

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ П. Н. ЛЕБЕДЕВА
АСТРОКОСМИЧЕСКИЙ ЦЕНТР

На правах рукописи

УДК 524.7-1/-8

Кутькин Александр Михайлович

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕМЕННОСТИ БЛАЗАРОВ В ШИРОКОМ
ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН

Специальность 01.03.02 — астрофизика и звездная астрономия

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Москва — 2014

Работа выполнена в Астрокосмическом центре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П. Н. Лебедева Российской академии наук (АКЦ ФИАН)

Научный руководитель: **Ларионов Михаил Григорьевич** – доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник АКЦ ФИАН.

Официальные оппоненты: **Ларионов Валерий Михайлович** – доктор физико-математических наук, Санкт-Петербургский государственный университет / г. Санкт-Петербург, зав. лабораторией наблюдательной астрофизики;

Горшков Александр Георгиевич – кандидат физико-математических наук, Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова / г. Москва, зав. лабораторией «РАТАН-600».

Ведущая организация: Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук – ФГБУН / пос. Нижний Архыз, Карачаево-Черкесская республика, Россия.

Защита состоится 29 января 2015 года в 16:00 на заседании диссертационного совета Д002.023.01 ФИАН в конференц-зале Института космических исследований РАН по адресу: г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32, подъезд №2.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФИАН по адресу: г. Москва, Ленинский проспект, д. 53, а также на сайте <http://www.asc-lebedev.ru> в разделе «Диссертационный совет».

Отзывы направлять по адресу: 119991, Москва, Ленинский проспект, д. 53, ФИАН (АКЦ), диссертационный совет Д002.023.01, с электронными копиями в pdf-формате на адрес dissovet@asc.rssi.ru.

Автореферат разослан 28 ноября 2014 года.

Ученый секретарь диссертационного совета
д.ф.-м.н.

Ковалев Ю. А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Активные ядра галактик (АЯГ) — компактные объекты, расположенные в центральных областях далеких галактик. Излучение АЯГ сравнимо, а иногда значительно превосходит по мощности излучение родительской галактики. Высокая светимость АЯГ обусловлена аккрецией вещества на сверхмассивную черную дыру. В процессе дисковой аккреции формируются коллимированные релятивистские выбросы вещества (джеты), истекающие из центральных областей диска перпендикулярно его плоскости в двух противоположных направлениях. Если один из таких выбросов направлен под небольшим углом в сторону наблюдателя, об объекте говорят как о блазаре. Класс блазаров включает в себя два стандартных класса АЯГ: лацертиды и квазары с плоскими спектрами. Выброс состоит из замагниченной электрон-позитронной и (или) электрон-протонной плазмы, движущейся с релятивистскими скоростями. За счет релятивистских эффектов плотность наблюдаемая потока излучения выброса, направленного к наблюдателю, значительно усиливается, а противоположно направленного — напротив, ослабляется. В результате, в общей доле светимости блазаров доминирует усиленное излучение джета [1]. Распределение энергии в спектре имеет два широких пика: в микроволновом и в гамма диапазоне. За такое распределение ответственны, по-видимому, два основных механизма: синхротронное излучение и обратное комптоновское рассеяние [2].

Актуальность темы

Со времен открытия ([3, 4]) до сегодняшнего дня множество принципиальных вопросов о физике АЯГ остаются открытыми. Эти вопросы охватывают широчайшие области современной физики: механика и магнитогидродинамика, квантовая теория и электродинамика, общая и специальная теории относительности, космология и другие. Так, в настоящее время нет единого мнения о природе переменности АЯГ. До сих пор нет окончательного ответа на вопрос о размерах и местоположении тех компактных областей, где рождается излучение АЯГ в различных диапазонах спектра. Открытыми остаются и такие принципиальные вопросы, как: формирование и рост черных дыр в центрах галактик; эволюция и морфология АЯГ; механизмы запуска сверхсве-

товых выбросов вещества, наблюдаемые в АЯГ, и даже состав этого вещества. Поэтому каждый такой объект представляет собой уникальную физическую лабораторию для изучения этих вопросов.

Наблюдательные данные по долговременной переменности АЯГ в различных спектральных диапазонах представляют собой ценнейший, но увы, зачастую разрозненный материал, который необходимо собирать буквально по крупицам и обрабатывать совместно. Эти данные содержат важную информацию о масштабах, динамике и эволюции источников.

