

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. П.Н. ЛЕБЕДЕВА

СТЕНОГРАММА
ЗАСЕДАНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
Д 24.1.262.02

15 апреля 2026 года

Защита диссертации

Бутузовой Марины Сергеевны

на соискание учёной степени

доктора физико-математических наук

по специальности 1.3.1 «Физика космоса, астрономия»

*«Джеты активных ядер галактик на различных
пространственных масштабах: форма, ориентация,
физические условия и переменность наблюдаемых
параметров»*

Присутствовали члены диссертационного совета:

Лихачев Сергей Федорович, д.ф.-м.н., 1.3.1, техн. науки, заместитель председателя диссертационного совета

Тюльбашев Сергей Анатольевич, д.ф.-м.н., 1.3.1, физ.-мат. науки, заместитель председателя диссертационного совета (*присутствует удалённо*)

Шахворостова Надежда Николаевна, к.ф.-м.н., 1.3.1, техн. науки, учёный секретарь диссертационного совета

Андрианов Андрей Сергеевич, к.ф.-м.н., 1.3.1, техн. науки

Васильев Евгений Олегович, д.ф.-м.н., 1.3.1, физ.-мат. науки

Вибе Дмитрий Зигфридович, д.ф.-м.н., профессор РАН, 1.3.1, физ.-мат. науки

Занин Кирилл Анатольевич, д.т.н., 1.3.1, техн. науки

Каленский Сергей Владимирович, д.ф.-м.н., 1.3.1, техн. науки

Ковалев Юрий Андреевич, д.ф.-м.н., 1.3.1, техн. науки (*присутствует удаленно*)

Малофеев Валерий Михайлович, д.ф.-м.н., 1.3.1, техн. науки (*присутствует удалённо*)

Пилипенко Сергей Владимирович, к.ф.-м.н., 1.3.1., физ.-мат. науки

Попов Михаил Васильевич, д.ф.-м.н., 1.3.1., техн. науки (*присутствует удаленно*)

Пушкарев Александр Борисович, д.ф.-м.н., профессор РАН, 1.3.1, физ.-мат. науки (*присутствует удалённо*)

Слемзин Владимир Алексеевич, д.ф.-м.н., доцент, 1.3.1, физ.-мат. науки (*присутствует удалённо*)

Троицкий Сергей Вадимович, д.ф.-м.н., член-корреспондент РАН, 1.3.1, физ.-мат. науки

Чашей Игорь Владимирович, д.ф.-м.н., 1.3.1, физ.-мат. науки (*присутствует удалённо*)

Председатель заседания – д.ф.-м.н., зам. председателя диссертационного совета
Лихачев С.Ф.

Секретарь заседания – к.ф.-м.н., учёный секретарь диссертационного совета
Шахворостова Н.Н.

Заседание проводится с участием членов диссертационного совета в удалённом интерактивном режиме. Распорядительный акт администрации ФИАН о проведении заседания диссертационного совета с участниками в удалённом интерактивном режиме находится в приложении № 2 к стенограмме заседания.

СЕКРЕТАРЬ: Здравствуйте, уважаемые коллеги! Мы сейчас будем начинать, и перед тем, как Сергей Федорович объявит начало заседания, как обычно, предупреждаю, что у нас идёт аудиовидеозапись заседания. Поэтому все члены совета, кто присутствует удалённо, должны присутствовать в течение заседания с включёнными камерами, ну а звук включается по мере надобности, когда вы будете выступать. Если какие-то неполадки вдруг технические, кто-то отключился, нам тогда нужно будет технический перерыв объявлять на время восстановления связи. Также онлайн у нас присутствуют два оппонента, и такая же просьба к ним – быть с включенными камерами. Собственно, само заседание у нас в таком формате проходит в соответствии с распоряжением директора ФИАН. Также я должна огласить дату, у нас сегодня 15 апреля, сейчас 12 часов 3 минуты по московскому времени. Передаю слово Сергею Федоровичу Лихачеву, заместителю председателя диссертационного совета, который сегодня будет вести заседание.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Добрый день, уважаемые коллеги! Я объявляю наше заседание открытым. Я должен сейчас зачитать явочный лист всех членов

диссертационного совета, которые сегодня присутствуют. Это Лихачев Сергей Федорович, Тюльбашев Сергей Анатольевич, Шахворостова Надежда Николаевна, Андрианов, Васильев, Вибе, Занин, Каленский, Ковалев Юрий Андреевич, Малофеев, Пилипенко, Попов, Пушкарев, Слемзин, Троицкий и Чашей Игорь Владимирович. Итого у нас с вами присутствует 16 членов диссертационного совета, из них 9 присутствует очно и 7 человек онлайн. Полный состав совета 19 человек, кворум у нас есть и поэтому мы можем начинать наше заседание. Значит сегодня мы рассматриваем докторскую диссертацию Бутузовой Марины Сергеевны. Диссертация называется «Джеты активных ядер галактик на разных пространственных масштабах: форма, ориентация, физические условия и переменность наблюдаемых параметров». Еще раз повторяю диссертация докторская, специальность 1.3.1 -- физика космоса, астрономия, физико-математические науки. Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Крымской астрофизической обсерватории Российской академии наук». В период подготовки диссертации Бутузова Марина Сергеевна работала в КрАО РАН должности старшего научного сотрудника. Ведущей организацией является Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Санкт-Петербургский государственный университет. У нас три оппонента. Это Барков Максим Владимирович, доктор физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник Института астрономии Российской академии наук. Иванчик Александр Владимирович, доктор физико-математических наук, член-корреспондент Российской академии наук, ведущий научный сотрудник Физико-технического института имени Иоффе Российской академии наук. И Трушкин Сергей Анатольевич, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Специальной астрофизической обсерватории Российской академии

наук. Я прошу Надежду Николаевну огласить содержание документов соискателя.

