м.н., 1.3.1, физ.-мат. науки, заместитель председателя диссертационного совета

Шахворостова Н.Н., к.ф.-м.н., 1.3.1, техн. науки, учёный секретарь диссертационного совета

Андрианов А.С., к.ф.-м.н., 1.3.1, техн. науки

Васильев Е.О., д.ф.-м.н., 1.3.1, физ.-мат. науки

Вибе Д.З., д.ф.-м.н., профессор РАН, 1.3.1, физ.-мат. науки

Занин К.А., д.т.н., 1.3.1, техн. науки

Каленский С.В., д.ф.-м.н., 1.3.1, техн. науки

Ковалев Ю.А., д.ф.-м.н., 1.3.1, техн. науки

Лутовинов А.А., д.ф.-м.н., член-корр. РАН, 1.3.1, физ.-мат. науки (*присутствует удалённо*)

Новиков Д.И., д.ф.-м.н., 1.3.1, техн. науки

Пилипенко С.В., к.ф.-м.н., 1.3.1, физ.-мат. науки

Попов М.В., д.ф.-м.н., 1.3.1, техн. науки (*присутствует удалённо*)

Пушкарев А.Б., д.ф.-м.н., профессор РАН, 1.3.1, физ.-мат. науки (*присутствует удалённо*)

Слемзин В.А., д.ф.-м.н., доцент, 1.3.1, физ.-мат. науки

Председатель заседания – доктор физико-математических наук, председатель диссертационного совета И.Д. Новиков.

Секретарь заседания – кандидат физико-математических наук, учёный секретарь диссертационного совета Н.Н. Шахворостова.

Заседание проводится с участием членов диссертационного совета в удалённом интерактивном режиме. Распорядительный акт директора ФИАН Колачевского Н.Н. о проведении заседания диссертационного совета с участниками в удалённом интерактивном режиме находится в приложении №1 к стенограмме.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Добрый день, коллеги. Давайте начнем заседание нашего совета. Сегодня у нас защита докторской диссертации.

СЕКРЕТАРЬ: Кандидатской.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Извините. Кандидатской диссертации Дарьи Игоревны. Пожалуйста, я попрошу ученого секретаря огласить формальные данные. Во-первых, данные о присутствующих. И все прочее. Пожалуйста.

СЕКРЕТАРЬ: Хорошо. Спасибо, Игорь Дмитриевич. Я по правилам должна огласить, что сегодня 3 апреля, 12 часов. Начинаем заседание по защите Дарьи Игоревны Зобниной. Диссертация на степень кандидата наук по физико-математическим наукам. Сейчас на заседании присутствуют 18 членов диссовета. Из них 5 человек присутствуют удалённо, 13 человек присутствуют в зале, лично. Кворум есть. Название диссертации: “Многодиапазонные исследования линейной поляризации и её переменности в активных ядрах галактик”. Специальность 1.3.1 — “Физика космоса, астрономия”, физико-математические науки. Диссертация выполнена в Астрокосмическом центре, Физический институт им. Лебедева Российской академии наук. В период подготовки диссертации Зобнина Дарья Игоревна работала в Астрокосмическом центре в должности младшего научного сотрудника. Научный руководитель – доктор физико-математических наук Пушкарев Александр Борисович, профессор РАН, ведущий научный сотрудник лаборатории “Радиоастрономии и внегалактических исследований” Крымской астрофизической обсерватории РАН. Ведущая организация по диссертации — Московский государственный университет им. Ломоносова (Государственный астрономический институт им. Штернберга, как подразделение МГУ). Оппонентами являются Байкова Аниса Талгатовна, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Главной (Пулковской) астрономической обсерватории РАН, город Санкт-Петербург, и Сотникова Юлия Владимировна, кандидат физико-математических наук, заместитель директора по научной работе

Специальной астрофизической обсерватории РАН, Карачаево-Черкесская Республика. Теперь я по регламенту, Игорь Дмитриевич, должна зачитать основные выдержки из представленных документов.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Да, пожалуйста.

СЕКРЕТАРЬ: В аттестационном деле Дарьи Игоревны имеются все документы согласно требованиям ВАК. Это диплом о высшем образовании, справка о кандидатских экзаменах, заключение организации и все требуемые отзывы. Все отзывы поступили в срок. И они все положительные, удовлетворяют установленным требованиям. Соискатель Зобнина Дарья Игоревна 1994 года рождения в 2018 году окончила с отличием Московский государственный университет им. Ломоносова физический факультет по специальности «Астрономия». Дарья Игоревна обучалась в очной аспирантуре Физического института Академии наук в период с 24 октября 2018 г. по 23 октября 2022 г. по специальности 1.3.1 «Астрофизика и звездная астрономия». Справка об обучении в аспирантуре и сдачи кандидатских экзаменов № 31-22 выдана 12 октября 2022 г. в Физическом институте им. Лебедева. Экзамены сданы все на “отлично”: английский язык, история и философия науки и специальность “Физика космоса, астрономия”. Все экзамены сданы на “отлично”. В настоящее время соискатель работает младшим научным сотрудником в Физическом институте им. Лебедева.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Теперь мы предоставляем слово Дарье Игоревне для доклада по диссертации.

ЛУТОВИНОВ А.А.: Игорь Дмитриевич, я прошу прощения, Надежда. Там у Игоря Владимировича опять нет изображения. Это не будет ли потом проблемой?

СЕКРЕТАРЬ: Да, я вижу. Спасибо, что сказали. Значит, тогда у нас технический перерыв 5 минут на восстановление связи с двумя членами диссовета: Игорь Владимирович Чашей и Валерий Михайлович Малофеев. Тогда прошу прощения. Технический перерыв 5 минут.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Тогда объявляем технический перерыв 5 минут.