Радиоинтерферометрические наблюдения АЯГ обеспечивают наивысшее угловое разрешение и позволяют получать подробные изображения источников. Типичный блазар выглядит на таких картах как протяженный объект — выброс, состоящий из яркой компактной области у основания (радиодро) и протяженных оптически тонких областей. В стандартной модели ядро представляет собой поверхность с оптической толщиной $\tau \approx 1$ по синхротронному самопоглощению (фотосфера). Положение ядра зависит от частоты наблюдений (эффект смещения ядра): по мере продвижения и расширения излучающей области вдоль выброса меняется напряженность магнитного поля и плотность частиц, следовательно, меняется и оптическая толщина на данной частоте [5, 6]. Изучение данного эффекта позволяет моделировать наиболее компактные внутренние области джетов и определять ключевые физические параметры в этих областях [7, 8].

Помимо обширного теоретического интереса, исследование АЯГ подразумевает ряд практических применений, как, например, создание системы координат, основанной на прецизионной астрометрии этих объектов. Радиоинтерферометрия со сверхдлинными базами (РСДБ) позволяет измерять геодезические расстояния и координаты с высочайшей точностью, благодаря чему, например, измеряются движения материков. Говоря о радиоастрометрии, важно понимать, что одних лишь наблюдений АЯГ и фиксации их координат не достаточно: необходимо учитывать такие эффекты, как смещение радиодра [9]. Учет этого эффекта необходим также при построении карт спектрального индекса и поляризации источников [10, 11].

Цель работы

Целью работы является изучение внутренних областей релятивистских выбросов АЯГ на основе последних данных долговременного многочастотного мониторинга переменности. Решение поставленной задачи включает в себя объединение наблюдательных данных программ мониторинга объектов ЗС 273 и ЗС 454.3; проведение комплексного анализа этих данных; сопоставление и интерпретацию результатов обработки и определение параметров источников.

Научная новизна и практическая значимость работы

Мониторинг блазаров ЗС 273 и ЗС 454.3 продолжается на протяжении более 40 лет. Непрерывные наблюдения обеспечивают регулярное увеличение объема информации. В этой работе проведен комплексный анализ переменности этих источников с учетом последних наблюдательных данных. Благодаря объединению данных разных диапазонов спектра, а также добавлению новых данных, удалось получить ряд важных выводов. Так, впервые установлено, что восьмилетний цикл в ЗС 273, объявленный как период переменности источника в ряде других работ (напр. [12, 13]), прекращает свое существование после 2000 года. Также впервые найден цикл с растущим периодом в рентгеновской кривой блеска ЗС 273. В работе показано, что вейвлетный анализ является эффективным инструментом для исследования кривых блеска, т.к. позволяет проследить эволюцию циклических процессов в переменности источников.

С помощью кросс-корреляционного анализа кривых блеска получены относительные временные задержки вспышек на разных частотах. Это позволило верно спрогнозировать продолжительность вспышки 2010 – 2011 года. Для источников ЗС 273 и ЗС 454.3 впервые определен параметр k , характеризующий величину смещения ядра с частотой, причем для ЗС 454.3 — несколькими независимыми методами. Результаты свидетельствуют в пользу стандартной модели выброса Блэндфорда-Кенигла [5] с преобладанием синхротронного самопоглощения. Определен ряд параметров выбросов (напряженность магнитного поля, линейные размеры ядра и др.).

Полученные результаты существенны для дальнейшего изучения АЯГ как в режиме мониторинга, так и в интерферометрических экспериментах.

