

## СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета Д 002.203.01

протокол №93 от 16 октября 2015 г.

Председатель: доктор физ.-мат. наук, профессор  
КЛОЧКОВА Валентина Георгиевна

Ученый секретарь: кандидат физ.-мат. наук  
ШОЛУХОВА Ольга Николаевна

Состав совета - 19 человек, присутствуют - 13:

1. д.ф.-м.н Клочкова В.Г. 01.03.02
2. к.ф.-м.н Шолухова О.Н. 01.03.02
3. д.ф.-м.н Афанасьев В.Л. 01.03.02
4. д.ф.-м.н Верховданов О.В. 01.03.02
5. д.ф.-м.н Глаголевский Ю.В. 01.03.02
6. д.ф.-м.н Бескин Г.М. 01.03.02
7. д.ф.-м.н Засов А.В. 01.03.02
8. д.ф.-м.н Мингалиев М.Г. 01.03.02
9. д.ф.-м.н Панчук В.Е. 01.03.02
10. д.ф.-м.н Романюк И.И. 01.03.02
11. д.ф.-м.н Трушкин С.А. 01.03.02
12. д.ф.-м.н Богод В.М. 01.03.02
13. д.ф.-м.н Щекинов Ю.А. 01.03.02

Disk1, file0005:

**Председатель:** Уважаемые коллеги на этом заседании диссертационного совета у нас рассматривается работа на соискание степени кандидата физико-математических наук. Автор работы Тимур Васильевич Муфахаров. Работа выполнена в Специальной астрофизической обсерватории РАН. Работа называется «Наблюдательные характеристики широкодиапазонного излучения блазаров». Научный руководитель: доктор физ.-мат. наук, старший научный сотрудник Мингалиев Марат Габдуллович. Официальные оппоненты: кандидат физ.-мат. наук Горшков Александр Георгиевич ГАИШ МГУ, зав. лабораторией РАТАН-600 и второй оппонент - доктор физ.-мат. наук Ларионов Валерий Михайлович Санкт-Петербургский гос. университет, ведущий научный сотрудник, зав. лабораторией наблюдательной астрофизики. Ведущая организация: федеральное бюджетное государственное учреждение науки Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория Российской академии наук. Кворум у нас есть, мы в состоянии работать по положению. Защиту провожу я в отсутствие председателя совета, он отсутствует по уважительной причине, заседание поручено провести мне – его заместителю. Состояние дел с документами соискателя, Ольга Николаевна?

**Ученый секретарь:** Документы, необходимые для подачи дела в ВАК, соискатель предоставил. Экзамены сданы, все документы в установленном порядке заявлены.

**Председатель:** Есть вопросы к секретарю совета? Вопросов нет, поэтому мы переходим к научному сообщению. Пожалуйста, Тимур.

**Муфахаров Т.В.:** Спасибо. Добрый день! Я представляю доклад по кандидатской диссертации. Работа называется «Наблюдательные характеристики широкодиапазонного излучения блазаров», выполнена в САО. Научный руководитель доктор физ.-мат. Мингалиев Марат Габдуллович.

Целью данной работы является комплексное исследование наблюдательных характеристик блазаров и связи их излучения в различных диапазонах электромагнитного спектра. Для достижения поставленной цели были сформулированы ряд задач. Проведение многочастотных наблюдений большого списка блазаров (несколько сотен) на радиотелескопе РАТАН-600; наблюдения проводились на частотах от 2.3 до 21.7 Гигагерца в период 2010-2014 гг. Дальнейшая обработка наблюдательного материала и получение радиоспектров исследуемых объектов для ряда наблюдательных эпох. Изучение взаимосвязи излучения в джете и аккреционном диске блазаров; исследование корреляции излучения в радио/гамма диапазонах по данным РАТАН-600 с привлечением литературных данных. Также задачей было исследование параметров синхротронной компоненты спектрального распределения энергии для блазаров из списка РАТАН-600 по литературным данным; использование собственных квазиодновременных наблюдений в радио- и оптическом диапазоне ряда блазаров при решении **и** этой задачи.

Актуальность работы обусловлена тем, что многочастотные, долговременные, систематические наблюдения большой выборки блазаров имеют важнейшее значение для пополнения экспериментальной информации о радиоизлучении блазаров. Подобные измерения активных галактических ядер, и блазаров в частности, в радиодиапазоне проводятся всего несколькими обсерваториями в мире. Актуальным является разнообразие списка исследуемых блазаров: в настоящее время экспериментальная информация в широком диапазоне частот имеется только для части объектов. Исследуемый список включает не только яркие блазары, но и слабые, что само по себе актуально: обычно только яркие объекты наблюдаются интенсивно и предположения о природе блазаров основаны на таких измерениях. Исследование связи излучения в различных частях электромагнитного спектра - одна из актуальных задач в исследовании блазаров, решение которой поможет внести ясность в вопросах строения

джета и связи между различными физическими областями в активных галактических ядрах.

В первой главе дается определение исследуемого типа объектов. В рамках унифицированной схемы, блазары относятся к активным галактическим ядрам, у которых коллимированный выброс вещества из центральной области галактики направлен под небольшим углом к наблюдателю, эта характеристика объясняет многие наблюдательные свойства этого типа объектов. У блазаров наблюдается сильная переменность во всех диапазонах, поляризация излучения, характерным для них является нетепловой спектр. На слайде схематически показаны компоненты активных галактических ядер и различные подклассы объектов согласно унифицированной схеме. В частности, здесь показаны: сверхмассивная черная дыра в центре, аккреционный диск, области образования узких и широких линий, газопылевой тор. Исторически принято к блазарам относить лацертиды, у которых линии в оптическом спектре слабые или отсутствуют, и квазары с плоским спектром. Спектральное распределение энергии блазаров выглядит особым образом, в нем выделяются две компоненты, низкочастотную приписывают синхротронному механизму излучения, а высокочастотную объясняют обратным комптоновским эффектом. По положению максимума синхротронной компоненты также в мире принято разделять блазары на высоко- низко- и промежуточно-частотные. Соответственно максимумы в этих случаях приходятся в ультрафиолетовую, рентгеновскую область в случае высокочастотных или инфракрасную в случае низкочастотного класса блазаров. Такая классификация принята в мировой литературе и также используется в данной работе.

В следующей главе дается описание телескопа РАТАН-600, данные с которого использованы в работе. Наблюдения проводились в приемных кабинах первой и второй, радиометрами континуума на частотах от 1.1 до 21.7 Гигагерца. Для обработки использовалась штатная система ФАДПС,

разработанная Олегом Васильевичем Верходановым. Далее в этой главе приводится описание выборки лацертид, которые наблюдаются на РАТАН-600. Данные измерений плотности потока лацертид с 2005 по 2014 год опубликованы в интерактивном онлайн каталоге VLcat на Web-странице обсерватории. В нем представлены квазиодновременные радиоспектры, кривые блеска по собственным данным, наряду с характеристиками источников, взятыми из литературы. На слайде показан основной вид этого каталога. Выборка блазаров, систематически наблюдаемых на РАТАН-600, всего содержит 877 объектов-блазаров, 361 из которых - это лацертиды, которые включены в упомянутый каталог.

Далее, в следующей главе, мы рассмотрели связь излучений от области образования широких линий и других диапазонов спектра. Для исследования мы взяли доступные литературные данные о потоке из этой области для 37 блазаров, для которых были доступны радиоизмерения РАТАН-600. В выборку вошли представители двух подклассов блазаров – 25 квазаров с плоским спектром и 10 лацертид. Анализировалась корреляция между потоком из области образования широких линий и потоком на четырех частотах радиодиапазона, причем в радиодиапазоне в двух состояниях – активном и спокойном. На слайде показан пример построенной зависимости поток-поток, корреляция которого и анализировалась. В результате выявлено, что для лацертид в спокойном состоянии коэффициент корреляции Пирсона примерно 0.7 на относительно высоких частотах. В активном состоянии в радиодиапазоне корреляции не обнаружено. Для квазаров с плоским спектром наибольшие значения коэффициента корреляции Пирсона также примерно 0.7 на частоте 2.3 Гигагерца. Причем в обоих состояниях в радиодиапазоне корреляция одного порядка. Для лацертид можно говорить лишь о вероятном наличии связи на некоторых частотах, число объектов в выборке очень мало, что повлияло на статистическую значимость корреляции.