СЕКРЕТАРЬ: Спасибо, Сергей Федорович. В аттестационном деле Марины Сергеевны имеются все необходимые документы. Заявление соискателя, копия, заверенная, диплома о кандидатской диссертации, также заключение организации, Крымской астрофизической обсерватории. Все отзывы от оппонентов и ведущей организации поступили в срок, все они удовлетворяют всем установленным требованиям. Соискатель Бутузова Марина Сергеевна, 1986 года рождения, в 2008 году окончила с отличием Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина по специальности «Астрономия» с присуждением квалификации «астронома, физика». С 2008 по 2011 годы Марина Сергеевна обучалась в аспирантуре Радиоастрономического института Национальной академии наук Украины в городе Харьков. Диссертацию на соискание учёной степени кандидата физ.-мат. наук на тему «Физические параметры килопарсековых джетов квазаров, определяемые по радио- и рентгеновскому излучению» защитила 14 июня 2012 года в специализированном ученом совете Харьковского национального университета им. В.Н. Каразина. Диплом кандидата соответствует всем требованиям. Согласно соглашению между Правительством Российской Федерации и Кабинетом Министров Украины о взаимном признании и эквивалентности документов об образовании и об ученых званиях, этот диплом признан на территории Российской Федерации, согласно этому соглашению.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Слово предоставляется Марине Сергеевне Бутузовой для доклада по диссертации. У вас 40 минут плюс 5 минут на вопросы.

ДОКЛАД СОИСКАТЕЛЯ

На экран выводится демонстрация слайдов презентации доклада соискателя. Презентация находится в Приложении № 1 к стенограмме заседания.

Слайд 1.

СОИСКАТЕЛЬ: Добрый день, коллеги. Хотелось сегодня представить свою работу об исследованиях джетов на разных пространственных масштабах. Основной акцент сделан на понимании джетов на парсековых, субпарсековых масштабах потому, что есть такой класс активных ядер галактик – блазары, джет которых направлен под малым углом к лучу зрения, и именно изменение геометрии джета приводит к изменению наблюдаемых свойств, оказывая сильное влияние на наблюдаемые параметры. Чтобы правильно восстанавливать физику объектов, нужно понять, насколько геометрия влияет на наблюдаемые величины.

Слайд 2.

Здесь представлены парсековые масштабы. Джеты на парсековых масштабах очень переменны и, в отличие от начальных представлений, компоненты распространяются под разными углами, распространяются по изогнутым траекториям. На килопарсековых масштабах джеты постоянны, не меняют ни форму, ни яркость. Поэтому даже определение скорости и угла с лучом зрения, даже оценки, являются нетривиальной задачей.

Слайд 3.

Актуальность исследования определяется тем, что активные ядра галактик самые экстремальные объекты во Вселенной. С этими объектами связаны научные достижения последнего десятилетия. И также связываются дальнейшее развитие методов наблюдения, методов детектирования, многоканальная астрономия, в

том числе то, что активные ядра галактик предполагаются источниками нейтрино. И нейтринные телескопы строятся в России.

Слайд 4.

Цель работы – собрать воедино данные, разработать модель изогнутого джета и применить ее на практике для интерпретации данных наблюдений. Сделать оценки механизмов рентгеновского излучения, скорости и направления килопарсековых джетов, связать килопарсековые и парсековые масштабы.

Слайд 5.

Задачи диссертации соответствуют целям. Задачи представлены на слайде.

Слайд 6.

Научная, практическая значимость. Разработанная модель может быть применена для других источников, причем и для тех, которые проявляют наблюдаемые свойства, совершенно отличные от тех объектов, которые исследовались. Также в работе показано, что квазипериодичность блеска, на основании которой считается, что в системе есть система компактных двойных черных дыр. Это несколько преждевременно так утверждать, необходимо дополнительное исследование, так как квазипериодичность может быть образована совсем другими причинами. И показано, что на парсековых масштабах сохраняется хорошо структурированное магнитное поле джетов в целом.

Слайды 7-8.

Диссертация состоит из четырех глав и заключения. В первой главе рассматриваются парсековые джеты и вводится модель винтового джета с нерадиальным движением компонент.

Слайды 9-10.

Такую модель необходимо ввести на основе данных длительного ряда РСДБ-наблюдений, согласно которым джеты проявляют изогнутую структуру и нерадиальное движение. Чуть больше десятка источников проявляют квазипериодические изменения позиционного угла внутреннего джета, что подтверждается и последующими данными наблюдений.

Слайд 11.