Положения, выносимые на защиту

- Результаты гармонического и вейвлетного анализа кривых блеска источника 3С 273. Объединены и исследованы современные многочастотные наблюдательные данные нескольких программ долговременного мониторинга. Проведена обработка данных различными методами и получены согласованные результаты. Показано, что циклические компоненты переменности в радиодиапазоне возникают, развиваются и исчезают в ходе эволюции источника: так восьмилетний цикл 3С 273, определенный в ряде работ как стабильный период, постепенно увеличивает свою частоту и затухает после 2000 года. В рентгеновской кривой блеска 3С 273 обнаружен цикл с переменным периодом, растущим от одного до двух лет на протяжении 1996–2006 гг.
- Результаты кросс-корреляционного анализа кривых блеска блазаров 3С 273 и 3С 454.3. Получены величины относительных временных задержек между кривыми блеска на разных частотах, и впервые определен параметр k , характеризующий величину смещения ядра с частотой. Для 3С 454.3 параметр k найден несколькими независимыми методами, с использованием РСДБ-данных. Результаты свидетельствуют в пользу стандартной модели Блэндфорда и Кенигла и подтверждают, что кросс-корреляционный анализ данных мониторинга АЯГ на одиночных антеннах представляют собой эффективный независимый инструмент для измерения эффекта смещения ядра и исследования физических условий в релятивистских струях блазаров.
- Приложения проведенного анализа. В рамках модели Блэндфорда-Кенигла проведены расчеты напряженности магнитного поля и линейных размеров ядер 3С 273 и 3С 454.3. Для последнего установлена зависимость распределения плотности электронов и напряженности магнитного поля от расстояния вдоль струи, определена скорость выброса в области ядра и его полная кинетическая светимость. Показано, что градиент внешнего давления не играет определяющей роли в геометрии выброса на масштабах 10–100 пк. А также предложена схема локализации излучающих областей в выбросе для различных диапазонов длин волн во время развития вспышки.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и заключения, содержит 2 таблицы, 45 рисунков и библиографический список из 102 наименований. Общий объем рукописи составляет 113 страниц.

Первая глава является литературным обзором, где кратко представлены современные представления об АЯГ и их наблюдательные проявления. Здесь обсуждаются актуальные вопросы исследования этих объектов, их физические свойства, классификация, исторические аспекты их изучения и т.д. Описан эффект смещения радиоядра с частотой. Приведена обзорная информация по переменности ЗС 273 и ЗС 454.3.

Вторая глава посвящена описанию использованных наблюдательных данных и исследованию отдельных кривых блеска источников ЗС 273 и ЗС 454.3. Данные в радиодиапазоне на частотах 4.8 ГГц, 8 ГГц, 14.5 ГГц получены в обсерватории Мичиганского университета, на частотах 22.2 и 36.8 ГГц — в Крымской астрофизической обсерватории и в обсерватории Метсахови. Оптические данные получены в рамках международной кооперативной программы WEBT. Данные по рентгену в двух диапазонах получены с помощью космического телескопа RXTE (Rossi X-ray Timing Explorer) и космической миссией Swift на аппаратах BAT (Burst Alert Telescope) и XRT (X-ray Telescope). В гамма диапазоне использованы данные обсерватории Fermi, полученные на инструменте LAT (Large Area Telescope). Часть данных по ЗС 273 заимствована из базы <http://isdc.unige.ch/3c273>. Для ЗС 454.3 использованы также РСДБ наблюдения, проведенные на решетке VLBA в октябре 2008 года [14]. Методика анализа кривых блеска источников включает гармонический и вейвлетный анализ. Гармонический анализ проведен двумя методами: с использованием LS-спектров и периодограммы Шустера с последующим применением одномерного алгоритма CLEAN для получения «чистого» спектра. Оба метода дают согласованные результаты, выделяя несколько гармонических составляющих. Вейвлетный анализ, в свою очередь, позволяет проследить эволюцию этих составляющих во времени. Показано, что циклические компоненты переменности возникают, эволюционируют и исчезают на времен-

ных масштабах годы – десятки лет. Восьмилетний цикл ЗС 273 присутствует на всех частотах радиодиапазона и в некоторых работах позиционируется как период переменности источника (напр. [12, 13]). Однако, в данной работе установлено, что он постепенно увеличивает частоту и исчезает после 2000 года. Большой интерес представляет обнаруженный циклический компонент в рентгеновской кривой блеска ЗС 273: он присутствует на протяжении всего ряда наблюдений, а его период плавно возрастает за это время.

Третья глава посвящена кросс-корреляционному анализу кривых блеска объектов ЗС 273 и ЗС 454.3. Определение относительных временных задержек вспышек на разных частотах проведено с помощью двух методов: интерполяционного и дискретной корреляционной функции. Оба метода дают согласованные результаты в случае исследования длинных временных рядов, однако, первый метод предпочтительнее для небольших участков кривых блеска (как то одна вспышка). При интерполировании выбирается постоянный временной шаг, равный среднему значению интервала между наблюдениями (в радиодиапазоне 4–37 ГГц данные довольно однородны с интервалом в несколько дней). Для последующей кросс-корреляции проводится исключение линейного тренда из исходной кривой блеска.

