

Отзыв официального оппонента

на диссертацию **Михайлова Александра Геннадьевича**

"Определение физических параметров сверхмассивных черных 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

Исследование активных ядер галактик (АЯГ) и их наиболее удаленных от нас представителей - квазаров, представляет особый научный интерес как с точки зрения космологии и эволюции параметров сверхмассивных черных дыр (СМЧД) со временем, так и для исследования физических процессов, происходящих в непосредственных окрестностях этих уникальных объектов Вселенной. В связи с этим тематика представленной диссертации является чрезвычайно **актуальной**.

В диссертационной работе А.Г.Михайлова предпринята попытка комплексного исследования параметров СМЧД с использованием опубликованных оптических и рентгеновских наблюдательных данных, а также опубликованных и оригинальных радиоастрономических данных, полученных с непосредственным участием диссертанта на крупнейшем отечественном радиотелескопе РАТАН-600.

Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка литературы и двух приложений, общим объемом 152 страницы, включая 38 рисунков, 21 таблицу и 204 ссылки на литературу.

Во **Введении** автор обосновывает актуальность темы диссертации, перечисляет цели работы, формулирует ее научную и практическую значимость. Перечисляются положения, выносимые на защиту, приводится информация об апробации работы. Отдельным пунктом освещен личный вклад автора в работу и перечислены российские и зарубежные публикации автора в изданиях из перечня ВАК.

Необходимо отметить, что **апробация** работы обеспечена многочисленными выступлениями диссертанта на российских и международных научных конференциях. Основные положения диссертации

опубликованы в 11 статьях в ведущих международных и российских рецензируемых журналах мирового уровня, входящих в Перечень ВАК.

Первая Глава посвящена разработке и применению метода определения спина черных дыр, основанного на моделях энерговыделения в АЯГ в форме релятивистских джетов. Используются две гибридные модели, привлекающие широко известные механизмы Блэнфорда-Знаека и Блэнфорда-Пейна : модель Мейера и модель flux-trapping.

Диссертантом для каждой из двух моделей **выведены** уравнения, в которых соотношение между мощностью джета и болометрической светимостью аккреционного диска является функцией спина черной дыры. Полученные уравнения позволили Михайлову А.Г. получить **новые** значения ограничения спина для нескольких десятков АЯГ и квазаров (используя опубликованные значения болометрических светимостей) и сравнить их результатами, полученными методом отражательной рентгеновской спектроскопии (XRS). **Практическим** результатом данной главы являются диаграммы "массы - спин", которые могут представлять **научный интерес** в вопросе о характере и эволюционной истории аккреции на центральную СМЧД.

Вторая Глава посвящена определению величины магнитного поля в центральных областях АЯГ. Михайловым А.Г. получены ограничения на величину магнитного поля на последней устойчивой орбите в аккреционном диске и на горизонте событий для выборки 28 радиоквазаров, для которых величина спина СМЧД определена методами, отличными от использованного в первой главе. Диссертантом установлено, что для объектов с малым значением спина величина магнитного поля превосходит значение, соответствующее случаю равномерного распределения, то есть равенству плотности давления магнитного поля и аккрецирующего вещества. Полученный результат требует разработки механизма существенного усиления магнитного поля. В данной главе диссертантом выведено соотношение, связывающее величину магнитного поля на горизонте событий СМЧД с величинами, определяемыми из оптических наблюдений - полушириной FWHM эмиссионной линии H_{beta}, углом наклона аккреционного диска и спином. Это соотношение применено для 52 объектов, для которых спин определен по опубликованным спектрополяриметрическим наблюдениям на 6-м телескопе БТА, либо методом рентгеновской отражательной спектроскопии. Важными **практическими результатами** исследования в данной главе являются - найденные диссертантом типичное значение магнитного поля на горизонте событий СМЧД порядка 10^4 Гаусс и обратная зависимость в величине магнитного поля от массы СМЧД.

В третьей Главе диссертантом обосновывается **актуальность** исследования в широком диапазоне частот популяции радиогалактик типа FR0 с компактными (радио) ядрами, и являющимися многочисленными объектами в ближней Вселенной. Отмечается, что несмотря на сравнительную многочисленность радиоисточников данного типа, природа радиогалактик FR0 и связь с другими классами радиоисточников остается малоизученной. В связи с этим, начиная с 2020 года с **активным участием** диссертанта на РАТАН-600 **выполнена** программа квазиодновременных наблюдений 34-х источников типа FR0 в диапазоне частот 1.25 - 22.3 ГГц. Этот диапазон существенно дополняет область радиочастот, в которых данный тип объектов наблюдался на зарубежных радиотелескопах. На основании полученных **оригинальных, новых** наблюдений на РАТАН-600 в сочетании с опубликованными данными диссертантом исследуются основные свойства FR0 - характер радиоспектра, доминирующая форма мгновенных спектров, радиосветимость, степень доминирования радиоядра. Обсуждается местоположение FR0 на фундаментальной плоскости АЯГ и связь радиогалактик с GPS источниками, исследуется переменность радиоспектров на шкале времени 1-1.5 лет. Результаты, полученные в данной Главе, являются **новыми и оригинальными**.