Далее, исследовалась коррелированность излучений в гамма- и радио-диапазоне. Для этого была составлена выборка из 123 объектов, для которых были доступны измерения из первого каталога Ферми. Это усредненные значения потоков в 5 полосах гамма диапазона от 100 МэВ до 100 ГэВ, усредненные измерения. Также наличие квазиодновременных наблюдательных данных, полученных в тот же период на РАТАН-600 в радиодиапазоне, позволило оценить корреляцию между потоком в гамма-диапазоне и опять же усредненными измерениями на пяти частотах от 2.3 до 21.7 ГГц. На слайде показан пример построенных зависимостей поток-поток, корреляция которых и анализировалась. На этом слайде графически представлены полученные результаты – рассчитанный коэффициент корреляции Пирсона для каждой из пяти полос гамма диапазона. Они обозначены цифрами от 1 до 5. Соответственно вот полосы от 0.1 до 100 ГэВ. Они сгруппированы по пяти частотам. По вертикальной оси отложен коэффициент корреляции Пирсона. Как видим, обнаружена положительная корреляция плотности потока в радиодиапазоне с потоком в гамма-диапазоне для источников из исследуемой выборки, но есть значительный разброс в значениях коэффициента корреляции от 0 до 0.74. Для лацертид корреляция выше, чем для квазаров с плоским спектром, в полосах с низкими энергиями 0.1-1 ГэВ и частотах 2.3-4.8 ГГц. Также, для лацертид корреляция радиоизлучения примерно одного порядка и на частоте 2.3 и на 21.7 ГГц с потоком в диапазоне 0.1-0.3 ГэВ, а у квазаров с плоским спектром корреляция излучения на частоте 2.3 ГГц заметно ниже чем на частоте 21.7 ГГц. Квазары с плоским спектром обозначены черными квадратами. Для лацертид обнаруживается положительная корреляция с высоким уровнем значимости на всех рассмотренных частотах и полосах меньше 3 ГэВ. В диапазоне высоких энергий 10-100 ГэВ для лацертид корреляция потоков радио- и гамма-диапазонов практически не наблюдается. В подобной работе Акерманна и др. (2011) анализ поведения корреляции для лацертид выявил такой же результат: с увеличением энергии фотонов гамма-излучения,

корреляция с радиоизлучением уменьшается и даже исчезает. Величина коэффициента корреляции, очевидно, зависит от рассматриваемой полосы гамма-излучения - корреляция радиоизлучения на любой из рассмотренных частот корреляция выше с потоком в полосах 0.1-1 ГэВ. В целом для лацертид корреляция потоков излучения сильно зависит от гамма-диапазона, а для квазаров с плоским спектром корреляция значительно меняется и с рассматриваемой радиочастотой и с полосой гамма-диапазона. На этом слайде представлены результаты, которые я озвучил. Результаты работы не противоречат выводам, сделанным предыдущими исследователями, а дополняют их результаты более подробным представлением радиодиапазона. Полученные результаты говорят в пользу тесной взаимосвязи гамма- и радиоизлучения и образования их из одной популяции фотонов в рамках синхрокомптоновского модели излучения.

Наконец, в пятой главе мы проводили исследование синхротронной компоненты в спектральном распределении энергии блазаров из наблюдаемых на РАТАН-600. Для этого использовался наиболее полный каталог Массаро BZCAT и инструмент SED Builder, в котором в удобной форме представлены спектральные распределения энергии, которые содержат наблюдательные данные всех диапазонов различных обзоров. Мы провели аппроксимацию синхротронной компоненты и оценили значение искомого параметра частоты максимума этой компоненты для 875 блазаров из нашей выборки. Далее на основе этого провели классификацию блазаров выборки по этому параметру: большая часть объектов относятся к блазарам с низкочастотным максимумом – 611, 222 – к промежуточным и 42 – к высокочастотным. Среднее значение этого параметра, которое мы оценивали, частоты максимума для квазаров с плоским спектром на порядок меньше, чем для лацертид. Также распределение этого параметра – показано на слайде - более широкое для лацертид, чем для квазаров с плоским спектром, у которых имеется четко выраженный максимум. Для лацертид он от десяти в двенадцатой до десяти в девятнадцатой герца, для квазаров с плоским

спектром распределение уже, от десяти в двенадцатой до десяти в семнадцатой герца. Выявлено, что частота максимума и плотность потока на частоте 4.8 Гигагерца образуют разные распределения для этих двух подклассов блазаров - квазаров с плоским спектром и лацертид. Блазаров с очень высоким значением искомого параметра не выявлено, хотя кандидаты в такой класс объектов ранее рассматривались другими авторами и присутствовали в нашей выборке. Блазары с очень низким значением этого параметра чаще встречаются среди квазаров с плоским спектром, чем среди лацертид.

Результаты, полученные в работе, согласуются с результатами других авторов, полученными по выборкам со значительно меньшим числом объектов. Для определения частоты максимума синхротронной компоненты шести блазаров – кандидатов в объекты с низкочастотным максимумом – мы использовали собственные квазиодновременные наблюдения в оптическом и радиодиапазоне телескопов Цейсс-1000 и РАТАН-600, проведенные в течение нескольких недель. Результаты определения этого параметра представлены в этой таблице. Архивные данные и собственно измеренные. Пример построенного спектрального распределения вот на этом примере показан. Здесь четыре измерения радиодиапазона на РАТАНе и три измерения на Цейсс-1000. Для трех объектов из шести исследованных, подтвердилась их классификация как блазаров с низкочастотным максимумом, то есть меньше десять в тринадцатой герц.

На этом я перехожу к результатам, выносимым на защиту. Представлены на двух слайдах, пять пунктов. Если вы не возражаете, я их зачитаю. Результаты многочастотных наблюдений - измерения плотности потока на частотах от 2.3 до 21.7 ГГц; анализ радиоспектров нескольких сотен блазаров. Результаты анализа взаимосвязи излучений в джете и аккреционном диске блазаров, проведенного с использованием данных РАТАН-600 и доступных литературных данных. Показано, что состояние лацертид в радиодиапазоне

(активное или спокойное) влияет на величину коэффициента корреляции потока в радиодиапазоне и потока от области образования широких линий. Анализ корреляции излучения в гамма- и радиодиапазоне выявил значительную и статистически значимую корреляция для обоих подклассов блазаров - лацертид и квазаров с плоским спектром, для всех пяти рассмотренных радиочастот и двух гамма полос (до 1 ГэВ). Этот результат говорит в пользу тесной взаимосвязи гамма- и радиоизлучения и образования их из одной популяции фотонов. Также на защиту выносятся результаты оценки значения частоты максимума синхротронной компоненты спектрального распределения энергии для выборки 875 блазаров из наблюдательного списка РАТАН-600 по неодновременным литературным данным. На основе этого проведена классификация блазаров выборки по типу спектрального распределения энергии и найдено различие в распределении этого параметра для двух подклассов блазаров - лацертид и квазаров с плоским спектром. Результаты квазиодновременных наблюдений в оптическом и радиодиапазоне для шести объектов - кандидатов в блазары с очень низкочастотным максимумом синхротронного излучения. Определено значение искомого параметра для них и подтверждена классификация трех из них.

Здесь представлена, на этом слайде, научная и практическая новизна и значимость. Я тоже их зачитаю. Многочастотные измерения на радиотелескопе РАТАН-600 нескольких сотен блазаров, проведенные в период 2010-2014 гг., являются новыми для исследуемой выборки и представлены в каталоге VLcat. Многополосная фотометрия в оптическом диапазоне и измерения звездных величин являются новыми для исследованных блазаров. Научная ценность состоит в получении новых широкополосных радиоспектров. Результаты анализа спектральных свойств источников могут быть использованы в дальнейших экспериментальных и теоретических исследованиях природы объектов и механизмов их излучения. Интерактивный каталог измерений лацертид является новым и первым в

своем роде каталогом одновременных радиоизмерений на четырех-шести частотах и полезным инструментом в изучении эволюции синхротронных радиоспектров, кривых блеска и переменности этого типа блазаров. Результаты анализа корреляции потоков в радио- и гамма- диапазонах, выполненного с использованием почти одновременных измерений телескопов РАТАН и Ферми, получены впервые для пяти радиочастот. Частота максимума синхротронной компоненты спектрального распределения энергии, оцененная для большого числа блазаров, является важным параметром, характеризующим излучение блазаров, и полученные результаты могут быть полезными для астрофизиков, изучающих этот подкласс активных галактических ядер. Результаты анализа связи излучения в блазарах в разных диапазонах электромагнитного спектра могут использоваться в любых других исследованиях по этому направлению. Результаты исследования докладывались на международных и российских конференциях, перечисленных на этом слайде. Материалы диссертации опубликованы в двенадцати печатных работах, из них шесть - в рецензируемых журналах, которые перечислены на этом слайде. Все работы выполнены в соавторстве. Вклад диссертанта в работы с первым авторством является определяющим. В указанных работах автором проведены расчеты параметров, их анализ, получены зависимости, построены графики, иллюстративный материал, проведена обширная работа с литературными данными, также равный вклад в обсуждение результатов и публикацию статей.

Диссертация состоит из Введения, пяти Глав, Заключения, Списка цитируемой литературы из 162 наименований и двух Приложений. Объем работы - 127 страниц печатного текста, включая 27 рисунков. Спасибо за внимание.