Ошибки определения задержек, как правило, вызваны двумя основными факторами: неопределенность при измерении плотности потока и случайное попадание в исследуемый ряд заведомо ложных данных. Для учета этих факторов применяются соответственно Монте Карло симуляции и модифицированный бутстрэппинг (FR/RSS) [15]. Дополнительно в данной работе предложена методика учета ошибок, связанных с относительно короткими рядами данных по отдельным вспышкам (т.е. краевых эффектов) и с пропусками между наблюдениями.

В стандартной модели неоднородного выброса Блэндфорда и Кенигла [5, 6] положение ядра, как видимого основания выброса, зависит от частоты наблюдений. Характер этой зависимости выражается в виде степенного закона $r \propto \nu^{-1/k}$, где показатель k связан с распределением плотности энергии магнитного поля и концентрации частиц, а также с показателем распределения электронов по энергиям.

Вспышка на заданной частоте происходит в тот момент, когда возмущение, распространяющееся в выбросе, проходит поверхность с оптической толщиной $\tau_{\nu_1} \approx 1$ для этой частоты. Тогда, при постоянной скорости возмущения в этой области, временная задержка вспышки пропорциональна сдвигу ядра ядра и описывается тем же степенным законом $\Delta T \propto \nu^{-1/k}$.

Таким образом, определение относительных временных задержек появления вспышек на разных частотах может быть использовано для установления величины эффекта смещения ядра с частотой. Для окончательной проверки этого утверждения проведено подробное сравнение результатов непосредственных измерений сдвига ядра и результатов кросс-корреляционного анализа кривых блеска источника 3C 454.3. Интерферометрические измерения проведены тремя независимыми методами: по измерениям размеров ядра (моделирование гауссовыми компонентами) на картах интенсивности в разных частотах, по двумерной кросс-корреляции карт и с использованием привязки к оптически тонкому компоненту, присутствующему на всех частотах.

Установлено, что смещение ядра r_c , размер ядра W_c и временной сдвиг ΔT зависят от частоты одинаковым образом: $r_c \propto W_c \propto \Delta T \propto \nu^{-1/k}$ с показателем $k \approx 0.7$. Этот важный результат позволяет не только понять природу временных задержек вспышек в блазарах, но также может значительно сэкономить ресурсы. Действительно, подход к измерению сдвига ядра на основе исследования кривых блеска выгодно отличается от проведения нескольких дорогостоящих интерферометрических сеансов для непосредственного измерения эффекта.

Четвертая глава посвящена приложениям проведенного анализа и обсуждению результатов.

Одной из возможных причин цикличности переменности АЯГ может являться сложное движение двойной системы сверхмассивных черных дыр [17, 18], бóльшая из которых обладает массивным аккреционным диском. Ударные волны, вызванные прохождением компаньона сквозь аккреционный диск, достигают истоков релятивистского выброса, порождая мощные вспышки во всех диапазонах электромагнитного спектра.

В подобных системах должны обнаруживаться три основных циклических составляющих переменности, связанных с периодом вращения центрального тела и внутренних областей диска, периодом обращения и периодом прецессии. В рамках определенных предположений (устойчивость орбиты требует положить ее размер $R > 10^{16}$ см, а наблюдения дают ограничение сверху на массу центральной черной дыры $M_{\bullet} < 10^{10} M_{\odot}$) можно рассчитать массы компонентов, размеры орбиты, температуру и плотность среды в области движения компаньона, время жизни системы до слияния и другие. Можно найти геометрические параметры аккреционного диска: его толщину, размеры и т.д. Зная температуру и плотность, можно также оценить размеры ионизованной области вокруг блазара. Отсутствие ярко выраженной периодичности (как в двойных системах звездных масс) в этих объектах может быть объяснено дополнительными эффектами, связанными с изменением геометрических характеристик (перекрытие, изменение угла наклона выброса) и неоднородностью распределения вещества в системе.

Следует отметить, что могут существовать и другие механизмы, ответственные за квази-периодичность излучения блазаров, как, например, спиралевидное движение возмущений в релятивистских выбросах (напр. [19]).

