

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ



119991, ГСП-1, Москва  
Ленинский проспект, 53 ФИАН  
Телефон: (499) 135 1429  
(499) 135 4264  
Телефакс: (499) 135 7880  
<http://www.lebedev.ru>

Дата 09.02.2017 г.

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора ФИАН  
Д.Ф.-М.Н. Савинов С.Ю.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного учреждения науки  
Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук

Диссертация «Многочастотные поляриметрические исследования физических условий в активных ядрах галактик» выполнена в Астрокосмическом центре Федерального государственного учреждения науки Физический институт им. П. Н. Лебедева Российской академии наук (далее АКЦ ФИАН).

Кравченко Евгения Васильевна, род. 26 февраля 1986 г., в 2009 г. окончила Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Новосибирский государственный технический университет» (НГТУ), физико-технический факультет по специальности «физика» (магистр). 18 мая 2012 г. поступила в очную аспирантуру ФИАН, которую окончила 15 мая 2016 г. В период подготовки диссертации работала в лаборатории внегалактической радиоастрономии ФИАН в должности младшего научного сотрудника. Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано 26 декабря 2016 г. ФИАН.

Научный руководитель — заведующий лабораторией внегалактической радиоастрономии АКЦ ФИАН, член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук Ковалев Юрий Юрьевич.

По итогам обсуждения диссертации «Многочастотные поляриметрические исследования физических условий в активных ядрах галактик» принято следующее заключение.

**Актуальность темы** работы состоит в проведении исследований, направленных на решение ключевых вопросов в области физики активных ядер галактик (АЯГ), которые являются уникальными астрофизическими лабораториями, и предоставляют возможность изучать проблемы фундаментальной физики. АЯГ активно изучаются на протяжении более чем 50 лет. Несмотря на это, до сих пор нет единого мнения о механизмах излучения, структуре областей излучения АЯГ. Важными остаются и вопросы, связанные с природой и особенностями активности АЯГ, а также вопросы, касающиеся роли магнитных полей, структуры и свойств магнитных полей этих объектов. Наблюдения активных ядер галактик

радиоинтерферометрическими системами в широкой полосе и в поляриметрической моде занимают важнейшее место в ряду других методов исследования. Реализуемое высокое угловое разрешение этих наблюдений делает возможным изучать АЯГ в деталях. В частности, радиоинтерферометрические системы позволяют исследовать структуру и физические свойства вещества и магнитных полей АЯГ, а результаты таких исследований важны для проверки теоретических предсказаний. Совместно с данными об источниках в других диапазонах электромагнитного спектра (например, гамма-излучение), радиоинтерферометрические наблюдения дают информацию о расположении областей генерации излучения в источнике и об особенностях распространения излучения в активных ядрах галактик.

Результаты данной работы основаны на обработке и анализе шести экспериментов, выполненных на радиоинтерферометрических системах VLA и VLBA, а также на данных наблюдений на 40-м антенне в обсерватории OVRO и космической обсерватории *Fermi*. Таким образом, исследования, выполненные в диссертации, посвящены актуальной теме - изучению физических условий АЯГ.

Среди **основных результатов**, полученных диссертантом, следует отметить:

- Построены новые детальные карты распределения фарадеевского вращения в активных ядрах галактик. Исследована структура АЯГ на парсековых и килопарсековых масштабах: показано, что струйный выброс АЯГ, в котором генерируется синхротронное излучение, окружен одним или несколькими экранами с тепловой замагниченной плазмой. Произведены оценки физических условий в этих экранах.

- В девяти АЯГ впервые обнаружены значимые поперечные градиенты фарадеевской меры вращения, что является косвенным подтверждением наличия спиралевидного магнитного поля, предсказываемого теоретическими моделями.

- Построены карты истинного позиционного угла электрического вектора линейной поляризации в струях 20 АЯГ. По анализу этих карт получены сведения о структуре и характере магнитных полей в релятивистских струях АЯГ. Показано наличие регулярных тороидальных и полоидальных магнитных полей, сохраняющих свое направление на протяжении единиц-сотен парсек, в областях генерации синхротронного излучения. Получено указание на существование турбулентных магнитных полей в тепловой плазме, окружающей струйные выбросы.