Это естественным образом объясняется в представлении винтовой формы джета. Винтовая форма джета начала рассматриваться довольно давно, может быть образована либо вследствие прецессии, либо вследствие развития неустойчивостей. Поэтому предложена модель, что поток джета представляет собой винтовую линию, намотанную на поверхность воображаемого конуса. На схеме джет представлен жирной линией. Пунктир – это та часть джета, которая находится с обратной стороны конуса от наблюдателя. Компонент джета отмечен точкой, отмечены вектора его радиального и нерадиального движения. На основе этой схемы показано изменение позиционного угла внутреннего джета. И то, что традиционно синусоидой интерпретируется – это хорошо видно, а если отношение углов раствора конуса и угла между осью конуса и лучом зрения близко к единице, то происходит сильный скачок в изменении позиционного угла внутреннего джета.

Слайд 12.

Для проверки этой модели рассматривался источник S5 0716+714. Для него ранее были разными авторами в различные эпохи наблюдения проведены оценки угла с лучом зрения, которые лежат в широких пределах. В бóльших пределах, чем то, что предполагает баллистическое движение компонент. А если предположить

небаллистическое движение, то как раз есть хорошее совпадение с тем, что наблюдается. То есть, при небаллистическом движении компонентов винтового джета, угол вектора их скорости с лучом зрения может изменяться в большем интервале, чем при баллистическом движении.

Слайд 13.

Далее, если считать, что позиционный угол джета измеряется на фиксированном расстоянии от начала джета, что эквивалентно, от вершины конуса, тогда радиояркость, тоже можно считать, что измеряется на постоянном расстоянии выше по течению, т.е. эта область РСДБ-ядра на соответствующей частоте. И оптическое излучение можно считать, что приходит от области ещё выше по течению. То есть области, ответственные за наблюдаемые величины, находятся на постоянном расстоянии от вершины конуса. И при движении спирали джета наружу, спираль не только идет наружу, но также проворачивается вокруг своей оси, и часть джета, достигающая соответствующих расстояний, имеет различный азимутальный угол. Периодическим изменением этого азимутального угла как раз и формируется периодичность в наблюдаемой величине. Тогда следует из выражения, что чем дальше от вершины конуса наблюдаемая величина образуется, тем больше период. В принципе это соответствует данным для двух источников. Видно, что период увеличивается от оптики к радиодиапазону и к изменению позиционного угла внутреннего джета.

Слайд 14.

Для джета S5 0716 различными авторами отмечалась различная видимая скорость движения внутренних и внешних деталей в разные эпохи наблюдения. Эти компоненты, возможно, находились на разных азимутальных углах, соответствующих малому и большому доплер-фактору в рассматриваемой модели. Из отношения видимых скоростей и соответствия их наблюдаемой

величине, построенной пунктирной линией, получен угол между радиальным направлением и вектором скорости компонентов.

Слайд 15.

Для следующего джета блазара ОJ 287 наблюдается характерный скачок в изменениях позиционного угла внутреннего джета. На основе данных РСДБ-наблюдений были определены период и геометрические параметры винтового джета.

Слайд 16.

Для того, чтобы восстановить полностью геометрию джета, угол ρ был определен исходя из требований большого доплер-фактора, чтобы обеспечить известные 12-летние вспышки в оптическом диапазоне, и требования большого значения отношения максимального и минимального доплер-фактора. Таким образом был оценен угол ρ и найден из периода угол между касательной к потоку джета и образующей конуса. Таким образом восстановлены геометрические параметры. Использовались формулы для неустойчивости Кельвина-Гельмгольца эмпирические, показано, что в принципе джет с такими геометрическими параметрами может формироваться за счет неустойчивости Кельвина-Гельмгольца в широком диапазоне возможных параметров: отношения плотности джета к плотности окружающей среды, числа Маха в джете.

Слайды 17-18.

Таким образом, сам винтовой джет ОJ 287 может быть образован развитием неустойчивости Кельвина-Гельмгольца, как один из вариантов, а тогда бы истинная прецессия, если она существует в данном источнике, проявлялась бы через модуляцию пиковых потоков при периодических вспышках. Из оптической кривой блеска, которая была в рамках данной модели описана вспышками, при

которых джет достигает максимальный доплер-фактор, видно качественно хорошее согласие. Тогда период прецессии в системе отчета наблюдателей 92 года, а в системе отчета источника это 1200 лет. Это уже достаточно большой период, который можно попытаться объяснить прецессией Лензе-Тирринга. Если джет формируется процессом Блэндфорда-Знайека, из внутренних частей аккреционного диска, то для этого периода потребовалась бы очень медленно вращающаяся сверхмассивная черная дыра. Другой способ – Блэндфорда-Пейна, это уже джет на больших расстояниях формируется, и, в принципе, в широком диапазоне расстояний может быть сформирована прецессия с данным периодом.

Слайды 19-20.

Таким образом, получается, что необязательно предположение о двойной компактной черной дыре в центре OJ 287, это прототип таких источников предположительно двойных черных дыр. Такое предположение о двойной черной дыре не обязательное. Далее представлена историческая кривая блеска OJ 287 и 12-летние вспышки имеют двойственную структуру. И, возможно, эта двойственная структура вызвана последовательным достижением большого доплер-фактора двумя областями в джете. И в рамках этого предположения посчитаны параметры джета в оптическом диапазоне, которые хорошо совпали с параметрами джета, определяемыми по РСДБ-данным.