Показатель k , характеризующий сдвиг ядра может быть использован для определения ряда физических параметров источников [7, 8]. В предположении равномерного распределения плотности энергии релятивистских электронов и магнитного поля найдена напряженность и градиент последнего в области ядра, найдены линейные масштабы областей излучения на разных частотах. Линейный размер ядра блазара 3C 454.3 на частоте 43 ГГц составляет около 10 пк, а средняя напряженность магнитного поля в нем $B = 0.07 \pm 0.04$ Гс. При этом плотность частиц и напряженность поля падают с расстоянием r вдоль струи как $N \propto r^{-1.6}$ и $B \propto r^{-0.8}$ соответственно.

Полная мощность (кинетическая светимость) электрон-позитронного выброса 3C 454.3 составляет по нашим оценкам $P_j \sim 10^{44}$ эрг/с. Для электрон-протонного джета мощность выше в $m_{p+}/m_{e-} = 1836.2$ раз.

Общее значение показателя k в частотной зависимости размера и смещения ядра ЗС 454.3 в диапазоне 4.6–43 ГГц свидетельствует о том, что градиент внешнего давления не играет определяющей роли в геометрии выброса на данных масштабах (10–100 пк).

Используя измеренные относительные смещения ядра ЗС 454.3 и временные задержки вспышки, можно найти видимую скорость выброса: $\mu_{\text{app}} \simeq 0.7$ мс/год. Это значение в несколько раз выше измеренного по РСДБ наблюдениям в работах [20] и [21]. Возможно, вспышка 2008 года в ЗС 454.3 связана с экстремальным движением компонента выброса. В пользу этого говорит большой разброс скоростей разных компонентов струи в данном источнике. С другой стороны, различие измеренной скорости может отражать разные масштабы, на которых она измерена. Действительно, найденная скорость струи соответствует движению вещества во внутренних областях (порядка 1 пк), а измерения РСДБ относятся к гораздо более далеким областям джета, где наблюдаются отдельные компоненты. В этом случае скорость выброса падает с расстоянием, то есть имеет место замедление релятивистского выброса. Также может играть роль предположение о появлении вспышки: на адиабатической стадии развития вспышки (максимум постепенно падает с просветлением движущегося компонента), ее пик происходит несколько раньше, чем возмущение достигает ядра (положения $\tau_\nu \approx 1$ для стационарного выброса) [16]. Это может приводить к переоценке скорости, так как временная задержка ΔT оказывается меньше, чем реальное время, необходимое компоненту для прохождения расстояния Δr между положениями ядра на разных частотах.

Из проведенных расчетов явствует картина локализации излучающих областей в выбросе источника во время развития вспышки. В миллиметровом диапазоне вспышка появляется на характерном расстоянии от истоков выброса 10 пк, затем, через несколько месяцев, на расстоянии порядка 100 пк наблюдается максимум излучения в сантиметровом диапазоне.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации, а также приведены благодарности автора.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ

Основные результаты диссертации докладывались на внутренних семинарах и отчетных сессиях Астрокосмического Центра ФИАН, а также на следующих научных мероприятиях:

- *XXVI конференция «Актуальные проблемы внегалактической астрономии»*. ПРАО АКЦ ФИАН, 21–23 апреля 2009 г., Пущино.
- *Конференция «150 лет спектральным исследованиям в астрофизике: от Кирхгофа до наших дней» (Kirchhoff-150)*. НИИ КрАО, 7–13 июня 2009 г., Научный, Украина.
- *The X G. Gamow's Odessa Astronomical Summer Conference*. 23–28 August, 2010, Odessa, Ukraine.
- *Всероссийская астрономическая конференция «От эпохи Галилея до наших дней»*. САО РАН, п. Нижний Архыз, 13–18 сентября 2010 г.
- *XXVIII конференция «Актуальные проблемы внегалактической астрономии»*. ПРАО АКЦ ФИАН, 19–21 апреля 2011 г., Пущино.
- *The XI G. Gamow's Odessa Astronomical Summer Conference-School*. 22–28 August, 2011, Odessa, Ukraine.
- *XXIX конференция, «Актуальные проблемы внегалактической астрономии»*. ПРАО АКЦ ФИАН, 17–19 апреля 2012 г., Пущино.
- *Conference «The Innermost Regions of Relativistic Jets and Their Magnetic Fields»*. June 10-14th, 2013, the Instituto de Astrofisica de Andalucia-CSIC, Granada, Spain
- *Всероссийская астрономическая конференция «Многоликая Вселенная»*. 23-27 сентября 2013 года, Санкт-Петербург.

