

Отзыв официального оппонента

Харинова Михаила Александровича на диссертацию

Михайлова Александра Геннадьевича

«Определение физических параметров сверхмассивных чёрных дыр и исследование радиосвойств активных ядер галактик»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – Астрофизика и звездная астрономия.

Актуальность темы диссертации. Исследования физических процессов в активных ядрах галактик (АЯГ) и их центральных областях, окрестностях сверхмассивных чёрных дыр (СМЧД) продолжают проводиться мировым научным сообществом с неубывающим интересом. Существует несколько признанных методов определения ключевых физических параметров СМЧД. Однако количество объектов, для которых возможно оценить наиболее полный ряд параметров, ограничено ближней зоной наблюдаемой Вселенной.

Диссертационная работа Михайлова А.Г. посвящена определению физических параметров СМЧД и радиосвойств соответствующих АЯГ. Предлагаемый в диссертации метод определения величин спина СМЧД основан на наблюдательных данных и существенно расширяет выборку объектов исследования.

подавляющее большинство астрономических объектов, наблюдаемых в современное время на радиотелескопах являются внегалактическими источниками радиоизлучения и представлены в основном квазарами и АЯГ. Понимание получаемых результатов наблюдений невозможно без развития представлений о физике наблюдаемых объектов и происходящих в них событий. Поэтому **актуальность** и **важность** настоящей работы не вызывает сомнений.

Анализ содержания диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, списка рисунков, списка таблиц и двух приложений. Диссертация содержит 152 страницы, 38 рисунков и 21 таблицу. Список цитируемой литературы включает 204 наименования.

Во введении даётся обоснование актуальности темы исследования и степень её разработанности. Изложены цели и задачи диссертационной работы, научная новизна, практическая значимость и степень достоверности полученных результатов. Сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

Приводятся апробация результатов, перечень публикаций по теме работы и личный вклад автора.

В первой главе даётся обзор существующих методов определения величины спина чёрных дыр, и отмечена ограниченность этих методов. Предлагается новый метод, основанный на моделях энерговыделения в АЯГ в форме релятивистских джетов. Приводится детальный вывод соответствующих уравнений, решение которых позволяет получить ограничение величины спина по определяемым из наблюдений величинам.

В главе также проведён расчёт спина СМЧД, с использованием предложенного метода, для выборки 382 радиогалактик (FRI и FRII) на z до 2, и 76 АЯГ на z от 4 до 6.5. Проведён анализ характера и изменения аккреции на центральную СМЧД с помощью построенных диаграмм «масса-спин».

Во второй главе даётся сравнения оценок величин магнитного поля в аккреционном диске и на горизонте событий для выборки 28 АЯГ, в которых величина спина СМЧД определена методом анализа спектрального распределения энергии и методом рентгеновской отражательной спектроскопии.

Приведён вывод соотношения которое связывает величину магнитного поля на горизонте событий черной дыры с рядом величин, определяемых из наблюдений. Проведён расчёт этого магнитного поля по результатам двух рядов наблюдений: спектрополяриметрических наблюдений на БТА (36 АЯГ 1 типа) и наблюдений методом рентгеновской отражательной спектроскопии (16 АЯГ). Сравнение результатов позволяют говорить о приемлемости предположения о равномерном распределении между плотностями энергии магнитного поля и аккрецирующего вещества. Выявлена обратная зависимость между величиной магнитного поля и массой СМЧД.

В третьей главе даются результаты исследования радиосвойств внегалактических источников класса FR0. Представлен обзор результатов изучения радиогалактик FR0 зарубежными авторами. Приводятся результаты комплексного исследования 33 таких компактных радиогалактик на $z < 0.05$ в широком диапазоне частот на РАТАН-600. Данные измерения позволили выявить возможную связь галактик FR0 с GPS источниками, и выделить три новых кандидата в радиоисточники GPS.

В четвёртой главе даются результаты исследования радиосвойств 102 АЯГ на красных смещениях $z > 3$ с помощью РАТАН-600 на шести частотах (1.1, 2.3, 4.7, 8.2, 11.2 и 22 ГГц). Предложены восемь новых MPS кандидатов.

В главе также представлены результаты наблюдения объекта J 0309+2717, единственного известного блазара на $z > 6$, на РАТАН-600 на трех частотах (4.7, 8.2 и 11.2 ГГц).

В заключении к диссертации сформулированы основные результаты, полученные в ходе её выполнения, выводы и предложения по применению разработанного метода определения спина СМЧД.

В приложениях приведены таблица результатов измерений спектральных плотностей потока радиогалактик FR0 и рисунки континуальных радиоспектров выборки FR0.

Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации. Автореферат адекватно и полно отражает содержание диссертации.

Научная новизна работы состоит в том, что в результате выполнения диссертации:

1. Разработан метод определения спина СМЧД на основе гибридных моделей генерации релятивистских джетов. С помощью нового метода впервые получены ограничения величины спина СМЧД для большинства объектов в изученных выборках. Впервые построены диаграммы «масса–спин» для СМЧД в выборках АЯГ на красных смещениях $z < 2$ и $4 < z < 6.5$.