**Председатель:** Пожалуйста, вопросы к соискателю. Первый – Юрий Андреевич.

**Щекинов Ю.А.:** Один из ваших выводов, среди выносимых в положения, связан с определением частоты максимума синхротронного излучения. У меня вопрос, либо я прослушал, либо это как-то у вас проскочило в вашем докладе. Вопрос вот какой. Как вы собственно определяли эту частоту максимума? Та одна картинка, где я увидел это явно, это по-моему на.., да вот здесь. Вот смотрите, у вас здесь разность по частотам довольно большая, если по порядку, с одной стороны это радиоспектр, с другой оптический, дальше каким образом вы проводили эту кривую? Если я проведу эту кривую как одна степенная, или скажем степенная с экспоненциальным вкладом, то у меня этот максимум может сдвинуться вправо или влево в зависимости от того что я выбрал, причем величина сдвига может достигать порядка. Каким образом у вас определялся этот максимум?

**Муфахаров Т.В.:** В случае этих шести объектов, мы использовали собственные почти одновременные измерения в радио и оптическом диапазоне, поэтому включили здесь только собственные точки, т.е., задействовали возможность получить почти одновременные измерения и на основе этого оценить этот параметр. Это было сделано для шести кандидатов. Мы проводили аппроксимацию параболой, т.е. полиномом второй степени. В случае большой выборки, которая выносится на защиту, 875 базисов, мы использовали все архивные данные, во всех диапазонах, там точек намного больше, компонента выглядит таким же образом. Общепринятой практикой в литературе и у других исследователей в мире является также аппроксимация этой компоненты полиномом второй или иногда третьей степени. В этом случае, для этой выборки, где мы определяли по литературным данным, мы аппроксимировали полиномом второй степени.

**Щекинов Ю.А.:** На самом деле, продолжение этого вопроса, вот эта область низких частот, в районе инфракрасных частот, она пустая? То есть, там нет наблюдений или есть?

**Муфахаров Т.В.:** Здесь?

**Щекинов Ю.А.:** Да, там в принципе есть наблюдения?

**Муфахаров Т.В.:** Да есть.

**Председатель:** Ну так что же?

**Щекинов Ю.А.:** Да, я понял в чем дело.

**Председатель:** Пожалуйста, Виктор Леонидович.

**Афанасьев В.Л.:** У меня два вопроса. Первое, ну с SED все понятно, вы нарисовали спектр. Мне непонятно по VL Lacertae, причем там БЛР вообще. Брод лайн риджен - это область размером около десятой парсеков, то о чем мы толкуем это область десять минус третьей парсека. Это рентген, гамма, действительно, вы говорите не о свойствах галактики, БЛР говорит о свойствах галактики, вы говорите о свойствах джета, как эти вещи соотносятся? Вообще, к счастью, что не написали слово БЛР при выносе на защиту, какие свойства области образования широких линий сравнивают со свойством джета? Это нигде не прозвучало. Это первый вопрос. Второй вопрос, вопрос Юрия Андреевича, если в радиодиапазоне синхротронное излучение относится к джету, то в оптике, часть его относится к джету. Задаю простой вопрос, а какая его часть относится к джету? Поскольку, скажем, 3C 345 это в общем-то галактика и в оптике там джет не виден, какая часть его относится трудно сказать. Кроме того, что это очень смелое проведение вот такой параболы, кроме того, что там правая часть может лежать сильно ниже, поскольку вклад собственно джета может быть очень маленький. Хотелось бы уточнить, если вы исследуете, с моей точки зрения не очень удачное название диссертации, да действительно, джеты у объектов, выделенных Ферми, у объектов типа VL Lacertae дают феномены в радиодиапазоне, но это никакого отношения, скажем, к свойствам галактики как таковой, размером парсек и дальше не имеет. Хотелось бы, чтобы вы это понимали.

**Муфахаров Т.В.:** Во втором вопросе, мы проводили аппроксимацию синхротронной компоненты, в предположений, что она образована

синхротронным излучением, т.е. присутствие галактики, теплового излучения не учитывалось.

**Афанасьев В.Л.:** Понятно.

**Муфахаров Т.В.:** В первом вопросе...

**Афанасьев В.Л.:** Где сравнение собственно с областью образования широких линий.

**Муфахаров Т.В.:** Мы исследовали, есть ли статистическая связь для выборки блазаров, в связи с тем, что аккреция вещества, которая еще и ионизирует область образования широких линий, она связана с джетом, т.е. показано было и в ранних работах, что существует связь между аккрецией вещества и излучением в джете.

**Афанасьев В.Л.:** Понятно, ладно. Я выскажусь позже, в дискуссии.

**Председатель:** Еще вопросы? Григорий, пожалуйста.

**Бескин Г.М.:** Хотелось бы уточнить условия получения гамма и радиоданных по времени, была ли там переменность в гамма и радиодиапазоне и можно ли что-нибудь сказать о временных сдвигах? Если строите корреляционную функцию, можно сравнить максимумы, понятно, да? Пожалуйста.

**Муфахаров Т.В.:** В гамма диапазоне, это первый каталог Ферми, это усредненные данные за первый год работы и переменности там...

**Бескин Г.М.:** Одна точка?

**Муфахаров Т.В.:** Да. В радиодиапазоне также, в тот период, когда были наблюдения для первого каталога, мы взяли также усредненные измерения, от пяти до десяти измерений каждого из объектов, т.е. там также усреднялись потоки.

**Бескин Г.М.:** Т.е коэффициент корреляции для усредненных для этого времени?

**Муфахаров Т.В.:** Да.

**Бескин Г.М.:** Спасибо.

**Муфахаров Т.В.:** Усредненные за какой-то период времени.

**Бескин Г.М.:** Хорошо.

**Председатель:** Так. Есть еще один вопрос.

**Моисеев А.В.:** По синхронным радио-оптическим наблюдениям. Вы как-то вычитали подстилающую галактику или для этих объектов это не существенно?

**Муфахаров Т.В.:** Нет, это существенно во многих случаях, но в нашей работе такой вычет не производили. Для корректного проведения этого необходимо, если говорить о спектре, хорошо бы иметь еще и наблюдения в тот же период времени в соседних диапазонах, наряду с оптическим и радио. Для более корректной работы со спектральным распределением. Но мы этого не делали.

**Председатель:** Еще вопрос. Пожалуйста, Юрий Андреевич.

**Щекинов Ю.А. :** Если вернуться в самом начале Вы показывали типичный спектр, двугорбую кривую. Смотрите, по вопросу Виктора Леонидовича, посмотрите сколько точек в оптической части и какой разброс по интенсивностям. Мне кажется это имеет прямое отношение к тому вопросу, который задавал Виктор Леонидович.

**Афанасьев В.Л.:** Это всё джет. Там масштабы десять в минус третьей парсек, это никакого отношения к свойствам галактики на масштабах парсек не имеет, кроме того, что там работает машина, всё с этим связано и прочее. Но на каких то масштабах, вещество в галактике, звездообразование где происходит, где умирают и рождаются звезды, где есть газ. Они забывают об

источнике. BL Lacertae это класс гигантских sd-галактик, в центре которых горит ядро, на которое мы смотрим, оно варьируется относительно яркости галактики плюс минус порядок. Если вы не знаете, насколько они варьируются, то я плохо понимаю, какую вы при этом точку ставите, это называется от фонаря.

**Председатель:** Выступать есть желающие? Спасибо большое, вы можете пока присесть. А мы перейдем к отзывам. Отзыв научного руководителя.

**Мингалиев М.Г.:** Диссертация Муфахарова посвящена одной из актуальнейших проблем современной астрофизики – исследованию активных ядер галактик. А именно, экспериментальному исследованию в широком частотном диапазоне одного из подклассов этого класса объектов – блазаров. Наиболее обсуждаемыми и важными вопросами в этой области являются: структура магнитного поля вблизи центральной машины и в джете, механизм формирования гамма-излучения, его связь с длинноволновым излучением, происхождение джета, и многие связанные с этим вопросы. Для решения поставленной задачи были использованы многочисленные экспериментальные данные, полученные как в собственных наблюдениях диссертанта, так и взятые из литературы. Наблюдательные данные РАТАН-600, широко использованные в данной работе, являются надежной наблюдательной основой для проверки и дальнейшего развития существующих теоретических моделей. Основным преимуществом использования этого радиотелескопа является его многочастотность и практически одновременность получаемых радиоданных в очень широком частотном диапазоне от 1 до 23 гигагерц. Другой особенностью этого телескопа является возможность проводить длительный и постоянный мониторинг большого числа блазаров. Анализ мгновенных радиоспектров совместно с привлечением наблюдательных данных из других диапазонов позволяет узнать характер процессов, происходящих в блазарах и уточнить параметры, связанные с их физикой и строением.

Я содержание диссертации пересказывать не буду, это было здесь уже представлено достаточно широко, перейду к общей характеристике. Тимур Муфахаров показал необходимый уровень знаний при проведении научно-исследовательских работ в области астрофизики. В ходе выполнения диссертационной работы автором проявлено умение самостоятельно ставить и решать задачи, получены и исследованы параметры спектрального распределения энергии блазаров, проведена обширная работа с литературными данными, наблюдения и обработка измерений в оптическом и радиодиапазоне. Диссертантом самостоятельно получены большинство зависимостей, построены графики, написаны тексты статей как в русско-, так и в англоязычные журналы. Его работы представлены на международных и всероссийских конференциях. Результаты научных исследований Муфахарова по теме диссертации изложены в 6 статьях, опубликованных в ведущих мировых и российских рецензируемых журналах. Автореферат работы полно отражает ее содержание. Диссертация аккуратно оформлена, ее текст изложен ясным языком.