Слайд 21.

Далее. Корреляция различных величин, на пример, плотность потока в разных диапазонах, позиционного угла часто исследуется для понимания физики процессов. При винтовом джете очень сильное влияние на корреляцию оказывает различие азимутальных углов областей, ответственных за формирование наблюдаемых величин. Может быть как постоянно сильная корреляция, так и

периоды сильной положительной или сильной отрицательной корреляции, либо вообще полное отсутствие корреляции.

Слайды 22-23.

Вторая глава. Моделирование поляризации в данной модели винтового джета. Формулы использованы для параметров Стокса с учетом релятивистских эффектов. Компонент джета рассматривался таким, чтобы локальная ось джета была прямой линией. Задавалось распределение электронов (указанное) и рассматривался широкий диапазон геометрических параметров джета. Далее на картинках будут точки разных цветов. Это обусловлено тем, что доплер-фактор для определенного набора параметров имеет примерно такую форму зависимости от азимутального угла. И красными точками отмечены те данные, которые получены для большого доплер-фактора, зеленые – для среднего доплер-фактора и синие – для малого доплер-фактора.

Слайд 24.

При моделировании закладывалось две топологии магнитного поля. Это винтовое магнитное поле с различным углом закрутки и топология канал-оболочка. То есть, тороидальное поле в канале, продольное в оболочке с различным радиусом, на котором происходит данный переход. И ещё дополнительно рассматривался случай, когда скорость оболочки была меньше скорости центрального канала.

Слайд 25.

В данном моделировании новым было то, что впервые разнесены такие понятия, как радиальное направление (вот оно отмечено). Радиальное направление не соответствует ни вектору скорости джета, ни направлению локальной оси джета.

В рамках такой геометрии определены компоненты вектора скорости, которые в дальнейшем использовались при моделировании.

Слайды 26-28.

Здесь представлены результаты для винтового поля с различным углом закрутки. Прежде всего, винтовое магнитное поле обеспечивает асимметрию. Хорошо воспроизводится двухпиковое поперечное распределение поляризованной интенсивности. Имеется центральный провал в степени поляризации для малых углов закрутки магнитного поля. Воспроизводится распределение электрического вектора в волне как канал-оболочка, то есть поперечный электрический вектор на краях и параллельный в центре джета, и такое асимметричное распределение, когда с одной стороны джета электрический вектор параллелен, а с другой стороны – перпендикулярен. И такое распределение всегда считалось однозначно демонстрирует направление закрутки магнитного поля. Но казалось, что это не так. Вот обратите внимание для ψ 25. То есть при другом, чуть большем угле нерадиального движения компонент стороны, где поперечный и продольный электрический вектор меняются местами. Также меняется и асимметрия. То есть это уже не однозначный способ определения закрутки магнитного поля. То же самое происходит и для бóльшего угла закрутки магнитного поля.

Слайд 29.

Здесь представлены результаты для топологии канал-оболочка. Зеленой рамкой выделена интенсивность в поляризации, слева от зеленой рамки – полная интенсивность. Воспроизводится двух и трехпиковое распределение интенсивности в поляризации. Степень поляризации выделена тоже цветом. Как и U-образные, так и W-образные распределения появляются, которые тоже наблюдаются у объектов. И в распределении электрического вектора в волне

доминирует структура канал-оболочка. То есть, в принципе, все топологии магнитного поля могут объяснить сразу распределение всех четырех параметров поляризации.

Слайды 30-31.

Относительно отдельных источников. Были выбраны джеты. Здесь на радиокарте показана полная интенсивность черным контуром. Самый низкий контур полной интенсивности смещен чуть в сторону и относительно него построен контур интенсивности в поляризации. Черточкой электрический вектор в волне показан. Цветом показана степень поляризации. Черный прямоугольник означает те области джета, для которых брались банные для сравнения с моделями. И, в принципе, видно хорошее соответствие наблюдаемых распределений с модельными. Это для случая канал-оболочка с более медленной оболочкой.

Слайды 32-33.

Для другого источника найдено соответствие с винтовым магнитным полем. И, обратите внимание, даже асимметрия, хорошо воспроизводится, с правильной стороны.

Слайд 34-35.

Третий источник соответствует топологии канал-оболочка с равными скоростями канала и оболочки.

Слайд 36.

Глава третья посвящена джетам на субпарсековых масштабах и об этих масштабах можно судить исходя из оптической переменности, из более кратковременной переменности можно делать выводы о структуре потока джета.

Слайд 37.

Исследовалась кратковременная переменность блазара S5 0716, по данным для которого и была разработана винтовая модель с нерадиальным движением компонентов. Представлены примеры ночей, когда переменность есть. Как для долговременных данных (внизу справа), так и для данных внутри ночи имеется хроматизм, то есть объект становится голубее при поярчании.

Слайд 38.

В модели винтового джета получаются периоды достаточно большие, порядка нескольких лет. В данной модели внутрисуточная переменность может быть объяснена тем, что в самом компоненте джета, представленном здесь черным кружочком, есть неоднородности. Компонент не представляет собой какой-то ламинарный поток вещества, в нем могут быть какие-то неоднородности, турбулентность и быть какие-то части, которые движутся под другим углом к общей траектории. Эти части могут иметь большой доплер-фактор и, таким образом, как бы подсвечиваться и создавать переменность на более коротких временных масштабах. Если эти части движутся в радиальном направлении от общей траектории движения, то тогда большой вклад будут давать только те, которые имеют азимутальный угол 180 градусов, то есть направлены к наблюдателю.