- На примере галактического магнетара J1745-2900 подтвержден потенциал нового метода синтеза фарадеевских мер вращения для поиска больших и экстремально больших мер вращения в АЯГ.

- Проведены исследования структуры, геометрии и кинематики струи активного ядра галактики S4 1030+61 после яркой гамма-вспышки. В рамках модельных предположений определены физические параметры объекта. Выявлены изменения физических условий в начале релятивистской струи, сопутствующие активности квазара в гамма- и радиодиапазонах: мощная гамма-вспышка сопровождается вбросом вещества в начало струи, компрессией магнитного поля и возможным изменением направления распространения струйного выброса. Локализована область генерации гамма-излучения, которая находится в радиоджете на расстоянии нескольких парсек от центральной машины АЯГ.

**Научная новизна** работы состоит в том, что анализ и результаты работы проведены и получены либо впервые для отдельных источников в соответствующем диапазоне длин волн, либо впервые в таком детальном виде. Так, впервые получены карты фарадеевского вращения для 22 АЯГ, показывающие распределение меры вращения в струях объектов на масштабах парсек. Для 20 из этих источников впервые получены одновременные поляризационные спектры для видимого начала релятивистской струи и оптически прозрачной области струйного выброса. Сложность проведения и анализа

поляриметрических наблюдений, получаемых одновременно в широком диапазоне частот, приводит к тому, что выполненный другими авторами анализ ориентации магнитных полей АЯГ проводился без учета фарадеевского вращения, либо мера вращения оценивалась, по неодновременным данным на разных частотах. В данной работе подробно рассматриваются и учитываются также тонкие поляризационные эффекты внутри источника, искажающие наблюдаемые характеристики линейно поляризованного излучения активных ядер галактик, что представляет собой важнейшую ценность проведенных исследований. В результате этого оценены и изучены как физические условия в АЯГ, так и получены сведения о геометрии и структуре магнитных полей в разных областях АЯГ.

С помощью комплексного анализа квазара S4 1030+61 в гамма- и радиодиапазонах впервые проведено детальное исследование структуры, кинематики и свойств этого объекта. Определен ряд параметров струйного выброса квазара. Локализована область генерации высокоэнергетического излучения, изучены особенности распространения излучения по струе S4 1030+61, а также выявлены сопутствующие гамма-вспышке изменения физических условий в ядре джета: увеличение плотности плазмы, сжатие силовых линий магнитного поля и возможное изменение направления распространения струи.

**Научная ценность и практическая значимость работы** заключается в получении новых и важных сведений о свойствах АЯГ, которые будут использованы в дальнейшем изучении этих объектов. Так, на заложенных в работе идеях и отработанных методиках анализа открыто новое направление исследований по поиску экстремально больших фарадеевских мер вращения. Потенциальная регистрация таких мер вращения даст возможность существенно продвинуться в вопросе состава и механизма излучения релятивистских выбросов. Например, это позволило бы подтвердить и развить модели активных ядер галактик с протонными струями или когерентным механизмом излучением, привлекаемые для объяснения результатов, получаемые в рамках наблюдений АЯГ наземно-космическим радиоинтерферометром РадиоАстрон.

Во время выполнения исследований по теме диссертации изучено влияние искажения поверхности радиоантенн VLA под действием силы тяжести на результаты поляризационных измерений антенной решеткой VLA на низких высотах. Была разработана и внедрена в пакет обработки данных Orbit новая методика калибровки поляриметрических данных, т.н. «дифференциальная инструментальная калибровка», которая описана В. Д. Коттоном в соавторстве с диссертантом в документации Orbit (<ftp://ftp.cv.nrao.edu/NRAO-staff/bcotton/Obit/DPCal.pdf>).

**Достоверность полученных результатов** основана на использовании современных телескопов и интерферометров, надежность работы которых подтверждена многочисленными исследованиями, выполняемыми учеными всего мира; использовании современных методик обработки, анализа данных и проверки достоверности статистических гипотез. Результаты проведенных исследований доложены на всероссийских и международных конференциях с участием ведущих ученых, и опубликованы в ведущих международных журналах и изданиях.