Технический перерыв для восстановления связи с двумя членами диссовета, присутствующими в удалённом интерактивном режиме. Во время технического перерыва связь восстановить не удалось.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Давайте закончим наш технический перерыв. И теперь я попрошу нашего учёного секретаря нашего заново объявить о тех трудностях, которые у нас возникли.

СЕКРЕТАРЬ: Спасибо. Итак, у нас произошли технические неполадки у двух удалённых участников членов диссертационного совета: Игорь Владимирович Чашей и Валерий Михайлович Малофеев, которые подключаются из Пущино. Значит теперь они у нас выбывают. И из кворума, соответственно, тоже выбывают.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: В связи с объективными причинами.

СЕКРЕТАРЬ: Да, в связи с объективными причинами, технические неполадки. Но, тем не менее, кворум 16 человек из 20 у нас остаётся. То есть кворум есть, и мы можем продолжать заседание с этого момента.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Давайте, продолжим наше заседание. Ещё раз предоставляем слово диссертанту для доклада.

ДОКЛАД СОИСКАТЕЛЯ

СОИСКАТЕЛЬ:

Слайд 1

Добрый день, коллеги. Меня зовут Дарья Зобнина и тема моей диссертации “Многодиапазонные наблюдения линейной поляризации и ее переменности в активных ядрах галактик”. Мой научный руководитель Александр Борисович Пушкарев.

Слайд 2

Целью моей диссертации является исследование конфигурации и степени упорядоченности магнитного поля релятивистских струй активных ядер галактик,

а также изменения со временем этих характеристик поля вдоль и поперек струй. Диссертация состоит из Введения, двух Глав, Заключения и Приложения. Первая Глава посвящена поиску активных ядер галактик с ярким оптическим джетом и определению конфигурации магнитного поля в этих джетах, используя информацию об оптической линейной поляризации и радио-оптических сдвигах координат. А вторая Глава посвящена изучению конфигурации и степени упорядоченности магнитного поля парсековых струй, а также пространственно-временных изменений этих параметров магнитного поля.

Слайд 3

Перейдем к первой Главе, которая посвящена активным ядрам галактик с яркими оптическими джетами. Астрометрическое положение активного ядра можно определить, используя методы радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами. В этом случае определяется положение самой яркой компактной области активного ядра галактики. Также координаты активного ядра можно измерить, измеряет оптический космический телескоп Gaia. Но в этом, в этом случае определяется положение центроида всего изображения. И эта особенность приводит к тому, что координаты, измеренные Gaia, могут сдвигаться вверх по течению струи ярким протяженным оптическим джетом. Такие джеты у нас наблюдаются. Приведены изображения таких объектов. Цветом как раз показано оптическое излучение. Также координаты могут сдвигать вверх, вверх по струе из-за доминирования аккреционного диска, и в любом другом направлении из-за влияния хозяйской галактики.

Слайд 4

Ранее при сравнении координат ядер активных галактик из каталогов Data, Gaia Data Release 2 и фундаментального радиокаталога оказалось, что около 10% выборки активных ядер галактик имеют значимые радио-оптические сдвиги координат. Пусть у нас сдвиг направлен от положения в радиодиапазоне к положению в оптике. И введем угол Ψ между направлением сдвига и направлением парсекового джета. Ранее также было обнаружено, что сдвиги вниз по течению струи, $\Psi = 0^\circ$, могут возникать из-за яркого протяженного оптического джета, который как раз и сдвигает центроид оптического изображения вниз по струе. А сдвиги в противоположную сторону, $\Psi = 180^\circ$, могут возникать из-за преобладания аккреционного диска в оптическом, полном оптического излучении. В этом случае как раз центроид оптического изображения сдвигается ближе к

началу струи. Источниками оптического линейно-поляризованного излучения активных ядер галактик являются синхротронное излучение джета, тепловое излучение аккреционного диска, которое поляризуется за счет рассеяния в атмосфере диска, и также рассеянное излучение из областей за пределами аккреционного диска. Если рассматривать активные ядра галактик с углом к лучу зрения около 5° , это как раз те источники, которые мы рассматриваем в нашей работе, то степень поляризации излучения от аккреционного диска и областей рассеяния за счет симметрии картины будет составлять менее 1%. Поэтому ожидается, что источники, у которых радио-оптические сдвиги, наблюдаются радио-оптические сдвиги вниз по течению струи будут иметь бóльшую степень поляризации за счет того, что там доминирует оптический джет, излучение которого, синхротронное излучение которого сильно поляризовано. А у активных ядер галактик со сдвигами в противоположную сторону, к началу струи, будет степень поляризации меньше из-за того, что у нас как раз доминирует аккреционный диск, степень поляризации излучения которого мала. Целью нашей работы было как раз поиск активных ядер галактик с ярким протяженным оптическим джетом и определение конфигурации магнитного поля в этих струях, используя информацию об оптической линейной поляризации и радио-оптических сдвигах.

Слайд 5

Перейдем к результатам. На верхней гистограмме показано распределение степени поляризации для активных ядер галактик со сдвигам вниз по струе, а на нижней, наоборот, со сдвигами вверх по струе. Статистические тесты показали, что медиана степени поляризации в первом случае значимо больше, чем медиана во втором случае. Это как раз подтверждает, что сдвиг вниз по струе происходит из-за оптического джета, излучение которого сильно поляризовано, а вверх по струе из-за аккреционного диска со слабополяризованным излучением.

Слайд 6

Если рассматривать разницу между направлением поляризации и направлением парсекового джета, которая здесь приведена на гистограмме, для активных ядер галактик со сдвигами вниз по струе, в которых как раз присутствует яркий протяженный оптический джет, то видно, что здесь есть значимый пик на 0° , что означает, что у нас направление поляризации и джета совпадают. Это указывает на доминирование тороидальной компоненты магнитного поля. Следовательно, это

является указанием на тороидальную компоненту крупномасштабного магнитного поля, которая предсказывается теоретически, или на ударные волны.