Хочу, как руководитель, неотраженное здесь добавить устно на словах. Вот, в частности, некоторые вещи, которые недостаточно четко сформулировал диссертант, хотя в работе это показано. Здесь показан разброс данных, не хватило ума показать по обсуждаемым объектам литературные данные. На них будет такой же разброс, это как раз связано с тем, что полученные в разные эпохи на разных инструментах, порой бывает высокая внутренняя точность отдельно взятой точки, но есть систематические ошибки большие и, когда сравнивают разные эпохи дат с разных инструментов, получается такой большой разброс. При получении на одном инструменте и в одну эпоху это достаточно эффективно схлопывается. Не доставало этой картинки, чтобы показать литературные данные, здесь достаточно мотивированно использовали имеющиеся точки. Естественно, было бы хорошо получить и инфракрасные данные, учитывая наличие наблюдательной базы, но пока это у нас не получилось. В последующих наблюдениях блазаров мы планируем

выходить на другие инструменты, чтобы ставить определяющие точки в районе максимума.

Теперь заключительное положение я хочу зачитать прямо по тексту.

Полученные в диссертационной работе Тимура Васильевича Муфахарова результаты имеют важное значение для изучения механизмов формирования излучения и эволюции джетов блазаров. Диссертация по актуальности, объему проделанной работы, достоверности и значимости полученных результатов полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02, а ее автор – Муфахаров Тимур Васильевич – несомненно заслуживает присуждения искомой степени.

**Председатель:** Спасибо, Марат. У нас есть заключение семинара Специальной Астрофизической Обсерватории. Ольга зачитает.

**Ученый секретарь:** Свет включите, пожалуйста. Спасибо. Заключение.

Диссертация «Наблюдательные характеристики широкодиапазонного излучения блазаров», представляемая на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 - астрофизика и звездная астрономия, выполнена в лаборатории радиоастрофизики САО РАН. В период подготовки диссертации соискатель, Муфахаров Тимур Васильевич, работал в должности инженера и учился в очной аспирантуре САО РАН. В 2011 году Т.В. Муфахаров окончил Казанский федеральный университет по специальности астрономия. Научный руководитель – доктор физико-математических наук, заместитель директора по научной работе САО РАН Мингалиев Марат Габдуллович.

По итогам обсуждения диссертации принято следующее заключение:

В работе исследованы наблюдательные характеристики блазаров и связь их излучения в различных диапазонах электромагнитного спектра в радиодиапазоне использованы измерения РАТАН-600, в остальных

диапазонах – доступные литературные данные. В диссертации приводятся результаты многочастотных наблюдений - измерения плотности потока на частотах от 2.3 до 21.7 ГГц и анализ радиоспектров нескольких сотен блазаров, проведенных с участием автора. Анализ корреляции излучения в радио/гамма-диапазоне по данным РАТАН-600 и Fermi-LAT выявил значимую корреляцию для обоих подклассов блазаров - лацертид и квазаров с плоским спектром, для всех пяти рассмотренных радиочастот и двух гамма полос. Этот результат говорит в пользу тесной взаимосвязи гамма- и радиоизлучения и образования их из одной популяции фотонов. Полученные результаты служат подтверждением синхрокомптоновского механизма излучения в блазарах, особенно для лацертид. Выявлено, что коэффициент корреляции излучения в радио- и гамма-диапазоне чувствителен к рассматриваемой частоте для квазаров с плоским спектром. Приводятся результаты оценки значения частоты максимума синхротронной компоненты спектрального распределения энергии SED для выборки 875 блазаров из наблюдательного списка РАТАН-600 по неодновременным литературным данным. На основе этого проведена классификация блазаров выборки по типу SED и найдено различие в распределении этого параметра для двух подклассов блазаров - лацертид и

Disk1, file0006:

квазаров с плоским спектром. Приводятся результаты квазиодновременных наблюдений в оптическом и радиодиапазоне для шести объектов. Фотометрические измерения в трех фильтрах B, V, R получены автором на телескопе Цейсс-1000 САО РАН.

Научной новизной являются многочастотные измерения большого списка блазаров несколько сотен на радиотелескопе РАТАН-600, проведенные в период 2010-2014 гг. с участием автора. Многополосная фотометрия в оптическом диапазоне и измерения звездных величин проведены автором, полученные результаты являются новыми для исследованных блазаров.

Интерактивный каталог измерений объектов типа BL Lacertae на РАТАН-600 является новым и первым в своем роде каталогом одновременных радиоизмерений на четырех-шести частотах. Результаты анализа корреляции потоков в радио- и гамма-диапазонах, выполненного с использованием квазиодновременных измерений телескопов РАТАН-600 и Fermi-LAT, получены впервые для пяти радиочастот.

Достоверность результатов определяется тем, что измерения и обработка в радиодиапазоне производились на одном инструменте с использованием штатных программных средств и общепринятых методов апробированных многими исследователями, что исключает возможные систематические ошибки, возникающие при сравнении данных с разных телескопов, тем более полученных в разные эпохи. Наблюдения и обработка в оптическом диапазоне (Цейсс-1000) также проводились апробированными ранее методами, с использованием стандартных общепринятых программных средств. Научная ценность состоит в получении новых радиоспектров объектов. Результаты анализа спектральных свойств источников могут быть использованы в дальнейших экспериментальных и теоретических исследованиях. Результаты анализа связи излучения блазаров в разных диапазонах электромагнитного спектра могут использоваться в любых других исследованиях по этому направлению. Интерактивный каталог измерений объектов типа BL Lacertae является полезным инструментом в изучении эволюции синхротронных радиоспектров, кривых блеска и переменности этого типа блазаров. Все результаты, выносимые на защиту, аргументированы и подробно изложены в 6 статьях диссертанта, опубликованных или принятых к публикации в рецензируемых журналах из списка ВАК. Представленные результаты и выводы обсуждались на семинарах САО РАН, на российских и международных конференциях. Приводятся шесть статей Тимура. Все работы, перечисленные в списке публикации по теме диссертации, выполнены в соавторстве. Вклад диссертанта в работы с первым авторством является определяющим.

Семинар пришел к заключению, что представляемая диссертация является самостоятельной, законченной научно-исследовательской работой. Работа удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а диссертант заслуживает присвоения ему степени кандидата физико-математических наук. Заключение принято на заседании общего астрофизического семинара САО РАН 16 июня 2015 года. Присутствовало на заседании 29 человек. Результаты голосования: «за» - 29, «против» - 0, «воздержалось» - 0 человек.

**Председатель:** Спасибо. Отзывов на автореферат диссертации не было, поэтому мы переходим к отзывам официальных оппонентов. У нас присутствует оппонент Ларионов Валерий Михайлович. Я прошу вас высказаться.

**Ларионов В.М.:** Диссертационная работа Тимура Васильевича Муфахарова выполнена в САО РАН. Работа состоит... я не буду формальную часть воспроизводить, ее уже слышали. Диссертация посвящена одной из актуальных проблем современной астрофизики – исследованию активных ядер галактик. Действительно, несмотря на полувековой опыт исследований, до сих пор нет ясного понимания феномена АЯГ, в частности, локализации областей, излучающих в разных энергетических диапазонах, структуры магнитных полей, механизмов вспышечной и долговременной активности. Новизна работы заключается во включении в научный контекст результатов измерений плотности потоков нескольких сотен блазаров в радиодиапазоне на частотах от 2 до 21 ГГц. Эти результаты, полученные в САО с использованием современных методик и тщательно проанализированные автором, безусловно достоверны и представляют ценность и для дальнейшего анализа. Автором проведено сопоставление излучения в джетах и аккреционных дисках и сделан вывод о том, что в некоторых состояниях наблюдается корреляция между радиопотоком и потоком в области формирования широких эмиссионных линий. Впрочем, как отмечено в

диссертации, этот вывод достаточно сложно проверить, поскольку данные в коротковолновой части спектра получены за несколько лет до радиоданных, а переменность исследуемых объектов составляет десятки, если не сотни, процентов. Также новым интересным и важным результатом является обнаружение корреляций между квазиодновременными измерениями плотностей потоков BL Lac-блазаров и FSRQ в радио и гамма-диапазонах. Представляется, однако, что в силу большой зашумленности данных первого каталога Fermi LAT более надежные результаты были бы получены при использовании интегрального потока в гамма-диапазоне, а не каждой из пяти полос этого диапазона. Я думаю, это понятно, единицы потоков, которые регистрируются от прибора Fermi LAT на уровне что-то десять в минус седьмой, в ярких состояниях десять в минус шестой фотонов на квадратный сантиметр в секунду. Поэтому понятно, что даже за год наблюдений количество фотонов меряется штуками, а если учесть, что чувствительность в самых высоких частях диапазона чувствительности Ферми значительно ниже, то первый каталог очень сильно зашумлен, поэтому строить корреляции отдельно с разными частями диапазона рискованно, потому что вы можете получить все что угодно, более того хочу отметить, что не раз регистрировалось запаздывание: происходит вспышка в гамма-диапазоне, а в радиодиапазоне она развивается, запаздывая до полугода. Поэтому слово корреляция может быть не совсем уместно.

