

Физический ИНСТИТУТ



имени
П.Н.Лебедева

Российской академии наук

Ф И А Н

119991, Москва, ГСП-1
Ленинский проспект, 53, ФИАН
Телефоны: +7 (499) 135 14 29
 +7 (499) 132 65 54
Телефакс: +7 (499) 135 78 80
E-mail: office@sci.lebedev.ru
www.lebedev.ru

Дата **14.01.2022 г.**

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФИАН
док. физ.-мат. наук, член-корр. РАН
Н.Н. Колачевский

(печать)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физический институт имени П. Н. Лебедева Российской академии наук

Диссертация “Изучение высокоэнергетических процессов в ядрах активных галактик по данным радио, оптических и нейтринных наблюдений” выполнена в Астрокосмическом центре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физический институт имени П. Н. Лебедева Российской академии наук. В период подготовки диссертации соискатель Плавин Александр Викторович работал в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физический институт имени П. Н. Лебедева Российской академии наук, Астрокосмический центр (АКЦ ФИАН), в должности младшего научного сотрудника.

В 2017 г. окончил Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет) по направлению прикладные математика и физика. Плавин А.В. обучается в очной аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института имени П. Н. Лебедева Российской академии наук.

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов № 10-21 выдано 01.06.2021 Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Физический институт имени П.Н. Лебедева Российской академии наук.

Научный руководитель: Ковалев Юрий Юрьевич, доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, профессор РАН, главный научный сотрудник лаборатории внегалактической радиоастрономии АКЦ ФИАН.

Рецензентом выступил: Попов Михаил Васильевич, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник отдела космической радиоастрономии АКЦ ФИАН.

Доклад А.В. Плавина по результатам диссертационной работы был заслушан и обсужден на общем астрофизическом семинаре АКЦ ФИАН, который поддержал ее выдвижение к защите. По итогам обсуждений на семинаре и ученом совете АКЦ ФИАН принято следующее заключение.

Актуальность темы. Активные ядра галактик являются самыми мощными постоянно действующими источниками нетеплового излучения во Вселенной. Среди активных галактик с ярким радиоизлучением встречаются преимущественно блазары: объекты, релятивистская струя которых направлена под небольшим углом к наблюдателю. При этом только в радиодиапазоне астрономы обладают возможностью изучать джеты на масштабах парсек напрямую – при помощи метода радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами (РСДБ). Радиоизлучение активных галактик приходит преимущественно от джета, при этом на характерных частотах наблюдений в несколько ГГц истинное начало джета скрыто из-за самопоглощения. Изучение таких эффектов позволяет определять расстояние от чёрной дыры до видимого начала джета, оценивать физические параметры в начальных областях джета. Оптическое излучение наблюдается от аккреционных дисков и джетов блазаров, их хозяйских галактик. Однако детальное изучение блазаров в оптическом диапазоне возможно только косвенными методами из-за невозможности прямого картографирования. Активные ядра галактик давно рассматриваются как возможные ускорители массивных частиц, протонов. Тем не менее ассоциация высокоэнергичных нейтрино с блазарами как классом объектов не была обнаружена в многочисленных исследованиях, основанных на сравнениях с данными наблюдений в гамма-диапазоне.

В дополнение к своим экстремальным астрофизическим свойствам, активные ядра галактик служат основой для международной небесной системы координат, основанной на данный момент на наблюдениях РСДБ и космической оптической обсерватории Gaia. Стабильность и точность этих измерений существенно зависит от того, какие области доминируют в излучении, и насколько сильно они переменны. Детальное изучение и учет астрофизических эффектов требуются для построения наиболее точных инерциальных систем отсчёта.

Целью настоящей диссертационной работы являются исследования процессов в центральных областях активных ядер галактик на масштабах парсек. А именно: 1) локализация оптического излучения активных галактик, выяснение механизмов и характерных пространственных масштабов этого излучения; 2) определение природы видимых в радиодиапазоне вспышек в джетах, причин их возникновения; 3) исследование гипотезы о возможности рождения нейтрино высоких энергий в областях, близких к началу джета.

Для достижения этих целей соискателем были поставлены и решены следующие **задачи**. 1) Выяснить природу различий между астрометрическими измерениями квазаров в различных диапазонах электромагнитного спектра: оптическом и радио. 2) Локализовать области активных ядер, доминирующие в их оптическом излучении. Разделить вклад аккреционного диска, джета, хозяйской галактики, поглощения пылью. 3) Измерить смещения между видимым началом джета на разных радиочастотах для большого количества источников и моментов времени. Определить, меняется ли это смещение со временем, и как его изменения связаны с физическими процессами в джете. 4) Изучить связь радиовспышек в ядрах квазаров с эффектами прозрачности излучения. Оценить, как и какие свойства джета приводят к таким изменениям. 5) Определить, присутствует ли наблюдательная ассоциация рождения нейтрино высоких энергий с радио-яркими блазарами. 6) На основе энергетических соображений оценить возможность рождения нейтрино в центральных областях активных галактик.