Слайд 7

Перейдем к выводам по первой Главе. Мы обнаружили, что источники со значимыми сдвигами вниз по выбросу имеют бóльшую степень поляризации, чем источники с противоположным направлением сдвига. Это подтверждает, что аккреционный диск сдвигает положение, определенное, измеренное телескопом Gaia ближе к началу струи, а протяженный оптический джет, наоборот, способствует возникновению сдвига вниз по джету. Также было обнаружено, что направление поляризации у активных ядер галактик со сдвигами вниз по джету совпадает с направлением джета, что указывает на тороидальную компоненту крупномасштабного поля или на ударные волны.

Слайд 8

Перейдем ко второй Главе, которая посвящена магнитному полю парсековых струй активных ядер галактик. Такие наблюдения, как, такие наблюдательные эффекты, как поперечный градиент меры вращения, здесь показан пример такого источника, асимметрии в поперечном распределении поляризации указывают на то, что существует стабильное во времени магнитное поле, ассоциированное со всей струей, со всем выбросом. Также наблюдается сильная переменность, сильная переменность направления и степени поляризации, что указывает на турбулентность плазмы, на стоячие и движущиеся ударные волны. Например, такая сильная переменность направления поляризации может описываться моделью, в которой у нас яркая деталь движется по спиральной траектории в спиральном магнитном поле.

Слайд 9

Наше исследование было посвящено визуализации и анализу как стабильной, так и переменной составляющей магнитного поля, магнитного поля, изучению этих составляющих, их характеристик вдоль и поперек джета. Для этого мы использовали данные проекта MOJAVE, проекта-мониторинга, РСДБ-мониторинга полной интенсивности и линейной поляризации сотен активных ядер галактик. Мы использовали данные на 15 ГГц, а также архивные наблюдения на РСДБ-решетке VLBA тоже на 15 ГГц. Вся выборка составляла 436 источников, которые имеют не менее пяти наблюдений линейной поляризации. И большинство этих

источников, более 90% выборки, составляли лацертиды и квазары с плоским спектром, которые далее мы будем называть просто квазарами. Сверху приведена гистограмма распределения эпох по нашим источникам. Медиана составляет 9 эпох, но видно, что у нас большое количество источников значимо, имеют гораздо большее количество эпох. Снизу приведена гистограмма распределения временного интервала между первым и последним наблюдением. Эта величина распределена в широком диапазоне вплоть до 24 лет и медиана составляет 7 лет.

Слайд 10

Для исследования стабильной и переменной составляющих магнитного поля мы использовали усреднение поляризации по эпохам. Использовалось два подхода к усреднению. В первом подходе одноэпоховые карты параметров Стокса I, Q и U совмещались по положению РСДБ-ядра, яркого, компактного, частично оптически толстого видимого начала струи. Затем они усреднялись. Получались так называемые стековые карты, которые затем использовались для построения стековых карт поляризационной интенсивности, степени и направления поляризации. Полученные карты отражают распределение направления и степени упорядоченности стабильного магнитного поля. В другом подходе одноэпоховые карты параметров Стокса также совмещались по РСДБ-ядру. Затем строились одноэпоховые поляризационные карты, используя которые затем получались карты медианы степени поляризации, которая показывает типичные значения этой величины по эпохам, карты переменной направления поляризации как стандартное отклонение между одноэпоховыми значениями, и распределение этой величины показывает изменение направления магнитного поля.

Слайд 11

Перейдем к результатам. Рассмотрим переменность направления поляризации в ядре и джете. Слева приведено распределение медианы по ядру переменной направления поляризации, следующая гистограмма – по джету. Статистические тесты показали, что у нас переменность, переменность в ядре значимо больше, чем в джете, то есть у нас направление поляризации менее стабильно в ядре. Здесь приведен пример такого источника. Здесь и на следующих картах черными контурами обозначена стековая полная интенсивность, цветом – переменность направления поляризации, а линией обозначена хребтовая линия струи, которая позволяет проследить наиболее яркие области струи. Причины повышенной степени, повышенной переменной в ядре могут служить неразрешенные

компоненты с разным направлением поляризации и искривление струи в ядерной области.

Слайд 12

Также мы сравнивали переменность направления поляризации в ядрах квазаров и лацертид. Гистограммы распределения этих величин приведены здесь на гистограмме. И было обнаружено, что переменность в ядрах квазаров значимо выше, чем в ядрах лацертид. И различие может быть обусловлено тем, что в ядрах квазаров наблюдается более высокая внутренняя мера фарадеевского вращения из-за более высокой напряженности магнитного поля. Это может приводить к большим изменениям по времени меры вращения в квазарах, а, соответственно, большей переменности направления поляризации.

Слайд 13

Перейдем к усредненной по эпохам поляризации вдоль джета. Было обнаружено, что как стековая, так и медианная степень поляризации, они у нас увеличиваются вниз по течению струи. Для стековой степени поляризации это видно на зависимости степени поляризации от расстояния от РСДБ-ядра. Для медианной здесь приведена гистограмма распределения коэффициентов корреляции между медианной степенью поляризации и расстоянием от РСДБ-ядра. Большинство значимых коэффициентов корреляции, которые здесь обозначены закрашенными бинами, положительные. И справа приведен пример такого источника, у которого наблюдается значимое возрастание медианной степени поляризации вниз по струе. Этот рост степени поляризации может, в него могут давать вклад такие вещи, как уменьшение с расстоянием от ядра фарадеевской деполяризации, ослабление ударных волн, уменьшение угла закрутки спирального магнитного поля. Также эффект, также вклад может давать эффект старения спектрального индекса.