Слайд 39.

Но если эти части могут немного закручиваться, например, из-за развития каких-либо гидро- или магнитогидродинамических неустойчивостей в джете, закручиваться вокруг оси джета, тогда они могут достигать больших доплер-факторов на меньшем времени и уже независимо от азимутального угла относительно наблюдателя.

Слайд 40.

Если переменность на коротких масштабах также вызвана изменением доплер-фактора, то тогда изменение показателя цвета может интерпретироваться тем, что спектр излучающих электронов отклоняется от степенного закона, либо спектр излучения может отклоняться от степенного закона, например, из-за синхротронного самопоглощения. Для примера здесь показаны спектры соседних областей. То есть для одной области среда становится оптически тонкой на одной частоте, для области чуть ниже по течению – для частоты более низкой и так далее. Тогда общий спектр, который мы наблюдаем, сохраняет степенную форму. Предположим, что в джете действует синхротронное самопоглощение в оптическом диапазоне, тогда на основании этого можно считать, что субкомпонент с большим доплер-фактором подсвечивает более плоскую часть спектра излучения, что приводит к хроматизму в данных наблюдений.

Слайд 41.

По данным для вспышки внутри ночи, по изменению показателя цвета от яркости, и по данным для долговременного тренда найдены одинаковые, соответствующие друг другу частоты нулю один штрих, то есть частоты, для которых оптическая толщина среды равна единице в системе отсчета источника, и, соответственно для частоты максимума спектра в системе отсчета наблюдателя.

Слайд 42.

То, что переменность образуется за счет субкомпонент при каком-то изогнутом спектре излучения подтверждается тем, что соседние вспышки внутри ночи имеют различную зависимость показателя цвета с яркостью. Это требует либо

тонкой настройки параметров, чтобы создать различную зависимость при одинаковой амплитуде, либо такое случайное наложение субкомпонент, что представляется наиболее вероятным.

Слайд 43.

Оценка магнитного поля в предположении синхротронного самопоглощения в оптическом диапазоне выполнена по формуле сверху слайда. При этом сложно сделать оценку на размер излучающей в оптическом диапазоне области. Поэтому для оценки был взят размер, равный гравитационному радиусу и рассмотрены различные массы сверхмассивной черной дыры. Магнитное поле имеет порядок, который согласуется с другими оценками, теоретическими предположениями о том, какое магнитное поле может быть в начале джета.

Слайды 44-45.

Далее. Миссия TESS дает уникальные ряды данных на протяжении 27 дней, непрерывно на протяжении 12-13 суток, на протяжении которых можно получить с высоким временным разрешением оптическую яркость объекта. В этом плане интересно исследование характерного времени переменности, связи с другими фотометрическими параметрами переменности. Один из методов определения характерного времени переменности – структурная функция, но если использовать все данные за весь интервал, то тогда максимум структурной функции, указывающей на характерное время переменности, имеет значение, сравнимое с величиной интервала данных. Был предложен метод брать не все данные, а взять какое-то количество данных в начале, построить структурную функцию, если не обнаружен статистически достоверный максимум структурной функции не обнаружен, тогда постепенно добавлять последовательные точки из кривой блеска до тех пор, пока не будет обнаружен максимум структурной функции статистически значимый, и его положение определяет характерное

время переменности для малого интервала на кривой блеска. Затем эти данные отстраняются и берется следующий интервал на кривой блеска и увеличивается до тех пор, пока не будет найден максимум структурной функции для этого интервала. Показано, что для первой непрерывной части кривой блеска найдены три последовательно меняющиеся характерные времена переменности от полутора до трех дней, которые в общих данных никак не проявляются.

Слайды 46-47.

Перейдем к четвертой главе, посвященной килопарсековым джетам. Стимул к более детальному исследованию килопарсековых джетов был придан с запуском и началом функционирования космической рентгеновской обсерваторией «Чандра», когда можно сравнивать карты джетов в радио- и рентгеновском диапазонах с примерно одинаковым угловым разрешением. Для данного исследования были выбраны джеты, которые имеют спадающую от центрального источника яркость в рентгеновском диапазоне. Для квазара 3C 273 центральный источник находится вне пределов изображения, выше, на изображении только сам джет. Вот этот квазар был взят в данном исследовании потому, что это первый джет, обнаруженный «Чандрой», первый джет, для которого постановили, что рентгеновское излучение образуется за счет обратного комптоновского рассеяния реликтового фона. Но при этом, чтобы выполнялось условие равномерного распределения энергии, авторы посчитали, что джет должен быть ультрарелятивистским на килопарсековых масштабах и быть направленным под малым углом к лучу зрения. Тогда спад интенсивности в рентгеновском диапазоне объяснялся тем, что джет постепенно замедляется и реликтовое излучение в системе отсчета джета не так сильно усиливается, то есть плотность рассеиваемых фотонов спадает и, соответственно, спадает рентгеновская интенсивность. Но проблема этой модели в том, что она предполагает очень

высокие гамма-потоки на постоянном уровне и, с запуском Fermi-LAT, таких высоких гамма-потоков обнаружено не было.