Четвертая глава посвящена исследованию радиосвойств далеких АЯГ - квазаров и блазаров на красных смещениях $z > 3$. В ней приводятся результаты определения радиосвойств для выборки 102 объектов на основе измерений спектральных плотностей потока по наблюдениям на РАТАН-600 в 2017 - 2020 гг. - вычисленные диссертантом радиосветимости и радиогромкости, исследование возможной корреляции спектральный индекс - красное смещение. На основе усредненного радиоспектра квазаров в интервале $z = 3 - 3.8$ показано доминирование компактного радиоядра в суммарном спектре и отсутствие эволюции радиоспектра в исследуемом диапазоне красных смещений. Во второй части четвертой главы приводятся результаты исследований радиосвойств и переменности уникальных и наиболее далеких из известных на данный момент блазаров на красных смещениях $z > 5$. **Практическим результатом** данной главы являются **новые наблюдательные данные РАТАН-600** для далеких квазаров, которые существенно дополняют имевшийся ранее дефицит опубликованных радиоизмерений для далеких источников.

В Заключении приведены основные результаты и выводы диссертационной работы.

В **Приложении А** приведена Таблица с **результатами измерений** диссертантом спектральных плотностей потока для 34-х радиогалактик FR0 по наблюдениям на РАТАН-600 в диапазоне 2.25 - 22.3 ГГц.

В **Приложении Б** приведены Рисунки с континуальными радиоспектрами выборки 34-х FR0 галактик.

Работа написана очень ясным и грамотным языком, позволяющим понять все детали проделанного автором исследования.

Представленная к защите диссертация не лишена и некоторых недостатков:

1. В Таблице 1 на стр. 22 приведены значения спинов СМЧД, полученные с использованием гибридных моделей, в сравнении с методом XRS. В тексте указывается, что полученные диссертантом оценки значений спинов не противоречат имеющимся данным. Однако из данных Таблицы 1 видно, что для ряда источников значения spin (M) и spin (FT) значительно отличаются от spin (XRS) как в большую, так и в меньшую стороны. В диссертации не дается пояснений, чем эти отличия могут быть вызваны ?

2. На Рис. 1.8 на стр. 37 приводится диаграмма "Масса - спин", полученная диссертантом для 40 АЯГ на красных смещения $z \sim 4.8$. В тексте делается вывод, что на значениях массы $\log M(\text{BH})/M_{\odot} \sim 9$ наблюдается излом в зависимостях "Масса - спин", как для расчетов в рамках модели Мейера (M), так и в рамках модели FT. Из текста работы неясно, получен ли данный вывод об изломе зависимостей на основе каких-либо статистических расчетов, либо он основан на визуальном восприятии полученных диаграмм?

Указанные недостатки имеют технический характер, не умаляют научных достоинств диссертации, и не влияют на результаты, выносимые на защиту.

В целом, диссертация Михайлова А.Г. представляет собой комплексное научное исследование с **новизной** в значениях полученных основных физических параметров исследуемых источников и **оригинальных** результатов, полученных по радионаблюдениям на РАТАН-600.

Результаты, полученные в диссертации Михайлова А.Г. могут быть использованы в ГАИШ МГУ, САО РАН, ИНАСАН, КФУ, КрАО, ГАО РАН и в других отечественных и зарубежных организациях, занимающихся исследованиями активных ядер галактик и квазаров.

Автореферат полностью соответствует структуре и содержанию диссертации.

Считаю, что диссертация "Определение физических параметров сверхмассивных черных дыр и исследование радиосвойств активных ядер галактик", удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор - **Михайлов Александр Геннадьевич**, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 - Астрофизика и звездная астрономия.

Профессор кафедры астрономии и космической геодезии Института Физики Казанского (Приволжского) федерального университета,
доктор физ.-мат. наук, доцент

Бикмаев Ильфан Фяритович

ул. Кремлевская, д. 18,
г. Казань, 420008
телефон (843)-292-77-97
электронный адрес:
ibikmaev@yandex.ru

16 сентября 2022 года