Слайд 14

Переменность направления поляризации. Для переменности направления поляризации мы получили, что она у нас уменьшается с расстоянием от ядра, то есть у нас дальше по струе у нас направление поляризации становится более стабильным. Здесь приведена гистограмма распределения коэффициентов корреляции между переменностью направления поляризации и расстоянием от ядра. Большинство значимых коэффициентов корреляции отрицательные. Также в пользу существования этой зависимости, уменьшения переменности, говорит то,

что эти значимые тренды, эти значимые зависимости видны в основном при временном интервале наблюдения источников более 12 лет и у источников, у которых более 15 эпох, то есть это указывает на то, чтобы увидеть этот значимый тренд, картина переменности должна устояться. Уменьшение переменности указывает на увеличение стабильности направления магнитного поля с расстоянием от ядра. Здесь приведен пример такого источника.

Слайд 15

Перейдем к усредненной по эпохам поляризации поперек струи. Здесь также было обнаружено возрастание этой величины к краям струи. Здесь приведена зависимость степени поляризации от расстояния от хребтовой линии в перпендикулярном направлении к оси и пример источника, для которого это возрастание степени поляризации наблюдается. Этот рост указывает на увеличение стабильности магнитного поля к периферии струи. Это может возникать за счет оболочки, которая образуется за счет взаимодействия струи с окружающим веществом, и уменьшения турбулентности плазмы. Также подобное, подобный эффект наблюдается в случае спирального магнитного поля.

Слайд 16

Для усредненного по эпохам направления поляризации мы выделили три типичных распределения поперек струи. Первое распределение – это когда у нас направление поляризации совпадает с осью струи и поляризационная структура уже, чем структура в полной интенсивности. Поляризационная структура здесь обозначена синими контурами, это стековая поляризационная интенсивность. И черточками обозначено усредненное направление поляризации. Снизу приведена зависимость, поперечные профили степени поляризации, синие точки, и поляризационной интенсивности, красные точки, от расстояния от хребтовой линии в перпендикулярном направлении. Такое распределение направления поляризации в основном встречается у лацертид. Это может указывать на то, что в поляризованном излучении доминирует излучение центрального канала, а оболочка, которая возникает из-за взаимодействия струи с окружающей средой, она у нас либо геометрически тонкая, либо излучение ее слабое.

Слайд 17

Второе типичное распределение – это, когда, наоборот, у нас направление поляризации перпендикулярно оси струи, при этом у нас поляризационная

структура детектируется по всей ее, по всей ширине струи. Это может указывать на спиральное магнитное поле, а может указывать на то, что оболочка вокруг струи, она у нас доминирует в, является геометрически толстой и доминирует в поляризованном излучении. Также в этих случаях иногда наблюдается асимметрия поперечных, поперечных профилей степени и поляризационной интенсивности. И такое распределение, что также указывает на спиральное магнитное поле. И такое распределение направления поляризации в основном наблюдается у квазаров.

Слайд 18

И третий тип распределения направления поляризации, которое наиболее ярко наблюдается, наиболее ярко наблюдается как раз на стекowych картах, на одноэпыховых картах наблюдается гораздо хуже, это, когда у нас направление поляризации около оси оно у нас параллельно оси и становится перпендикулярным при движении к краям струи. Такое распределение направления поляризации встречается как в квазарах, так и в лацертидах, и может свидетельствовать о сравнимом вкладе в поляризованное излучение центрального канала и оболочки. Также подобное направление, также подобное распределение направления поляризации может встречаться в случае спирального магнитного поля. И в некоторых случаях это распределение EVPA, направления поляризации, сопровождается W-образным профилем степени поляризации.

Слайд 19

Перейдем к выводам по второй Главе. Мы обнаружили, что переменность направления поляризации в ядре значимо выше, чем в струе, причем в ядрах лацертид переменность направления поляризации, направление поляризации более стабильное, чем в ядрах квазаров. Переменность направления поляризации, было обнаружено, что она у нас уменьшается вниз по струе. А степени поляризации, как стекочая, так и медианная, значимо увеличиваются, как с расстоянием от РСДБ-ядра вниз по течению струи, так и к краям выброса. Также было обнаружено, что направление поляризации, усредненное по эпохам, имеет три типичных распределения. Оно у нас либо параллельно оси, либо перпендикулярно ей, либо меняется с параллельного на перпендикулярное при движении от центральных областей к краям струи.

Слайд 20

Перейдем к положениям, выносимым на защиту.

1. Исследованы направление и степень оптической линейной поляризации у 287 АЯГ со значимыми сдвигами РСДБ–Gaia. Получено, что объекты со сдвигами вниз по струе имеют значимо бóльшую степень поляризации (медиана 4.7%), чем источники с противоположным направлением сдвига (медиана 1.2%). Это обусловлено тем, что сдвиг вниз по струе происходит из-за протяженного оптического выброса, а смещение в противоположную сторону — из-за доминирования аккреционного диска в полном оптическом излучении. Также обнаружено, что у большинства источников со сдвигами вниз по выбросу направление оптической поляризации сонаправлено с выбросом, что является указанием на крупномасштабное тороидальное магнитное поле струи.

2. Анализ РСДБ-карт распределений усредненной по эпохам степени линейной поляризации 436 АЯГ в радиодиапазоне на частоте наблюдения 15 ГГц показал ее значимый рост вниз по струе, типично на 12% (в среднем около 2%/мсек дуги). Это может быть вызвано такими эффектами, как укрупнение спектрального индекса, ослабление ударных волн и уменьшение деполяризации, порожденной фарадеевским вращением, с расстоянием от РСДБ-ядра. Установлено значимое возрастание, типично на 20%, степени линейной поляризации к краю струи, а также асимметричность поперечных профилей поляризационной интенсивности и степени поляризации. Это указывает на тороидальную или спиральную конфигурацию крупномасштабного магнитного поля выброса.