**Личный вклад автора** во всех основных результатах, выносимых на защиту, является основным и определяющим. Кравченко Е.В. совместно с соавторами и научным руководителем участвовала в постановке задач исследований и методов их решения, анализе, интерпретации и обсуждении результатов, а также в формулировке выводов работы. Форма ссылок и информация в тексте работы позволяют отличать вклад и результаты, полученные лично диссертантом от полученных в соавторстве и другими авторами. Автором проведены лично следующие работы:

- произведен сравнительный анализ результатов, получаемых методами линейной аппроксимации поляризационного угла от квадрата длины волны и фарадеевским синтезом мер вращений для трех АЯГ по данным многочастотных наблюдений на VLA. Им построены карты фарадеевского вращения для всех исследуемых источников и выполнен анализ распределения меры вращения вдоль струй рассматриваемых объектов. Кравченко Е.В. принимала равное участие с соавторами в обсуждении и интерпретации результатов анализа, в том числе в подготовке публикаций.

- Самостоятельно выполнена вся пост-корреляционная калибровка, обработка и анализ архивных данных многочастотных наблюдений семи активных ядер галактик на VLA. Интерпретация результатов выполнена диссертантом совместно с научным руководителем.

- Участие в первичной обработке и в дальнейшем анализе наблюдений центра Галактики, выполненных интерферометрической решеткой VLA на частотах 40-48 ГГц. Кравченко Е.В. совместно с В. Д. Коттоном участвовала в усовершенствовании поляризационной калибровки в пакете *Obit*, по учету влияния деформации антенн решетки на получаемые ее поляриметрические наблюдения. Ею самостоятельно проведен поляризационный анализ и опробован метод фарадеевского синтеза мер вращения к наблюдательным данным магнетара J1745-2900, также написан текст статьи. При этом интерпретация физической природы фарадеевского экрана магнетара выполнена диссертантом в соавторстве с коллегами.

- Обработка и анализ многочастотных данных наблюдений квазара S4 1030+61. А именно, Кравченко Е.В. выполнила пост-корреляционную калибровку многочастотных данных VLBA, провела моделирование кривой блеска в диапазоне 15 ГГц, полученной на 40-м телескопе OVRO, и выполнила сравнительный анализ этих данных с данными наблюдений, полученных в рамках программ мониторинга MOJAVE и *Fermi*. Автором лично проанализированы физические характеристики и особенности источника в радио- и гамма-диапазонах. Все результаты и их интерпретация, полное оформление содержания и написание текста статьи выполнены автором самостоятельно.

- Совместно с научным руководителем Кравченко Е.В. принимала равное участие в постановке задач исследования поляризационных особенностей 20 АЯГ, наблюдавшихся радиointерферометром VLBA в диапазоне 4-43 ГГц. Она самостоятельно провела поляризационную калибровку и обработку данных, а также анализ и интерпретацию результатов. Ею выполнено оформление полученных результатов и подготовлена статья.

**Полнота изложения материалов и диссертации в работах, опубликованных соискателем.** Результаты, представленные в диссертации, изложены в 14 научных публикациях, включая основные результаты в четырех статьях в рецензируемых ведущих зарубежных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией (ВАК) при Министерстве образования и науки РФ. Содержание и материалы работы изложены четко и корректно.

**Апробация результатов.** Результаты диссертации обсуждались и были представлены на семинарах и научных сессиях АКЦ ФИАН, а также на шести научных конференциях в России и восьми международных научных конференциях за рубежом. Исследования, изложенные в работе, отмечены премией им. Д. В. Скобельцина учебно-научного комплекса ФИАН в 2016 г.

Члены ученого совета АКЦ ФИАН считают, что представленная диссертация является завершенной научно-квалификационной работой и удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее название и содержание соответствуют **специальности** 01.03.02 - «астрофизика и звездная астрономия». Диссертация Кравченко Евгении Васильевны «Многочастотные поляриметрические исследования физических условий в активных ядрах

галактик» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 - «астрофизика и звездная астрономия».

Зав. отделом космической радиоастрономии АКЦ ФИАН,  
д.ф.-м.н.



Попов М.В.

Руководитель АКЦ ФИАН  
председатель ученого совета АКЦ ФИАН, академик



Кардашев Н.С.