Слайды 48-50.

Вот что ставит вопрос перед данной моделью. Если килопарсековые джеты, в которых обнаружено рентгеновское излучение сохраняются ультррелятивистскими, то тогда в них отсутствует какое-то торможение и изгиб, и это можно было бы проследить по разнице позиционных углов килопарсекового и парсекового джетов. Были составлены две выборки: джеты с обнаруженным рентгеновским излучением, джеты без обнаруженного рентгеновского излучения. Их распределение позиционных углов статистически однородно. Вне зависимости от обнаружения рентгеновского излучения, все джеты изгибаются между парсековыми и килопарсековыми масштабами. Этот угол изгиба примерно в полтора раза меньше, чем угол парсекового джета с лучом зрения.

Слайд 51.

Далее. В диссертации предполагается другой механизм образования рентгеновского излучения. Рентгеновское излучение образуется за счет рассеяния излучения центрального источника. Тогда по спаду рентгеновской интенсивности в узлах потому, что, возможно, что в дальних узлах все же происходит обратное комптоновское рассеяние на реликтовом фоне, но уже при суб-релятивистском джете, можно оценить угол джета с лучом зрения, который оказался несколько десятков градусов и, для согласования с парсековыми значениями, определить скорость килопарсекового джета, которая оказалась умеренно релятивистской.

Слайды 52-53.

Для рассмотренных джетов были определены напряженность магнитного поля и концентрация электронов, построены спектры рассеянного высокочастотного излучения. В гамма-диапазоне отмечены нижние пределы на постоянный поток. Эти спектры хорошо согласуются с указанным пределом. То есть, нет противоречий с данными наблюдений в гамма-диапазоне.

Слайд 54.

Последнее. Для джета блазара OJ 287, который проявляет такой вот изгиб, он, возможно, связан с прецессией. Тогда было бы интересно период прецессии на килопарсековых масштабах сопоставить с периодом прецессии на парсековых масштабах. Геометрия килопарсекового джета рассматривалась в двух моделях. Это модель рассеяния реликтового излучения релятивистским джетом и модель, рассматриваемая в диссертации, рассеяние излучения центрального источника. Первая модель – это серые линии, а вторая модель – черные линии. Пунктир соответствует 12-летнему периоду, сплошные линии соответствуют периоду 92 года для парсекового джета. Соответствие есть между рассматриваемыми моделями только вот в этом случае, когда рентгеновское излучение килопарсекового джета образуется за счет обратного комптоновского рассеяния центрального источника, а период прецессии на парсековых масштабах составляет 92 года. То есть прецессия винтового джета, образованного неустойчивостями.

Слайды 55-56.

Положения, выносимые на защиту. Разработана и применена модель винтового джета. Но наиболее красивый результат, я считаю, это моделирование поляризации в доказательстве того, что джеты на парсековых масштабах имеют хорошо упорядоченное магнитное поле. Показано, что для OJ 287 предположение о двойственности центральной черной дыры не является обязательным для

интерпретации наблюдаемых свойств. Представлена модель образования оптической переменности за счет постоянного возникновения и эволюции субкомпонентов. Предложен метод определения кратчайшего времени переменности. Относительно килопарсековых джетов показано, что рентгеновское излучение образуется за счет обратного комптоновского рассеяния излучения центрального источника. Определены углы с лучом зрения и скорости килопарсековых джетов. Этот метод является унифицированным и может быть применен для других источников.

Слайды 57-59.

Публикации по теме диссертации представлены на двух слайдах. Результаты диссертации докладывались на семинарах КрАО РАН, АКЦ ФИАН, на всероссийских и международных конференциях. Спасибо за внимание.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Марина Сергеевна, спасибо большое за доклад. Коллеги, пожалуйста, вопросы к соискателю.

А.Б. ПУШКАРЕВ: У меня вопрос.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Да, пожалуйста.

А.Б. ПУШКАРЕВ: Вопрос такой. Да результаты, полученные по моделированию поляризационных свойств на основе поляриметрических данных, впечатляют и выглядят очень убедительно. У меня вопрос про геометрию. Было сказано, что модель винтового джета может быть применена как на парсековых, так и на субпарсековых масштабах. Но она работает в рамках, вы сами об этом говорили, в геометрии конического джета. Можно ли применить эту модель для области джета, где он еще не разогнан, не сформирован полностью и имеет квази-параболическую геометрию? Если да, то это был бы

хороший метод для поиска области излома этой геометрии, перехода с параболической на коническую.

СОИСКАТЕЛЬ: В моей модели конус – это мнимый конус, на который наматывается поток джета и уже сам поток джета на каких-то масштабах становится коническим, а ближе к началу джета – параболический. И вот именно эта парабола в потоке джета не связана с тем конусом, который рассматривался в данной работе. В принципе, можно параболу описать как изменяющийся с расстоянием угол раскрыва конуса и вот тогда эта модель может быть применена к параболе.

А.Б. ПУШКАРЕВ: Если можно уточнить. Какие тогда данные необходимы? Это поляриметрические данные, переменность в полной интенсивности. Какие нужны данные?