Слайд 21

3. Исследование стековых РСДБ-карт направления линейной поляризации 436 АЯГ на частоте наблюдения 15 ГГц показало, что наблюдаются три основные характерные распределения: 1) преимущественно вдоль хребтовой линии в пределах центрального канала струи (типично для лацертид), 2) ортогонально выбросу по всей его ширине (типично для квазаров и радиогалактик), 3) с постепенным поворотом электрического вектора от локального направления выброса в центральном канале к поперечному у его края (типично для квазаров). При этом профиль стековой степени поляризации поперек струи имеет U- или W-образную форму. Эти наблюдательные результаты указывают на присутствие спирального магнитного поля, ассоциированного с выбросом, с возможным образованием сдвигового слоя и соответствующей оболочки с продольным полем в результате взаимодействия выброса с окружающей средой.

4. Проведен анализ РСДБ-карт переменности линейной поляризации 436 АЯГ на частоте 15 ГГц. Обнаружено, что переменность направления поляризации в области РСДБ-ядра значительно выше (медиана примерно 25°), чем во внешних областях струи (медиана около 10°). Это может являться следствием искривленности струи в РСДБ-ядре и/или того, что компоненты с разным направлением поляризации в этой области не разрешаются. Установлено, что направление поляризации в РСДБ-ядрах лацертид более стабильно, чем в квазарах. Показано, что направление поляризации в выбросе обычно становится более стабильным с удалением от РСДБ-ядра: типичные изменения направления поляризации спадают с $\approx 28^\circ$ около РСДБ-ядра до примерно 8° на периферии струи. Причиной этого может являться возрастание доли регулярной компоненты магнитного поля.

У меня всё. Спасибо за внимание.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо за доклад. Какие будут вопросы к соискателю? Да, пожалуйста.

ВОПРОСЫ ПОСЛЕ ДОКЛАДА СОИСКАТЕЛЯ

СЕКРЕТАРЬ: Юрий Андреевич, включите микрофон.

КОВАЛЕВ Ю. А.: Вопрос о переменности. Вы говорили о том, что переменность поляризации связана с изменением магнитного поля. Но вообще говоря, изменение поляризации может быть связано и с переменностью излучения. Вот те случаи, которые вы рассматривали, там было видно этой переменности излучения нет.

СОИСКАТЕЛЬ: Переменность излучения. А что вы имеете в виду под переменностью излучения? У нас как бы источник.

КОВАЛЕВ Ю.А.: Это значит, что сегодня у вас одна картинка, завтра, через месяц смотрите, у вас другая картинка. И при этом меняется полный поток, то есть спектральная плотность потока излучения тоже меняется. Потому что когда вы говорите только о магнитном поле, то это значит, что из-за, то есть у вас может быть переменность при постоянной структуре магнитного поля и постоянной во времени. Такой вариант возможен.

СОИСКАТЕЛЬ: Да, я понимаю. Переменность излучения возникает из-за рождения новых компонент.

КОВАЛЕВ Ю.А.: Или прихода в эту область.

СОИСКАТЕЛЬ: Да, рождение компонент будет влиять, но мы делаем вывод, что магнитное поле меняется. Оно может меняться из-за прихода новых компонент с магнитным полем. Локальные изменения магнитного поля также будут наблюдаться.

КОВАЛЕВ Ю.А.: Потому что вы видите структуру магнитного поля. Да? И она изменилась.

СОИСКАТЕЛЬ: Да.

КОВАЛЕВ Ю.А.: Спасибо.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Еще вопросы? Нет больше вопросов, да? Спасибо.

ЛУТОВИНОВ А.А.: Можно короткий вопрос?

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Пожалуйста.

ЛУТОВИНОВ А.А.: Скажите, пожалуйста. У меня вопрос такой. А не пробовали ли вы сравнивать величины, которые получаются в поляризации, то что касается первой Главы, где вы там померили в радиодиапазоне и оптическом диапазоне, с тем, что сейчас измеряется для некоторых объектов, по крайней мере, в рентгене с помощью обсерватории IXPE?

СОИСКАТЕЛЬ: Нет. В рамках диссертации мы этим не занимались.

ЛУТОВИНОВ А.А.: Понятно.

СОИСКАТЕЛЬ: Спасибо.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Еще вопросы? Нет больше вопросов. Спасибо еще раз. Слово предоставляется научному руководителю Пушкареву Александру Борисовичу.

ВЫСТУПЛЕНИЕ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

ПУШКАРЕВ А.Б.: Уважаемые коллеги, как меня слышно?

СЕКРЕТАРЬ: Слышно хорошо.

ПУШКАРЕВ А.Б.: Прекрасно. Еще раз всем здравствуйте. Как научный руководитель я бы хотел отметить следующие моменты. Начну с того, что наша совместная работа с Дарьей Игоревной началась в феврале 2019 года, когда она была с визитом в Крымской астрофизической обсерватории с целью прохождения практики по обработке РСДБ данных, которая включала калибровку, картографирование, моделирование структуры наблюдаемых источников. И перед ней была поставлена, прямо скажем, нетривиальная задача по исследованию конфигурации магнитного поля джетов активных галактик и переменности радиационных характеристик: интенсивности, угла и степени линейной поляризации, причем как вдоль, так и поперек релятивистского выброса на основе многоэпоховых РСДБ наблюдений большой выборки, состоящей из сотен источников. И, надо отметить, что с этой откровенно непростой задачей Дарья справилась успешно, получив ряд новых и достоверных результатов. Если давать общую характеристику работы, то она представляет собой довольно редкий и при этом эффективный случай совместного использования данных в двух диапазонах. Это и оптический, и радио диапазон. Также двух можно сказать ортогональных подходов – астрометрический и астрофизический – для решения поставленных задач. Хочу также отметить, что аспирантура Дарьи была поддержана грантом РФФИ и она также принимала участие в РНФ гранте по поддержке научных групп. При этом результаты своей работы Дарья Игоревна активно представляла на различных семинарах в АКЦ ФИАН, в Радиоастрономическом институте Макса Планка, а также на конференциях как отечественных, так и международных. И все три статьи с основными результатами ее работы опубликованы в ведущих международных высокорейтинговых журналах уровня Q1, которые входят в белый список научных изданий Минобрнауки РФ. Отмечу также, что в дополнение к

