

**Отзыв**  
**официального оппонента на диссертацию Т.В. Муфахарова «Наблюдательные характеристики широкодиапазонного излучения блазаров», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия**

Диссертационная работа Муфахарова Т.В. выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук (САО РАН). Она 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 (АЯГ). 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. Хотя синхротронный и обратный комптоновский механизмы излучения хорошо объясняют общую картину спектрального распределения энергии блазаров, некоторые детали формирования и взаимосвязи излучения требуют уточнения.

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; вводятся определения и терминология, которые будут использованы в дальнейших главах диссертации.

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 (BLR) 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 блазаров - лацертид и квазаров с плоским спектром, для всех пяти рассмотренных радиочастот (2.3-21.7 ГГц) и двух гамма полос (0.1-1 ГэВ). 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 радиотелескопе 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.

Экспериментальные данные, рассмотренные в диссертации и опубликованные в рецензируемых статьях диссертанта, являются надежной наблюдательной базой для прояснения особенностей излучения блазаров. Долговременный многочастотный мониторинг большого списка блазаров, проводящийся на радиотелескопе РАТАН-600, является актуальным исследованием объектов этого класса, с использованием возможностей радиотелескопа РАТАН-600: многочастотности, квазиодновременности наблюдений и возможности мониторинга большого списка объектов.

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.

1. При описании колонок таблиц (например, стр. 27, 36, 47 и др.) автор использует разный стиль. В тексте необходимо придерживаться единообразного стиля оформления таблиц.

Есть несколько незначительных замечаний к изложению материала:

1. 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?

2. Таблица 2.1 (Глава 2). В названии таблицы надо оставить или "вторичного зеркала" или "приемной кабины".

3. Таблица 2.2 (Глава 2), в таблице представлены калибровочные источники с принятыми значениями плотностей потоков из известных работ (Ott et al. 1994, Vaars et al. 1977 и др.). Здесь, необходимо указать, что значения плотностей потоков были пересчитаны на частоты РАТАН-600.

4. 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.

5. Трудно для понимания изложено описание исследуемой выборки. Как выбирались объекты? Для простоты понимания можно было перечислением описать этапы включения объектов.

6. 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 BLR, не совсем корректно так писать, так как здесь сравнивается активное и спокойное состояние только в радио.

По полученным результатам следующие замечания:

1. 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.

2. Еще одно замечание касается определения частоты максимума синхротронной компоненты в спектральном распределении энергии (SED) 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. Возможно, упущение этого факта привело к завышенным значениям частоты и в случаях объектов PKS 0336-01 и PKS 2230+11.

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»  
Государственного астрономического  
института им П.К. Штернберга МГУ,  
кандидат физико-математических наук

 А.Г. Горшков

07.09.2015

Подпись Горшкова А.Г. заверяю

Ученый секретарь ГАИШ МГУ  
кандидат физ.-мат. наук



С.В. Антипин