Автор в выполнении поставленной задачи продемонстрировал широкую эрудицию, знание методов и инструментов исследований в разных частотных диапазонах, хорошее знакомство с литературой по теме исследования. Производят хорошее впечатление ссылки, там, где это необходимо, на соавторов, совместно проводивших работу, а также указания на статьи автора, на которых данная глава основана. Вместе с тем имеются и замечания, как общего характера, так и по оформлению диссертационной работы. Важным параметром в классификации блазаров является положение максимума синхротронного пика. В параграфе 5.2.3 приводятся результаты определения

этого максимума, но делается это в системе отсчета наблюдателя, а не источника. Следовало бы использовать систему отсчета источника, а где это невозможно (из-за того, что красные смещения объектов неизвестны) выделить такие объекты и рассмотреть их отдельно.

В параграфе 5.3, где описаны квазисинхронные наблюдения в оптическом и радиодиапазоне, оптическая межзвездная экстинкция не учтена и, соответственно, положения синхротронных пиков определены неверно и неясно, в какой системе отсчета — наблюдателя или источника — они получены. Имеются не совсем удачные обороты и опечатки: и в диссертации, и в автореферате содержится утверждение, что активность блазаров объясняется «джетом, ориентированным под небольшим углом к наблюдателю, излучение которого носит нетепловой характер». По-видимому, имелось в виду нетепловое излучение джета, а не наблюдателя. Неоднократно встречающееся в тексте диссертации утверждение, что блазары представляют собой редкий класс объектов, вероятно, продиктовано «радиоастрономическим» восприятием этих объектов, в то время как в гамма-диапазоне из общего числа 1591 источника каталога активных ядер галактик 3LAC лишь 32 не являются блазарами. Однако вышеупомянутые недостатки не снижают в целом положительного впечатления от работы диссертанта и не умаляют актуальности, обоснованности и достоверности основных выводов и заключений диссертанта. Работа является важным достижением в исследовании физики блазаров и дает основу для дальнейшего уточнения структуры активных ядер галактик.

Все результаты, выносимые на защиту, прошли апробацию на многих авторитетных российских и международных конференциях и симпозиумах, опубликованы в ведущих астрономических журналах. Изложение и оформление диссертационной работы полностью соответствует решению и раскрытию поставленной цели. Автореферат работы полностью отражает ее содержание.

Диссертация по актуальности, объему проделанной работы, достоверности и значимости полученных результатов полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия, а ее автор несомненно заслуживает присуждения искомой степени.

**Председатель:** Большое спасибо, присаживайтесь. Пожалуйста, отвечайте на замечания.

**Муфухаров Т.В.:** Во первых, хочу сказать, что с упомянутыми неудачными оборотами согласен, благодарю за эти замечания.

По поводу определения частоты максимума синхротронной компоненты. Во второй части пятой главы положения пика получены в системе отчета наблюдателя. Почему в этой системе. Систематический мониторинг и массовое исследование лацертид на РАТАНе начались в 2006 г. в совместной работе с финскими коллегами. Частота максимума синхротронной компоненты в спектральном распределении блазаров определялась в системе отчета наблюдателя в работе Ниепполи и др. (2006). На основе этого параметра авторами проведена классификация на высоко- низкочастотные типы блазаров. Это одна из первых подобных работ по определению этого параметра. Исторически так сложилось, что блазары начали систематически наблюдать на РАТАНе, основываясь на списке из этой работы. Мы воспользовались методом, использованным в указанной статье, для определения частоты максимума синхротронной компоненты и подобным же образом провели классификацию объектов. Для части лацертид нет измеренного красного смещения и для того чтобы провести расчет единым образом и для лацертид, и для квазаров с плоским спектром мы считали частоту в системе отчета наблюдателя. Конечно, для анализа и проведения дальнейших расчетов с использованием этого параметра необходимо его

рассчитывать в системе отсчета источника, как это делалось во многих работах последних лет. Благодарю за замечание.

По поводу межзвездной экстинкции. Полностью согласен с замечанием, допущена ошибка! После учета этого поглощения, взяв соответствующие значения из базы данных NED, получены новые звездные величины и перестроены спектральные распределения энергии. Новые значения логарифма частоты максимума синхротронной компоненты для шести исследованных блазаров показаны в четвертом столбце, выделены красным, наряду с первоначально определенными. Видно, что для пяти из шести источников, кроме этого пожалуй, искомый параметр изменился незначительно. Благодарю за ценное замечание, полностью согласен.

**Ларионов В.М.:** И это все в системе отчета наблюдателя?

**Муфахаров Т.В.:** Да, в системе отчета наблюдателя.

**Афанасьев В.Л.:** Какие там красные смещения?

**Муфахаров Т.В.:** На разных, на больших вроде бы нет, но я их точно не помню.

**Афанасьев В.Л.:** У этих у всех известны красные смещения или нет?

**Муфахаров Т.В.:** Да у всех есть.

**Афанасьев В.Л.:** Спасибо.

**Щекинов Ю.А.:** Ну это сравнительно близкие, в локальной Вселенной, т.е. красные смещения у всех меньше единицы?

**Муфахаров Т.В.:** Нет, есть больше.

**Председатель:** Вас устраивает ответ?

**Ларионов В.М.:** Да, все устраивает.

**Председатель:** Так, отзыв второго оппонента зачитает секретарь совета, поскольку оппонент отсутствует.

**Ученый секретарь:** Диссертационная работа Муфахарова состоит из Введения, пяти Глав, Заключения и двух Приложений. Объем диссертации 127 страниц, включая 27 рисунков и 19 таблиц. Список цитируемых работ составляет 162 наименования. Работа посвящена изучению блазаров, составляющих достаточно редкий подкласс активных галактических ядер. Блазары примечательны проявлением активности на всем частотном диапазоне от радио до гамма, которая в рамках унифицированной модели объясняется расположением джета под небольшим углом к наблюдателю. Исследование, проведенное в работе, касается одной из актуальных проблем современной астрономии – проблемы природы АЯГ, на примере их экстремальных представителей – блазаров. Основной целью работы диссертанта было исследование наблюдательных характеристик блазаров и связь их излучения в различных диапазонах электромагнитного спектра. Во Введении диссертации автор обосновывает актуальность работы, приводит цели и задачи, научную новизну и научную и практическую ценность исследования. Общая характеристика работы и основные результаты, выносимые на защиту, также приведены во вводной части. Главу 1 можно назвать вводной, в ней дается определение активных галактических ядер и их различных типов. Особое внимание уделено блазарам и их различным классификациям. В Главе 2 описывается многолетний многочастотный мониторинг блазаров, проводимый на радиотелескопе РАТАН-600. Следует отметить, что результаты измерений плотности потока на РАТАН-600 широко использованы диссертантом в работе. В этой главе приведено описание использованного инструмента, методики наблюдений, выборки исследуемых объектов. Для общего доступа к измерениям на РАТАН-600 создан каталог лацертид, наблюдающихся на этом телескопе. Без сомнения, этот онлайн каталог - полезный инструмент и собрание данных радиодиапазона для астрофизиков, изучающих этот редкий подкласс АЯГ. В Главах 3 и 4

рассмотрены корреляции излучений различных диапазонов с излучением в радиодиапазоне: из области образования широких линий БЛР и гамма-диапазона. В первом случае использованы литературные данные различных диапазонов наряду с радиоизмерениями на РАТАН-600. Данные разнородны и неодновременны, что повлияло на значимость полученных результатов.