статьям, которые приведены в автореферате, у Дарьи есть еще и совместная публикация с классиком звездной астрономии доктором физ.-мат. наук, профессором Анатолием Владимировичем Засовым. Считаю, что представляемая к защите работа полностью соответствует требованиям к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности “Физика космоса, астрономия”, номер специальности 1.3.1, а Дарья Игоревна заслуживает присвоения искомой степени. Спасибо.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Какие вопросы будут к научному руководителю? Нет вопросов. Спасибо. Тогда мы переходим к следующему. Я попрошу ученого секретаря зачитать отзывы организации, где выполнялась работа, ведущей организации и другие отзывы.

ОТЗЫВЫ ОРГАНИЗАЦИИ, В КОТОРОЙ БЫЛА ВЫПОЛНЕНА РАБОТА, ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ И ОТЗЫВ НА АВТОРЕФЕРАТ

СЕКРЕТАРЬ: Спасибо! Сейчас я должна зачитать заключение организации, где выполнена работа – Физического института имени Лебедева.

Секретарь зачитывает отзыв Физического института им. П.Н. Лебедева РАН. Отзыв положительный, прилагается.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Следующий отзыв, пожалуйста. Заключение ведущей организации.

СЕКРЕТАРЬ: Сейчас я должна зачитать отзыв ведущей организации. Ведущая организация – Московский государственный университет имени Ломоносова.

Секретарь зачитывает отзыв ведущей организации МГУ им. М.В. Ломоносова. Отзыв положительный, прилагается.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Теперь у нас еще есть отзыв на автореферат.

СЕКРЕТАРЬ: Да, к нам в диссовет поступил отзыв на автореферат диссертации. Отзыв поступил от Юрия Юрьевича Ковалева, доктора физико-математических наук, члена-корреспондента РАН. Я его зачитаю полностью, он небольшой.

Секретарь зачитывает отзыв на автореферат от Ю.Ю. Ковалева. Отзыв положительный, прилагается.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Так, теперь вопрос к соискателю. Вы будете сразу отвечать на замечания из зачитанных отзывов или будете в конце?

СОИСКАТЕЛЬ: В конце всех отзывов.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Хорошо. Тогда переходим к следующему пункту.

КОВАЛЕВ Ю.А.: Игорь Дмитриевич, можно предложить устроить перерыв на пять минут?

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Конечно, раз нужно. Спасибо. Объявляется технический перерыв 5 минут.

Технический перерыв.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Технический перерыв закончен. Продолжаем нашу работу. Слово предоставляется первому оппоненту. Юлия Владимировна, пожалуйста.

ВЫСТУПЛЕНИЕ ОППОНЕНТА СОТНИКОВОЙ Ю.В.

СОТНИКОВА Ю.В.: С Вашего позволения, я с места зачитаю свой отзыв. Позвольте зачитать отзыв на диссертацию Зобниной Дарьи Игоревны “Многодиапазонные исследования поляризации и ее переменности в активных ядрах галактик”.

Зачитывает свой отзыв. Отзыв положительный, прилагается.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Опять вопрос к соискателю. Вы будете отвечать сразу на замечания или в конце на все замечания сразу?

СОИСКАТЕЛЬ: На все замечания в конце.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Тогда я попрошу ученого секретаря зачитать отзыв второго оппонента.

ОТЗЫВ ОППОНЕНТА БАЙКОВОЙ А.Т.

СЕКРЕТАРЬ: Спасибо! Оппонент Байкова Аниса Талгатовна сегодня отсутствует по причине здоровья, поэтому я зачитаю ее отзыв полностью.

Секретарь зачитывает отзыв оппонента Байковой А.Т. Отзыв положительный, прилагается.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Вопрос к соискателю, Вы будете отвечать на замечания второго оппонента отдельно или на все вместе?

СОИСКАТЕЛЬ: Все вместе.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Тогда Вам предоставляется слово для ответов на замечания, которые были высказаны.

ОТВЕТЫ СОИСКАТЕЛЯ НА ЗАМЕЧАНИЯ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Включается демонстрация слайдов с ответами на замечания.

3. В работе используются 4 близких термина: «струя», «джет», «выброс», «истечение». Они используются вперемешку и не совсем понятно, описывают ли они одно и то же? Если бы в работе были введены определения этих базовых понятий или указано, что автор использует их как синонимы, то это позволило бы избежать этой неясности.

СОИСКАТЕЛЬ: В диссертации эти термины используются как синонимы. С замечанием согласна.

6. В разделах 1.2 и 1.3 описывается процедура отбора источников со сдвигом вверх и вниз по джету и анализа значимости. Стр. 24: «Также предполагалось, что источник имеет сдвиг вниз по струе ($\Psi = 0^\circ$), если у него $\Psi \in (-45^\circ, +45^\circ)$, и вверх по джету ($\Psi = 180^\circ$), если $\Psi \in (180^\circ - 45^\circ, 180^\circ + 45^\circ)$ ». Стр. 27: «Значимость пика оценивалась, как доля реализаций, в которых количество источников с $-30^\circ < EVPA < 30^\circ$ больше, чем в случае равномерного распределения.» Непонятно, почему отличаются пороговые величины?