Личный вклад. Соискатель совместно с соавторами участвовал в постановке исследовательских задач, выборе методов их решения, анализе экспериментальных данных, интерпретации и обсуждении результатов, и формулировке выводов работы. Во всех выносимых на защиту результатах личный вклад соискателя является основным и определяющим.

Достоверность проведенных исследований и представленных результатов базируется на использовании обсерваторий, телескопов, и их сетей, зарекомендовавших стабильность своей работы в работах ученых со всего мира; на выполнении обработки и анализа данных с использованием современных статистических и вычислительных методов. Они прошли апробацию в рамках многих выступлений А.В. Плавина на научных семинарах, отечественных и международных конференциях.

Новизна работы заключается в анализе, проведенном впервые для настолько массовых выборок квазаров, либо и вовсе впервые для используемых наблюдательных данных. Так, измерены направления джетов для тысяч активных ядер и проведено сравнение этих направлений со сдвигами между РСДБ и Gaia координатами. Ранее анализ различий координат проводился без учета направлений джетов, что не позволяло выявить астрофизическую природу эффекта. Измерены величины сдвига ядра для десятков эпох наблюдений 40 квазаров. Это привело к обнаружению сильной переменности видимого положения начала джета, которое было невозможным без таких измерений. Впервые проведено массовое сравнение детектированных нейтрино с РСДБ наблюдениями блазаров и с их переменностью в радиодиапазоне. Сопоставление всей доступной информации о нейтрино с полным каталогом радио-ярких блазаров позволило связать рождение нейтрино и происходящие в релятивистских джетах процессы.

Ценность научных работ соискателя заключается в разработке новых подходов и способов исследований активных ядер галактик, обнаружении новых эффектов, проявляющихся в релятивистских джетах, а также в получении новых важных данных об условиях в начальных областях джетов. На основе заложенных идей и отработанных решений будут проводиться дальнейшие исследования оптического излучения джетов квазаров, как диссертантом, так и другими коллективами в мире. Обнаружение систематической связи ярких блазаров с нейтрино приводит к появлению новых наблюдательных кампаний в этом направлении, к расширению и дополнению результатов различными группами по всему миру на основе других наблюдательных данных. Получены ограничения на физические параметры джетов и на энергии происходящих в нём процессов: рождение нейтрино требует наличия ультрарелятивистских протонов; протяженное оптическое излучение имеет синхротронную природу и исходит от высокоэнергичных заряженных частиц; наблюдаемые вспышки в джетах вызываются вбросом в них заряженных частиц с одновременным уменьшением магнитного поля. Объяснение этих результатов требует существенного развития и дополнения существующих моделей джетов активных ядер.

Практическая значимость. Обнаруженное яркое протяженное оптическое излучение джетов вызывает смещение положений активных ядер галактик, измеряемых Gaia. Эти смещения необходимо учитывать при построении инерциальных систем отсчёта на основе таких измерений. Наблюдаемая в радиодиапазоне структура более компактная, но обнаруженная переменность её начальной и самой яркой компоненты может влиять на РСДБ измерения, и должна учитываться при дальнейшем улучшении высокоточных систем координат. Исследованные в диссертационной работе эффекты уже сейчас используются для оценки достигаемой точности построения таких систем. Инерциальные системы отсчёта, основанные на наблюдениях квазаров, лежат в основе навигации на Земле, включая систему ГЛОНАСС.

Диссертация соответствует всем требованиям, установленным пунктами 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842. Диссертация соответствует специальности «астрофизика и звездная астрономия» по физико-математическим наукам (01.03.02).

Материалы диссертации представлены соискателем в пяти научных статьях, опубликованных в рецензируемых журналах из списка ВАК. Содержание диссертации изложено доступно, корректно и полно.

Диссертация “Изучение высокоэнергетических процессов в ядрах активных галактик по данным радио, оптических и нейтринных наблюдений” Плавина Александра Викторовича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности «астрофизика и звездная астрономия» (01.03.02).

Заключение принято на заседании ученого совета АКЦ ФИАН. Присутствовало на заседании 12 чел. Результаты голосования: "за" – 12 чел., "против" – 0 чел., "воздержалось" – 0 чел., протокол № 1/22 от “13” января 2022 г.

Руководитель АКЦ ФИАН
д.ф.-м.н.

С.Ф. Лихачев