Анализ корреляции излучения в радио- и гамма-диапазоне, при использовании квазиодновременных наблюдательных данных телескопов РАТАН- 600 и Fermi-LAT, выявил значимую корреляцию для обоих подклассов. В результате, автором сделан вывод о тесной взаимосвязи гамма- и радиоизлучения и образования их из одной популяции фотонов. Следует отметить, что в этих главах и последующей автором проделана большая работа с литературой и работами предыдущих исследователей. Собственные результаты сравниваются с результатами других авторов, отмечаются преимущества и новизна собственных исследований. Исследованию синхротронной компоненты спектрального распределения энергии SED блазаров посвящена Глава 5. Частота максимума синхротронной компоненты - важный параметр, определяющий характер распределения энергии и класс блазара - оценен для почти 900 объектов, из списка мониторинга на РАТАН-600. Для определения этого параметра SED для шести блазаров - кандидатов в очень низкочастотные - использованы собственные наблюдения в оптическом диапазоне, проведенные квазиодновременно с радионаблюдениями. Основные результаты, полученные в работе, перечислены в Заключение. Автор продемонстрировал знание исследований в мире по теме своей диссертации - список процитированной литературы составляет 162 наименования. Работа хорошо оформлена, материала изложен достаточно ясно. Вместе с тем имеются и замечания, как общего характера, так и по оформлению диссертационной работы. При описании колонок таблиц (например, стр. 27, 36, 47) автор использует разный стиль. В тексте необходимо придерживаться единообразного стиля оформления таблиц. Есть несколько незначительных замечаний к изложению материала: Стр. 26 Глава

2, автор пишет, что источники наблюдаются 3-15 раз для увеличения надежности измерений. Не совсем понятно усредняются ли эти 3-15 измерений, или это независимые измерения? Таблица 2.1 Глава 2. В названии таблицы надо оставить или “вторичного зеркала” или “приемной кабины”. Таблица 2.2 Глава 2, в таблице представлены калибровочные источники с принятыми значениями плотностей потоков из известных работ Ott, Vaars и др. Здесь, необходимо указать, что значения плотностей потоков были пересчитаны на частоты РАТАН-600. Стр. 34 Глава 2, при описании каталога VLcat указано, что в нем представлены многочастотные измерения лацертид на РАТАН-600. В каталоге находятся измерения с 2005 г. В описании каталога не обозначено, какие измерения объектов представлены конкретно по времени наблюдения, что, несомненно, важно, когда мы говорим о долговременности. Трудно для понимания изложено описание исследуемой выборки. Как выбирались объекты? Для простоты понимания можно было перечислением описать этапы включения объектов. Стр. 54 (Глава 3). Автор пишет: “Показано, что состояние активное или спокойное влияет на характер корреляции”. Однако, при использовании неодновременных данных измерений потоков в радио и области БЛР, не совсем корректно так писать, так как здесь сравнивается активное и спокойное состояние только в радио. По полученным результатам следующие замечания: в Главе 3 использованы неоднородные и неодновременные литературные данные. Для столь переменных объектов как блазары одновременность наблюдательных данных, используемых для анализа, имеет важнейшее значение. Безусловно, этот факт повлиял на значимость полученных в этой главе результатов. Еще одно замечание касается определения частоты максимума синхротронной компоненты в спектральном распределении энергии для источника PKS 0446+11 в Главе 5. Судя по SED, полученному используя инструмент SED Builder, которым также пользовался диссертант, в оптической и УФ части спектра этого объекта присутствует тепловая компонента. В SED, представленном в диссертационной работе, две компоненты - нетепловая и

тепловая - аппроксимированы полиномом как относящиеся к синхротронной компоненте, что является ошибкой. Частота, определенная автором, не является частотой максимума синхротронной компоненты. То есть следовало учесть наличие теплового излучения в оптической части SED. В целом, диссертанту можно пожелать в дальнейшей работе уделить больше внимания физической интерпретации получаемых результатов. Однако отмеченные недостатки не влияют на в целом положительную оценку диссертационной работы. Полученные в работе результаты имеют важное значение для изучения многоволнового излучения блазаров, результаты диссертации могут использоваться в разнообразных теоретических исследованиях и применяться практически. Все результаты, выносимые на защиту, аргументированы и изложены в статьях диссертанта, опубликованных в ведущих астрономических рецензируемых журналах. Представленные результаты и выводы неоднократно обсуждались на семинарах, на российских и международных конференциях. Автореферат работы полностью отражает ее содержание. Диссертационная работа по своей актуальности, объему проделанной работы, достоверности и значимости полученных результатов удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а диссертант – Муфахаров Тимур Васильевич - заслуживает присвоения ему степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия. Заведующий лабораторией «РАТАН-600» Горшков.

**Председатель:** Спасибо. Пожалуйста, Тимур.

**Муфахаров Т.В.:** С замечаниями по изложению материала в нескольких местах и оформлению таблиц согласен. От 3-х до 15 наблюдений каждого источника усреднялись. Что касается этапов включения объектов в выборку, вопрос по Главе 2, первоначально в списке лацертид и кандидатов в лацертиды было 108 источников на основе выборки из работы

вышеупомянутой Ниепполы, они систематически наблюдались в 2006-2008 годах. В 2012 г. выборку существенно расширили, включив туда все объекты: лацертиды, кандидаты в лацертиды и блазары неопределенного типа с плотностью потока больше 400 мЯн на частоте 1.4 ГГц из каталога блазаров Массаро, в 2014 году оттуда же включили все объекты с плотностью потока больше 100 мЯн.

С замечанием по использованию неодновременных данных в Главе 3 полностью согласен. Блазары отличаются сильной переменностью на различных масштабах времени, поэтому при анализе взаимосвязи излучений различных диапазонов для них важно использовать согласованные наблюдательные данные, полученные в одно время на одну эпоху. Данные использованы неодновременные, разброс - несколько десятков лет и о влиянии этого факта на результат написано в пунктах 3.5 и 3.6. К сожалению, одновременных измерений потока из этой области и в радиодиапазоне в распоряжении автора не имелось, поэтому была проведена работа с литературой и взяты уже измеренные и опубликованные потоки из этой области из работ других авторов.

С замечанием по присутствию тепловой компоненты излучения в спектральном распределении энергии для некоторых блазаров также согласен. Для источника PKS 0446+11 это особенно заметно.

Дополнительные одновременные измерения в УФ и рентгеновском диапазоне наряду с оптическим и радиодиапазоном позволили бы точнее определить вклад теплового излучения. Благодарю за это замечание, оно будет учтено в последующей работе по этой теме.

**Председатель:** У нас остался последний отзыв - ведущей организации. Его представит Юрий Николаевич, который его и подписывал. Прошу вас.

**Гнедин Ю.Н.:** Как всегда, отзыв начинается с актуальности темы. Но поскольку много об этом говорили, я отмечу только один факт. Главной

проблемой является характер взаимодействия между аккреционным диском и релятивистским джетом. Многоволновые наблюдения переменности, а также исследования эволюции радио спектров излучения данных объектов, представленные в данной диссертации, являются эффективными инструментами для решения данных проблем. Что касается этого взаимодействия, возьмите хоть каждый день, посмотрите astro-ph - обязательно найдете одну или две работы, посвященные этой теме.

Теперь я перехожу к главному, это научная новизна основных результатов и выводов диссертационной работы. Следующие результаты, по мнению нашей организации, являются новыми. Выполнены многочастотные долговременные наблюдения на радиотелескопе РАТАН-600 большой выборки более 300 блазаров и проведен детальный анализ полученных радиоспектров. Для ряда объектов выполнена также многополосная фотометрия в оптическом диапазоне. Создан новый каталог результатов измерений объектов типа VL Lacertae на РАТАН-600 в многополосном радиодиапазоне. Выполнено детальное исследование взаимосвязи излучений в релятивистском джете и аккреционном диске. Существенный результат состоит в определении коэффициента корреляции между потоками излучения в радиодиапазоне и в области широких эмиссионных линий. Впервые выполнено детальное исследование корреляции между излучениями в радио и гамма диапазонах. Установлена зависимость такой корреляции от энергетического диапазона гамма лучей, что свидетельствует о сложности физического механизма генерации гамма излучения в активных ядрах галактик и о возможном существенном вкладе релятивистских протонов. Тоже такая интересная проблема, которая детально обсуждается. В том числе, гамма-излучение не ГэВ, а ТэВ фотонов и т.д. Определены параметры синхротронной компоненты в спектральном распределении энергии для 900 блазаров из списка мониторинга на радиотелескопе РАТАН-600.

Степень обоснованности и достоверности основных результатов диссертации. Основные результаты диссертационной работы вполне достоверны и надежны. Данные наблюдений получены на эффективно работающих телескопах РАТАН-600 и Цейсс-1000 Специальной Астрофизической Обсерватории. Надежность разработанных методов обработки данных наблюдений проверена их детальным тестированием, а также совпадением в отдельных случаях с результатами других авторов. В ряде случаев использовались штатные программные средства и общепринятые, апробированные другими исследователями методы обработки данных наблюдений. Результаты диссертации представлены на ведущих международных и российских конференциях, о чем диссертант говорил.

Научная и практическая значимость основных результатов и выводов диссертации. Научную значимость представляет эффективность развитой методики, основанной на использовании современных результатов теории активных галактических ядер и их непосредственного окружения.

Практическую значимость представляет созданный интерактивный каталог измеренных параметров излучения объектов типа BL Lacertae. В результате получен ценный материал для анализа структуры и эволюции активных галактических ядер и, в особенности, о механизмах и основных формах генерации излучения в этих объектах.

Ну, и последний пункт. Оценка диссертационной работы в целом. Данная диссертационная работа выполнена на высоком профессиональном уровне.

Имеется следующее замечание к диссертационной работе. Хотелось бы получить ответ, насколько результаты диссертационной работы влияют на часто используемые фундаментальные соотношения между радио светимостью и величиной кинетической мощности релятивистского джета.