СОИСКАТЕЛЬ: На гистограмме распределения разницы между направлением поляризации и направлением джета оценивались значимости пиков как на 0° , так и на 90° , поэтому для оценки значимости пика на 0° использовался диапазон $(-30^\circ, 30^\circ)$, для пика на 90° - $(60^\circ, 120^\circ)$. В диапазоне от 30° до 60° предполагался минимум между пиками. Значимых пиков на 90° обнаружено не было.

7. Некоторые важные детали представлены как утверждения, без обоснования. Например, на стр. 46: «Ширина джета на таких изображениях зависит от продолжительности мониторинга АЯГ: чем дольше наблюдается источник, тем шире детектируется струя, пока не проявится вся ее поперечная структура.»

СОИСКАТЕЛЬ: С замечанием согласна. В данном случае ширина джета увеличивается из-за того, что в разные моменты времени подсвечиваются разные его части из-за распространения неустойчивостей.

8. Недостаточно чётко описано влияние фарадеевского вращения на наблюдаемую поляризацию. Стр. 80: «В квазарах, в среднем, наблюдается более высокая мера фарадеевского вращения по сравнению с лацертидами». Внутренняя RM источника отличается от наблюдаемой в $(1+z)^2$ раз, необходимо чётко артикулировать о какой из мер вращения идёт речь? Авторы, очевидно, понимают это, так как в одном из анализов специально использовали ограничение по z : «Поскольку объекты данных оптических классов имеют разное распределение по z (Раздел 2.2 и Рисунок 2.4), то выбирались источники в таком диапазоне, чтобы медианы распределений квазаров и лацертид были близки. Это оказался диапазон по z от 0.15 до 0.5. В него попадают 29 квазаров и 25 лацертид. Значимой разницы между σ_{EVPA} в данных источниках нет.», но не хватает описания этого эффекта в основном тексте работы.

СОИСКАТЕЛЬ: На стр. 80 подразумевалась внутренняя мера вращения.

ОТВЕТЫ СОИСКАТЕЛЯ НА ЗАМЕЧАНИЯ ОППОНЕНТА СОТНИКОВОЙ Ю.В.

Замечания по содержанию работы:

1. Глава 1. Сдвиги положений объектов в оптике и радио авторы рассматривают с точки зрения физических условий в АЯГ (структура, излучение). При этом полно не раскрыта информация об ошибках измерений координат, например систематических. На стр. 21 указано, что “примерно у 2/3 источников погрешности были малы” без указания количественной меры, особенно оставшейся трети.

СОИСКАТЕЛЬ: С замечанием согласна. Ошибка координат у 2/3 источников составляет менее 5 мсек дуги, у 1/3 источников ошибка – от 5 до 30 мсек дуги.

2. Глава 1. В работе рассматриваются объекты со значимым сдвигом радио и оптического положения. Используемые измерения РСДБ и Gaia проведены неодновременно, информация о поляризации оптического излучения получена также в разные эпохи. Не обсуждается возможное влияние переменности излучения АЯГ на выявленные сдвиги. Обычно положение РСДБ ядра считается неизменным, а рождение новых компонент джета может его незначительно сдвигать. Об этом упоминается только в Главе 2, однако лучше об этом сказать в первой главе, где этот вопрос возникает сразу.

СОИСКАТЕЛЬ: С замечанием согласна. РСДБ-положение незначительно сдвигается во время рождения компонент в джете. Эта переменность учитывается при оценке ошибок координат. Для большинства источников степень и направление оптической поляризации усреднялись по эпохам, что позволило уменьшить влияние переменности. Положение, измеряемое телескопом Gaia также является переменным из-за вспышек в аккреционном диске и рождения компонент. Особенностью анализа степени оптической поляризации источников со значимыми радио-оптическими сдвигами является то, что степень поляризации дает априорную информацию о доминирующем источнике оптического излучения.

Оказалось, что она совпадает с наблюдаемым направлением радио-оптических сдвигов.

4. Глава 2, стр. 80, “В нашем исследовании кол-во источников больше и типичный временной интервал существенно шире, чем в [34]”. Также трудно сравнивать временной интервал измерений без перехода в систему отчета источников.

СОИСКАТЕЛЬ: Сравнивались временные интервалы между первой и последней эпохами наблюдений. В работе [34] интервал составлял 2.3 года, в нашем исследовании медианный интервал был около 7 лет.

Замечания к формулировкам:

2. Глава 1, п. 1.3, стр. 25. Выборка исследования разбивается на подвыборку квазаров и лацертид, хотя лацертиты могут быть квазарами. Или под квазарами подразумеваются блазары *type flat-spectrum radio quasars (FSRQ)*?

СОИСКАТЕЛЬ: Да. Под квазарами понимались квазары с плоским радиоспектром. С остальными замечаниями согласна.

ОТВЕТЫ СОИСКАТЕЛЯ НА ЗАМЕЧАНИЯ ОППОНЕНТА БАЙКОВОЙ А.Т.

СОИСКАТЕЛЬ: С замечаниями оппонента Анисы Талгатовны тоже согласна.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Все? Спасибо большое. Теперь переходим к общей дискуссии. Кто хотел бы высказаться, задать вопросы? Пожалуйста.

ОБЩАЯ ДИСКУССИЯ

СОТНИКОВА Ю.В. Я не услышала ответ на мое замечание номер три, по сути содержания работы. По тому, что объекты находятся на разных красных смещениях, Вы анализируете угловой размер.

СОИСКАТЕЛЬ: А можно еще раз повторить?