СОИСКАТЕЛЬ: Наверное, это все наблюдательные данные по поляризации, тогда можно модельно задавать различное изменение формы потока джета и находить соответствие между данными наблюдений.

А.Б. ПУШКАРЕВ: Принято. Спасибо.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Ещё вопросы, пожалуйста, пожалуйста.

С.В. ТРОИЦКИЙ: Когда был рассказ про третью главу, у Вас был слайд про магнитное поле. Можно его показать? Там была картинка. Вот, проскочили. Там зеленые и синие линии. Вот эта. Меня удивляет, вы там на порядок изменили массу черной дыры, если я правильно разглядываю, а почему так сильно изменилось поле, там на четыре порядка?

СОИСКАТЕЛЬ: Потому, что имеется очень сильная зависимость от размера излучающей области.

С.В. ТРОИЦКИЙ: А, это просто через R_g ?

СОИСКАТЕЛЬ: Да, размер излучающей области для простых оценок был взят как размер гравитационного радиуса.

С.В. ТРОИЦКИЙ: Всё. Спасибо.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Пожалуйста, еще вопросы.

В.М. МАЛОФЕЕВ: Пушино. Можно вопрос?

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Пожалуйста.

В.М. МАЛОФЕЕВ: Знаете, вы очень хорошо рассказали свои результаты для людей, которые вовлечены. Вот со стороны мне хотелось бы узнать, какой вес ваших работ в общем потоке мировых данных? Вот, например, Вы в первой главе пишете, что применили винтовую модель. Но Вы ничего не говорите о том, кто предложил? Кто до Вас этим занимался? Что нового Вы сделали? То же самое по поляризации. Совершенно не понятен ваш, так сказать, бэкграунд вокруг? Какой вес Ваших работ вот в этом гигантском мировом потоке? Можно пару слов сказать, что было до Вас где-то, вы переделали, вы внесли, и что вообще впервые предложили?

СОИСКАТЕЛЬ: Относительно винтовой модели, я привнесла кручение вот этой спирали, то есть нерадиальное движение. Обычно рассматривался джет винтовой линией и баллистическое движение. Я привнесла то, что эта спираль ещё прокручивается, когда джет распространяется наружу, он ещё и прокручивается вокруг своей оси. Следствием этого, при моделировании поляризации, я говорила, что разделены, радиальное направление, вектор скорости и ось джета, это впервые рассмотрено, что это разные направления. То есть эти оси не совпадают друг с другом. Это относительно винтовой модели.

Впервые убедительно доказано существование хорошо упорядоченного магнитного поля на парсековых масштабах. Предложена модель механизма переменности на более коротких временных масштабах. Такая модель, если где-то и предлагалась, то в таком, словесном описании, без каких-то численных попыток собрать воедино. И показано, один из основных результатов, что, во-первых, определение параметров двойных сверхмассивных черных дыр по переменности потока излучения, особенно которое образуется в радиодиапазоне, напрямую применять нельзя, потому, что периоды переменности величины очень сильно зависят, линейно зависят от расстояния, на котором эти величины образуются, расстояния от вершины конуса (или от начала джета) и нужно, прежде чем связывать с центральной машиной, нужно учитывать небаллистическое движение. И показано, что предположение о двойственности черных дыр может быть не всегда обоснованным. И это очень важно для дальнейшего развития миссий как пульсарного тайминга, так и интерферометра LISA.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Еще вопросы, пожалуйста. Еще вопросы есть у присутствующих? Пожалуйста.

Е.О. ВАСИЛЬЕВ: Скажите, пожалуйста, может я прослушал, вот Вы говорите о том, что в последней главе, последние слайды были, что переменность связана с прецессией центральной машины. А может это быть связано все-таки с неоднородностями среды? С развитием неустойчивости Кельвина-Гельмгольца, оно достаточно многомасштабное и может ли это как-то повлиять на переменность. Спасибо.

СОИСКАТЕЛЬ: Прецессия рассматривалась для долговременной переменности, да, Вы это имеете в виду?

Е.О. ВАСИЛЬЕВ: Да. Ну вот как причина переменности. Причина переменности она может быть разная, она может быть как связана с центральной машиной, вращением, а другое дело, как идет взаимодействие, развитие неустойчивости Кельвина-Гельмгольца, когда поднимается вещество, взаимодействует, то идет образование различных фрагментов. Эти фрагменты могут попадать на луч зрения, уходить с луча зрения, могут нагреваться, могут охлаждаться, ну и так далее.

СОИСКАТЕЛЬ: Если долговременная переменность, в ней есть периодичность, то можно ее интерпретировать именно винтовой формой джета, и уже только после этого встает вопрос, какая винтовая форма, ее параметры и какие процессы ответственны за образование этой винтовой формы. И вот сейчас очень важно, стоит на повестке дня в мировом обществе вопрос как разделить между собой. Либо это прецессия двойной черной дыры, либо это развитие неустойчивости, причем не обязательно Кельвина-Гельмгольца, потому что она только для примера была взята.

Е.О. ВАСИЛЬЕВ: Спасибо.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Так, еще вопросы? Нет вопросов. Хорошо. Тогда я попрошу Надежду Николаевну зачитать отзыв организации, где выполнялась работа и отзыв ведущей организации, пожалуйста.