Ну, и даю ссылку на известную, широко используемую в теории, расчетах и вычислениях работу Merloni и Heinz, которая опубликована в MNRAS, в 2007 году, а также на известное фундаментальное соотношение между радио,

рентгеновской светимостями и массой массивной черной дыры. По английский так и звучит, *fundamental relation*. Причем, чем она интересна, что бурная дискуссия и люди пишут разные соотношения между этими компонентами и пытаются, опираясь на свою выборку данных. Вот одна из последних работ появилась, тоже принадлежит Merloni и Heinz использующих популярное соотношение. Недавно Донг написал: а разница, понятно в чем дело, все зависит от Эддингтоновского фактора, т.е. первая формула применима для малых светимостей, много меньших Эддингтоновской, а вторая - наоборот. Хотелось, чтобы автор на основе этого тоже внес вклад. Для нас, теоретиков, это очень важно. Автору диссертации следовало обратить на это внимание. Конечно, следует рассматривать данное замечание как рекомендацию диссертанту для дальнейшей работы.

Диссертация Муфахарова является законченным научным исследованием, в котором представлены результаты многоволновых наблюдений блазаров и анализ наблюдательных характеристик данных объектов. Результаты диссертации опубликованы в ведущих научных журналах с высоким импакт-фактором. Апробация данной работы имеет достаточно высокий уровень. Диссертация Муфахарова удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия, а сам автор заслуживает присуждения ему искомой степени. В отзыве головной организации, раньше было, сейчас надо такое? Результаты данной диссертационной работы могут найти свое применение в таких астрономических учреждениях, как ГАИШ МГУ, Институт Астрономии РАН, САО РАН, ГАО РАН и Астрономическое отделение СПбГУ, представитель которого здесь выступал. Автореферат диссертации соответствует ее содержанию.

Отзыв обсужден и одобрен на научном собрании астрофизических подразделений ГАО РАН и подписан мною, не как зав. астрофизическим отделом, а как председателем этого собрания и утвержден, здесь я всегда

вздыхаю, так как написано врио директора ГАО РАН доктор физ.-мат. наук Юрий Анатольевич Наговицын.

**Афанасьев В.Л.:** Все врио там сидят, можете пойти им и высказать свое мнение.

**Гнедин Ю.Н.:** Уже высказал.

**Афанасьев В.Л.:** Еще пойдите.

**Председатель:** Спасибо, Юрий Николаевич. Так, Тимур, прошу ответ.

**Муфхаров Т.В.:** В цели диссертационного исследования не входило изучение влияния полученных результатов на фундаментальных соотношений радио светимость – масса черной дыры, кинетическая мощность джета. Я очень благодарен рецензенту за полезное замечание и рекомендации в направлении дальнейшей работы. Спасибо.

**Председатель:** Хорошо. Теперь переходим к общей дискуссии. Пожалуйста.

**Афанасьев В.Л.:** У меня душа болит, вот в каком смысле. У меня с одной стороны сложное отношение к написанной диссертации, с другой – простое. Как квалификационная работа, диссертация действительно демонстрирует квалификацию человека и на этом можно было бы закончить, но, поскольку мы переходим к характеристике с научной стороны, в диссертации впервые сделана попытка сравнения данных рентгена и гамма для объектов типа VL Lacertae. До сих пор, я напомним, они считались гигантским sd-галактиками, в которые мы смотрим прямо в котел по джету. Тот рисунок показанный, где двугорбое распределение, говорит об одном: у нас есть аккреционный диск, где обратный Комптон, там очень горячая плазма релятивистская и есть джет, тогда понятно – обнаруженная корреляция говорит о том, что здесь есть что-то, что их связывает. То, о чем говорил Юрий Николаевич. Эта часть диссертации заслуживает всяческих похвал. Область образования широких линий была введена оптиками, наличие широких эмиссионных линий, по

ревербации были известны размеры, радиоастрономы недостаточно глубоко восприняли это понятие. Я специально посмотрел в тексте диссертации, строится калибровочная зависимость, поток широких линий действительно зависит от болометрической светимости. Ширина линий тоже от этого зависит! Вот Юрий Николаевич очень часто пользуется этими калибровочными зависимостями для того чтобы определить массу черной дыры. Эта часть, с моей точки зрения, некорректная. Но, наверное, это можно отнести не к подзащитному, а больше к постановке задачи. Наконец, последнее, конечно название не очень удачное. По смыслу эта работа сравнивает две области, джет и аккреционный диск, результат очень интересный. Есть одна положительная сторона: попытка радиоастрономов объединить оптику и радио, кстати, Марат Габдуллович один из немногих, кто пытался сделать это объединение, оно было очень удачным, по спискам на РАТАНе были обнаружены много квазаров и лацертид. Здесь, в этой части, я бы рекомендовал уже не подзащитному, а будущему кандидату, отношение к работе все равно положительное, все-таки работать с наблюдателями-оптиками и все вот эти претензии, которые возникали от меня, вы услышали бы раньше, если пришли бы к тем, кто знает, что такое Сейфертовская галактика в оптике. И учет галактической подложки это очень серьезный момент, не учет ее по существу ваши выводы перечеркивает. В целом положительная оценка.

**Председатель:** Прекрасно. Да, Юрий Андреевич.

**Щекинов Ю.А.:** Это в каком-то смысле продолжение моего вопроса. Если говорить о спектре и определении вот этой частоты. Двугорбый спектр типичен для всего того, где активно действуют релятивистские частицы, причем разных сортов, электроны протоны и прочие. Понятное, более менее, происхождение. И здесь, не то, что меня удивило, а скорее поразило – это очень широкий разброс частот, там больше десяти порядков и очень большой разброс интенсивности, очень большой разброс точек. На всех этих частотах

очевидно, что та эмиссия, которую мы видим, в оптическом, гамма-, радиодиапазоне – каждый из этих диапазонов обладает различной инертностью, в том смысле, что в каждом из этих диапазонов переменность может характеризоваться разными временами, существенно разными характерными временами. Вот такая кривая, очевидно, есть. Сама попытка этого нахождения, интерпретации, нахождения максимума частоты, нахождения корреляции сама она вызывает уважение, тем, что это очень смелая попытка и они просто нужны, такого рода попытки. Другое дело, что в этом случае, может быть, нужны какие-то другие оговорки в каждом случае, но, учитывая молодость претендента, можно счесть это то ли смелостью, то ли наглостью, то ли неизвестно чем. В целом это нужно услышать, к этому нужно прислушаться. Дальше можно говорить о степени точности вот этой оценки. Если взять порядок интенсивности, разброс интенсивности, который мы видим, если учесть два порядка разброса по этой широкой полосе по частотам, то вот здесь должна быть оговорка, по крайней мере, плюс минус порядок, мне кажется.

**Афанасьев В.Л.:** Две с половиной звездной величины.

**Щекинов Ю.А.:** Ну да. Но в целом, если вернуться, у меня тоже сложное отношение к этой работе, но в целом очень позитивное. Когда смотрите хорошую картину, вы чувствуете, что она хорошая картина, т.е. хороший набор цветов и тема и все прочее, но не можете для себя решить, что она затрагивает. В целом очень позитивное отношение и более того, если говорить о квалификационном уровне, здесь вот он отражен -

Disk1, file0007:

шесть публикаций, четыре из них в Бюллетене, одна в *Astronomy & Astrophysics*, другая в *Monthly Notices*. В трех из них он является первым автором, так что квалификацию, как мне кажется, он свою подтвердил. И потом видно, как он себя вел. Поэтому, безусловно, я буду голосовать «за». И

по поводу названия, мне название нравится. Тут же не говорится о джетах, дисках, о чем-то таком. Здесь говорится просто о характеристиках блазаров.

**Афанасьев В.Л.:** Пища для ума появилась, как у теоретика.

**Председатель:** Григорий Меерович.

**Бескин Г.М.:** По существу, работа посвящена, в основном, исследованию процессов, происходящих в джете. Это все понимают. Связь с галактикой и диском это в меньшей степени там присутствует. В этом контексте многочастотность и многодиапазонность наблюдений является принципиальной, потому что в джетах любых объектов, которое имеет место быть, начиная с двойных звезд и кончая гамма-всплесками, это принципиальная вещь. А именно, соотношение спектров в разных диапазонах и что принципиально важно – это конечно, переменность. В этом контексте, как первый шаг многодиапазонных наблюдений, это конечно очень важно и нужно, заслуживает всяческих похвал. Если говорить о продолжении, которое может быть создано – новые наблюдения на основе этой выборки – то, конечно же, нужно стремиться к увеличению временного разрешения в радиодиапазоне и, разумеется, в гамма-диапазоне. И уже не просто находить коэффициенты корреляции, да они есть, но на годичной шкале сравнивать в одной ли области, есть ли запаздывание, что принципиально для выбора механизма, конечно пока невозможно, но это необходимо.

И вторая вещь, конечно очень важная, связанная с направленными пучками частиц, что имеет место быть в джетах, это, конечно, поляризация. Если в гамма-диапазоне она практически неизмерима в настоящее время, то в оптике и радиодиапазоне, конечно, она измеряется, вот здесь можно было бы посмотреть. Не знаю, может быть в старых данных есть в разных поляризациях. Уже можно посмотреть какая, и сравнение степеней поляризации, скажем, в радио и оптике здесь было бы очень сильно в плане

продолжения этой работы. В целом работа заслуживает, можно говорить об апробации и т.д. Она вполне хороша и имеет перспективы, это очень важно.