Основные публикации в рецензируемых изданиях:

- A1** A. E. Volvach, A. M. Kutkin, L. N. Volvach et al. — Anomalous flare activity of the blazar 3C 454.3 during 2005-2011 // *Astrophysics*, 54, 3, pp.363–370 (2011)
- A2** А. Е. Вольвач, Л. Н. Вольвач, А. М. Кутькин и др. — Многочастотные исследования нестационарного излучения блазара 3C 454.3 // *Астрономический журнал*, 88, 662, (2011)
- A3** А. Е. Вольвач, А. М. Кутькин, М. Г. Ларионов и др. — Продолжительное вспышечное явление в блазаре 3C 454.3 // *Астрономический журнал*, 90, 1, 53 (2013)
- A4** А. Е. Вольвач, А. М. Кутькин, Л. Н. Вольвач и др. — Результаты длительного мониторинга 3C 273 в широком диапазоне длин волн // *Астрономический журнал*, 90, 1, 40 (2013)
- A5** A. Kutkin, K. Sokolovsky, M. Lisakov et al. — The core shift effect in the blazar 3C 454.3 // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 437, 3396 (2014)

Личный вклад автора

Все работы выполнены в соавторстве, при этом вклад соискателя в результаты диссертации является основным и включает: постановку задачи, поиск источников, сбор и систематизацию наблюдательных данных, проведение гармонического, кросс-корреляционного и вейвлетного анализа, проведение моделирования и математических расчетов параметров источников, обсуждение, выводы и подготовку публикаций.

Литература:

- [1] M. Begelman, R. Blandford and M. Rees. *Rev. Modern Phys.*, **56**, 255 (1984).
- [2] G. Fossati, L. Maraschi, A. Celotti et al. *MNRAS*, **299**, 433 (1998).
- [3] C. K. Seyfert. *PAS*, **53**, 231, (1941).
- [4] M. Schmidt. *Nature*, **197**, 1040 (1963).
- [5] R. D. Blandford and A. Königl. *ApJ*, **232**, 34 (1979).
- [6] A. Königl. *ApJ*, **243**, 700 (1981).
- [7] A. P. Lobanov. *A&A*, **330**, 79 (1998).
- [8] K. Hirotani. *ApJ*, **619**, 1, 73 (2005).
- [9] M. J. Rioja, R. Dodson, R. W. Porcas et al. *ArXiv:astro-ph/0505475* (2005).
- [10] Y. Kovalev, A. Lobanov, A. Pushkarev, J. A. Zensus. *A&A*, **483**, 759 (2008).
- [11] T. Hovatta, M. L. Lister, M. F. Aller et al. *AJ*, **144**, 105 (2012).
- [12] J. H. Fan, Y. Liu, Y. H. Yuan et al. *A&A*, **462**, 547 (2007).
- [13] H. J. Zhang, G. Zhao, X. Zhang, J. M. Bai. *Sci. Chin.*, **53**, 252 (2010).
- [14] K. V. Sokolovsky, Y. Y. Kovalev, A. P. Lobanov et al. *ArXiv:1006.3084* (2010).
- [15] B. M. Peterson, I. Wanders, K. Horne et al. *PASP*, **110**, 660, (1998).
- [16] A. P. Marscher and W. K. Gear. *Astrophysical Journal*, **298**, 114 (1985).
- [17] Б. В. Комберг. *АЖ*, **44**, 906 (1967).
- [18] M. C. Begelman, R. D. Blandford and M. J. Rees. *Nature*, **287**, 307 (1980).
- [19] F. M. Rieger. *Chin. J. of A&A*, 5 Suppl, 305 (2005).
- [20] M. L. Lister, M. H. Cohen, D. C. Homan et al. *AJ*, **138**, 1874 (2009).
- [21] S. G. Jorstad, A. P. Marscher, V. M. Larionov et al. *ApJ*, **715**, 362 (2010).