2. Впервые выполнены оценки величины магнитного поля в аккреционном диске и на горизонте событий СМЧД в 28 объектах, на основе наблюдательных данных. Впервые установлено обратное соотношение между величиной магнитного поля на горизонте событий и массой СМЧД для выборки 52 АЯГ.

3. Получены новые данные многочастотных измерений на РАТАН-600 спектральных плотностей потоков выборки 33 радиогалактик FR0. Впервые измерены квазиодновременные радиоспектры объектов в диапазоне 2 - 22 ГГц. Впервые показана двухкомпонентность среднего радиоспектра FR0 в сантиметровом диапазоне.

4. Получены новые данные многочастотных измерений на РАТАН-600 спектральных плотностей потоков выборки 102 АЯГ на $z > 3$, и получены их новые квазиодновременные радиоспектры объектов на шести частотах с 1.1 по 22 ГГц. Впервые построен средний радиоспектр объектов в интервале красных смещений 3.0 - 3.8 с шагом $\Delta z = 0.1$. Получены новые данные измерения радиоспектра блазара J0309+2717 на $z = 6.1$, впервые получена его кривая блеска на 4.7 ГГц на масштабе около полутора лет.

Обоснованность и достоверность результатов работы основывается на теоретических и экспериментальных исследованиях, результаты которых апробированы на международных и всероссийских конференциях, и опубликованы в рецензируемых научных изданиях.

Научная и практическая значимость результатов работы неоспоримо подтверждается в вышеприведённых разделах отзыва. Значительный объём результатов многочастотных наблюдений АЯГ на РАТАН-600 может быть использован для решения ряда актуальных задач внегалактической астрономии. Разработанный метод оценки спина СМЧД может быть использован для новых выборок исследуемых объектов и способствовать развитию новых методов решения астрофизических проблем этого направления.

Публикации результатов. По теме диссертации опубликовано 11 печатных работ входящих в список ВАК.

Замечания к работе сводятся к следующим:

1) В описании к рисунку 1.8 автор пишет что после излома спин слабо меняется с увеличением массы. Однако, если через две группы точек, разделённых изломом, провести две прямые, то их наклон будет схожий. Иными словами для лучшего понимания диаграммы «масса-спин» на рисунке 1.8 не хватает кривых аппроксимаций, или даже нескольких – для подгрупп точек до и после изгиба.

2) Отсутствие единого стиля надписей в рисунках и таблицах. На многих рисунках (1.1-1.6, 2.1-2.3, 3.1-3.2, 3.5-3.6, 4.1-4.4, 4.6-4.9, Б.1-Б.3) и в таблицах (1, 2, 7-12, 15, 19) надписи, полные слова или единицы измерения, сделаны не на русском языке, тем более что подобные термины в других таблицах и рисунках написаны по-русски. К принятым сокращениям это замечание не относится.

3) Опечатка. На с. 71 в первой строке видимо опечатка – «В выборку включены 34 объекта..» – на деле только 33 объекта.

4) В диссертации автор оперирует целым множеством различных выборок объектов и часто указателем выборки служит просто номер статьи из списка литература. Это прилично усложняет восприятие текста и целостности диссертации, учитывая количество разных выборок, упоминающихся в работе. Хотелось бы чтобы указатель выборки состоял из, например, класса объектов и их диапазона красных смещений, что иногда встречается в работе, но и часто этого бывает не хватает...


Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку работы.

Заключение

Диссертация «Определение физических параметров сверхмассивных чёрных дыр и исследование радиосвойств активных ядер галактик» Михайлова Александра Геннадьевича является законченной научно-исследовательской работой на актуальную и важную тему. В работе приведены новые научные результаты, имеющие существенное значение для развития астрофизики внегалактических радиоисточников. Вынесенные на защиту результаты докладывались на отечественных и международных конференциях и опубликованы в зарубежных и отечественных изданиях (из списка ВАК).

Диссертационная работа «Определение физических параметров сверхмассивных чёрных дыр и исследование радиосвойств активных ядер галактик» соответствует критериям Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, а её автор, Михайлов Александр Геннадьевич, заслуживает присуждения искомой степени по специальности 01.03.02 – «Астрофизика и звёздная астрономия».

Официальный оппонент:
кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник ИПА РАН,
Харинов Михаил Александрович


2022-08-25 (подпись)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт прикладной астрономии Российской академии наук
Санкт-Петербург, 191187, наб. Кутузова, 10,
тел. +7 (960) 278-52-19, эл. почта: kharinov@iaaras.ru

Подпись Харинова Михаила Александровича заверяю:
и.о. директора ИПА РАН,
кандидат физико-математических наук,
Щуйгина Надежда Витальевна



(подпись)
25.08.2022