**Председатель:** Спасибо большое. Еще есть желающие высказаться? Нет. Очень хорошо, мы предоставим слово соискателю. Тимур, слово за вами.

**Муфухаров Т.В.:** Я благодарен всем собравшимся, членам диссовета, оппонентам, рецензентам, ведущей организации за все полезные замечания, комментарии, советы по будущей работе. За помощь в организации я благодарен ученому секретарю и секретарю диссовета. Также благодарен всему коллективу обсерватории и в особенности радиоастрономическому сектору. Большое спасибо Ольге Ивановне Спиридоновой, Александру Москвитину и Максиму Габдееву за помощь при проведении наблюдений на Цейсс-1000. Также благодарю всех соавторов совместных статей, в особенности своего научного руководителя Мингалиева Марата Габдулловича и Сотникову Юлию Владимировну за всестороннюю поддержку, полезные советы и большой вклад в этот труд написанный. Спасибо.

**Председатель:** Мы можем выбрать новую комиссию для тайного голосования. Я предлагаю три кандидатуры, Афанасьев, Засов, Верходанов. Кто за такую комиссию? Кто против? Все «за». Значит, комиссия приступает к голосованию.

(проводится процедура тайного голосования)

**Верходанов О.В.:** Протокол номер 93 заседания счетной комиссии созданной диссертационным советом Д 002.203.011 16-го октября 2015 года. Состав избранной комиссии: Афанасьев В.Л., Засов А.В., Верходанов О.В. Комиссия избрана для подсчета голосов при тайном голосовании по диссертации Муфухарова Тимура Васильевича на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Состав диссертационного совета утвержден в

количестве 19 человек, утвержденной приказом Мин. обр. науки от второго ноября 2012 года номер 174 нк.

Присутствовало на заседании 13 членов совета, в том числе докторов наук по профилю - 12. Роздано бюллетеней – 13, осталось нерозданными – 6, оказалось в урне бюллетеней – 13. Результаты голосования по вопросу присуждения ученой степени кандидата физ.-мат. наук Муфахарову Тимуру Васильевичу.: «за» – 12, «против» – 1, действительных бюллетеней – 0. Председатель счетной комиссии Верховданов. Члены комиссии Засов, Афанасьев.

**Председатель:** Утверждаем этот протокол. Кто за? Кто против? Воздержался? Принимается.

(Члены совета обсуждают проект заключения)

**Председатель:** Давайте проголосуем за такое заключение. Против нет, я вижу. Все, спасибо большое.

Заключение принимается единогласно в следующей редакции:

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИСЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.203.01 НА БАЗЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ  
НАУКИ СПЕЦИАЛЬНОЙ АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ  
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

**решение диссертационного совета от 16 октября 2015 г. №93**

О присуждении Муфахарову Тимуру Васильевичу, Российская Федерация, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Наблюдательные характеристики широкодиапазонного излучения блазаров» по специальности 01.03.02 – “Астрофизика и звездная астрономия” принята к защите 12 августа 2015 г., протокол № 91 диссертационным советом Д002.203.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Специальной Астрофизической Обсерватории Российской академии наук, Российская академия наук, 369167, КЧР, Зеленчукский район, п. Нижний Архыз.

Соискатель Муфахаров Тимур Васильевич, 1989 года рождения, в 2011 году окончил Казанский (Приволжский) федеральный университет, с 2011 г. по настоящее время проходит обучение в очной аспирантуре и работает в должности инженера в лаборатории радиоастрофизики в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук.

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, заместитель директора по научной работе САО РАН Мингалиев Марат Габдуллович.

Официальные оппоненты:

1. Ларионов Валерий Михайлович, доктор физико-математических наук, Санкт-Петербургский государственный университет, ведущий научный сотрудник кафедры астрофизики;
2. Горшков Александр Георгиевич, кандидат физико-математических наук, Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга МГУ им. М. В. Ломоносова, зав. лабораторией РАТАН-600;

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория, г. Санкт-Петербург, в своем положительном заключении, (составленном доктором физико-математических наук, заместителем директора по научной работе Ю.Н. Гнединым) подписанном Ю.А. Наговицыным, доктором физико-математических наук, вр.и.о. директора ГАО РАН, указала, что диссертация является законченным научным исследованием, имеет высокую степень апробации, удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – “Астрофизика и звездная астрономия”, а ее автор Т.В. Муфахаров заслуживает присуждения ему искомой степени.

Соискатель имеет 12 опубликованных работ по теме диссертации, среди которых 6 напечатаны в рецензируемых журналах (общим объемом 59 страниц), включенных в перечень ВАК. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. M. Mingaliev, Yu. Sotnikova, T. Mufakharov, A. Erkenov, R. Udovitskiy. "Gigahertz-Peaked spectrum sources. Galaxy and Quasars" Astrophysical Bulletin, Volume 68, Issue 3, pp.257-267, 2013

2. T. Mufakharov, Yu. Sotnikova, A. Erkenov, M. Mingaliev. "Study of the Relation between the Jet and Accretion-Disk Emission in Blazars Using RATAN-600 Multifrequency Data" Astrophysical Bulletin, Volume 69, Issue 3, pp.247-259, 2014

3. M. Mingaliev, Yu. Sotnikova, R. Udovitskiy, T. Mufakharov, E. Nieppola, A. Erkenov. "RATAN-600 multi-frequency data for the BL Lac objects". Astronomy and Astrophysics, Volume 572, pp. 59-62, 2014

4. T. Mufakharov, M. Mingaliev, Yu. Sotnikova, Ya. Naiden, A. Erkenov. "The observed radio/gamma-ray emission correlation for blazars with the Fermi-LAT and the RATAN-600 data". Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 450, Issue 3, pp.2658-2669, 2015

5. T. Mufakharov, Yu. Sotnikova, M. Mingaliev, A. Erkenov. "Multifrequency quasi-simultaneous observations of six low frequency peaked blazars". Astrophysical Bulletin, Volume 70, Issue 3, pp. 273-279, 2015

6. M. Mingaliev, Yu. Sotnikova, T. Mufakharov, A. Erkenov, R. Udovitskiy. "A study of the synchrotron component in the blazar spectral energy distributions". Astrophysical Bulletin, Volume 70, Issue 3, pp. 264-272, 2015

На автореферат отзывы не поступили.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается темой исследования, высокой компетентностью в вопросах, рассматриваемых в диссертационной работе.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- разработан интерактивный онлайн каталог блазаров, измерения потоков которых проведены на радиотелескопе РАТАН-600;

- выполнены измерения коэффициента корреляции потока гамма-излучения (Fermi) и радиопотоков (РАТАН) для квазаров с плоским спектром и лацертид;
- Статистически показано наличие взаимосвязи радиопотока и гамма-излучения в выборке блазаров;
- обнаружены новые кандидаты в блазары с довольно низкочастотным максимумом синхротронной компоненты спектрального распределения энергии (SED).

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- доказана применимость использования модели о синхротронном само-комптоновском механизме излучения в блазарах;
- применительно к проблематике работы эффективно использован статистический метод анализа корреляции данных на основе коэффициента корреляции Пирсона;
- изложены идеи и аргументы в пользу теории о тесной взаимосвязи гамма-излучения и радиоизлучения;
- изложены особенности теории излучения блазаров в радиодиапазоне и его связи с более коротковолновым излучением;
- изучена связь излучения в различных диапазонах электромагнитного спектра в блазарах.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- разработан интерактивный онлайн каталог лацертид, активно используемый астрономическим сообществом, исследующим этот подкласс активных галактических ядер;

- определены частоты максимума синхротронной компоненты спектрального распределения энергии — важного параметра излучения блазаров;
- создана база данных блазаров, наблюдающихся на радиотелескопе РАТАН-600, содержащая одновременные измерения потоков на четырех-шести частотах;
- представлены результаты многолетнего многочастотного мониторинга блазаров на радиотелескопе РАТАН-600.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- данные наблюдений получены на телескопах РАТАН-600 и Цейсс-1000 Специальной астрофизической обсерватории;
- измерения и обработка в радиодиапазоне производились на одном инструменте (РАТАН-600) с помощью штатных программных средств и методов. Это уменьшает систематические эффекты при сравнении данных измерений с разных телескопов;
- наблюдения и обработка в оптическом диапазоне (Цейсс-1000) проводились апробированными методами с помощью стандартных программных средств;
- результаты диссертации апробированы на международных и российских конференциях.

Личный вклад соискателя состоит в его активном участии в постановке и решении задач диссертационной работы, что включает получение различных зависимостей, расчет параметров, анализ и интерпретацию данных, написание текстов статей, работу с литературными данными, апробацию результатов исследования в устных и стендовых докладах на научных конференциях.

На заседании 16 октября 2015 г. диссертационный совет принял решение присудить Муфахарову Тимуру Васильевичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования, диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 12 докторов наук по специальности 01.03.02, участвовавших в заседании, из 13 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 12, против 1, недействительных бюллетеней 0.

Заместитель председателя

диссертационного совета



Клочкова В.Г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

Шолухова О.Н.

16 октября 2015 г.