СОТНИКОВА Ю.В. Я его еще раз прочитаю. Замечание номер три. Выборку исследований составляют активные ядра галактик, распределенные в широком диапазоне красных смещений. При рассмотрении средних сдвигов положений, оптических координат и координат радио используется угловая мера и не анализируется абсолютное расстояние в системе отсчета источника, которое можно оценить, если известно красное смещение. Так далее сдвиг положений оптика-радио связывается в том числе с особенностями структуры объекта, такая информация является полезной.

СОИСКАТЕЛЬ: Да. Спасибо за замечание. С замечанием согласна, что это полезно. Мы это не анализировали, мы рассматривали только угловую меру.

СОТНИКОВА Ю.В. Понятно, спасибо.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Еще вопросы, замечания, высказывания. Да, пожалуйста.

КОВАЛЕВ Ю.А.: У меня не замечание, а высказывание. Здесь было замечание прочитано и дан ответ, на тему лацертид и блазаров, и квазаров. Хочу сказать, что я за последние годы неоднократно встречал очень большую путаницу в литературе, откуда следовало что блазарами стали называть все квазары, т.е. нет однозначного понимания в литературе. Поэтому требовать однозначного понимания от диссертанта, мне кажется, тоже нельзя. К сожалению. У меня все, спасибо.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Еще замечания, вопросы? У заочных участников никаких нет вопросов? Нет. Тогда будем считать общую дискуссию закрытой. Слово предоставляется соискателю. Заключительно слово, пожалуйста.

СОИСКАТЕЛЬ: В заключительном слове я хочу выразить огромную благодарность моему научному руководителю Александру Борисовичу Пушкареву и Юрию Юрьевичу Ковалеву за руководство проектом, за ценные советы и обсуждения. Хочу высказать также благодарность оппонентам, ведущей организации и коллегам за комментарии, замечания, обсуждения, исследования. А также благодарность родным и близким за помощь. Спасибо!

ТАЙНОЕ ГОЛОСОВАНИЕ

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо! Тогда переходим к тайному голосованию. Слово ученому секретарю.

СЕКРЕТАРЬ: Спасибо. Коллеги, в соответствии с новыми правилами, которые теперь уже не совсем новые, голосование у нас проводится с помощью системы онлайн-голосования “Криптовече”. В течение пяти минут на почту, которая указана в явочном листе, т.е. на почту каждого члена диссовета придет ссылка на голосование, т.е. ссылка на бюллетень соответствующий. Нужно пройти по ссылке, чтобы проголосовать, далее нажать кнопку “зарегистрироваться”. Это равноценно тому, что вы получили бюллетень и расписались, что вы его получили. После чего будет доступна повестка, и потребуется выбрать один из вариантов. За или против. Если будут выбраны оба варианта или не одного, то такой электронный бюллетень будет учтен в системе как недействительный. Все, кто имеет доступ к личным устройствам, компьютеры, ноутбуки, смартфоны, могут проголосовать с них. Если доступа к личному устройству нет, то у нас здесь установлены специальный компьютер, в зале заседаний, и можно им воспользоваться. Вот такая информация. Игорь Дмитриевич, я закончила.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо большое. Тогда приступаем к процедуре тайного голосования. 15 минут.

Объявляется перерыв на тайное голосование (15 минут). Во время перерывы все члены диссовета, присутствующие на заседании, голосуют с помощью системы онлайн-голосования “Криптовече”.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Прожолжаем нашу работу. Результаты голосования выведены на экран. Все понятно, да?

СЕКРЕТАРЬ: Давайте я прокомментирую. Что все 16 бюллетеней были розданы, все проголосовали, недействительных бюллетеней нет. За – 16, против – 0. Т.е. единогласно все ЗА.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Нам надо утвердить результаты голосования, открытым голосованием. Кто за то, чтобы утвердить?

Члены совета голосуют поднятием руки за утверждение результатов тайного голосования.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Все единогласно. Считаем это утвержденным.

КОВАЛЕВ Ю.А.: А кто против, не надо спросить?

СЕКРЕТАРЬ: Кто против?

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Нету. Единогласно. Спасибо за это.

СЕКРЕТАРЬ: Теперь нам нужно обсудить заключение.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Обсуждаем заключение. Пожалуйста, секретарю слово.

СЕКРЕТАРЬ: Коллеги, проект заключения был разослан накануне. Спасибо Дмитрию Зигфридовичу, как всегда, который отловил разные косяки в проекте. Спасибо за правки. Я распечатала несколько экземпляров, вы можете их все видеть. Если у кого-то есть замечания по заключению, можно их сейчас высказать. Я их учту в финальной версии.

СЛЕМЗИН В.А. Не упоминается отзыв на автореферат.

СЕКРЕТАРЬ: В заключении, Вы имеете в виду?

СЛЕМЗИН В.А.: Да.

СЕКРЕТАРЬ: Это хорошее замечание. Спасибо. Добавлю это в заключение. Заодно я также скажу, что все протоколы по итогам голосования и протокол решения совета я уже подготовила. Так что в принципе все бумаги готовы. Игорь Дмитриевич, по окончании заседания, подпишите, пожалуйста.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Да, конечно. Так, больше никаких замечаний по заключению нет? Надо утвердить. Опять открытым голосованием. Давайте будем голосовать. Кто за то, чтобы утвердить заключение? Кто за? Кто против? Воздержавшихся нет?

Члены совета голосуют поднятием руки за утверждение заключения диссертационного совета.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Хорошо. Будем считать заключение утвержденным. Теперь я счастлив поздравить соискателя с присуждением ученой степени. От всей души.

Аплодисменты.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо! Заседание считаем закрытым.

Председатель заседания,
председатель диссертационного совета,
д.ф.-м.н., член-корр. РАН

Новиков И.Д.

Секретарь заседания, учёный
секретарь диссертационного совета,
к.ф.-м.н.

Шахворостова Н.Н.

03 апреля 2024 г.