СЕКРЕТАРЬ: Спасибо. Сначала я полностью зачитаю заключение Крымской астрофизической обсерватории РАН.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ, ГДЕ БЫЛА ВЫПОЛНЕНА РАБОТА

СЕКРЕТАРЬ: *Зачитывает полностью заключение Крымской астрофизической обсерватории Российской академии наук. Заключение положительное, прилагается.*

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Так, теперь ведущая организация.

СЕКРЕТАРЬ: Да, теперь я перехожу к оглашению, тоже полностью оглашение отзыва ведущей организации Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет».

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

СЕКРЕТАРЬ: *Зачитывает полностью отзыв ведущей организации Санкт-Петербургского государственного университета. Отзыв положительный, прилагается.*

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо большое, Надежда Николаевна. Так, слово предоставляется Марине Сергеевне для ответа на замечания ведущей организации и на отзыв.

СОИСКАТЕЛЬ: Я с замечаниями ведущей организации согласна. Относительно погрешности в наблюдаемых величинах можно сказать следующее, что при оценке каких-либо параметров использовался довольно-таки широкий диапазон этих параметров и уже влияние погрешностей во многих случаях было бы не существенным. Конечно, модель, просто не успела применить ко многим источникам и, действительно, для того чтобы эту модель применить, нужны данные в разных спектральных диапазонах, более плотные наблюдения. Но, в принципе, такие источники есть и в дальнейшем планируется применять эту модель и развивать дальше. Спасибо.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Так, переходим к выступлению оппонентов диссертации. Слово предоставляется Баркову Максиму Владимировичу, он присутствует в зале лично. Пожалуйста, Максим Владимирович.

ВЫСТУПЛЕНИЕ ПЕРВОГО ОППОНЕНТА БАРКОВА МАКСИМА ВЛАДИМИРОВИЧА

Официальный оппонент Барков М.В. присутствует на заседании лично. Выступает с отзывом. Отзыв положительный, прилагается.

М.В. БАРКОВ: Здравствуйте! Я думаю, я опущу содержательную часть, потому что мы ее уже прослушали, было достаточно хорошо все это доложено. Пару слов скажу, в принципе диссертация большая, выполнена большая работа. Многие задачи, которые в ней выполнены, они представляют большой научный интерес с точки зрения понимания физики джетов. Но, как говорится, есть некоторые вопросы. В разделе 1.3 приводятся модельные кривые и текстовое описание значений наблюдаемых сверхсветовых движений в джете. Хорошо было бы привести модельную кривую и наблюдательные значения на одном графике. Далее. Переход к формуле 1.20 не мотивирован, доплер-фактор не будет меняться, если угол θ мал, а не просто θ мало. Раздел 1.5.2 смотрится некоторым анахронизмом анализ, основанный на работе Харди 82 года, где рассматривается гидродинамический джет. Это про неустойчивость Кельвина-Гельмгольца, спиральная. При этом автор осведомлен о современных трендах в устройстве джетов активных ядер галактик, так как правомерно ссылается на работы Бескина, Нохриной и других, где рассматриваются МГД-джеты. И, соответственно, автору стоило бы провести анализ не только для Кельвина-Гельмгольца, но и для желобковой неустойчивости, она же kink-неустойчивость.

Так. Анализ на прецессию Лензе-Тирринга проведен поверхностно. Оценка времени прецессии от Лю не позволяет объяснить наблюдаемые периоды при разумных параметрах аккреции. Автору стоило бы подставить реалистичные значения параметра и скорости вращения черной дыры и аккреционного темпа, необходимого для работы механизма Блэндфорда-Знайека. Формула 1.41

представляет просто частоту Лензе-Тирринга для свободной частицы, тогда как автору необходима частота прецессии диска, что, в свою очередь, свяжет ее с параметрами диска (смотри работу Журавлев и др. 2014).

Так, глава 2. В главе 2 рассматриваются две модели: «винтовая» и «оболочка». Естественно было бы исследовать и третью конфигурацию, когда спиральное поле обвивает центральное полоидальное поле. Такая модель, такая конструкция естественным образом возникает при магнитном ускорении релятивистских джетов. На странице 93 обсуждается изменение скорости от 0.998 до 0.9994 и утверждается, что это изменение на 30%. Это понятно, что лоренц-фактор.

В Разделе 3.3 и 3.4 не обсуждается размер и физические свойства блобов. То есть, в работе есть налет формализма, когда не рассматриваются именно сферическая составляющая излучающих областей и параметров. В формуле 3.4 пропущен знак минус. Звездные величины растут в обратную сторону. В Разделе 3.7 принятие размера излучающей области за размер горизонта, физически не обосновано. Автор мог бы дать ограничения на размер излучающей области из кратчайшего времени переменности, которое рассматривалось в Разделе 3.8. Далее, получена оценка на размер оптического ядра, но она не используется автором. Это как раз про магнитное поле. То, что размер черной дыры не лучший вариант.

Рисунок 3.17 является загадкой. Формула 3.9 дает степенную функцию наблюдаемой частоты в 5й степени, доплер-фактора в степени -3. При этом, автор мог подменить эту комбинацию одной частотой ν' в сопутствующей системе координат. То есть из двух параметрических зависимостей, вы сделали одну. Магнитное поле приведено в логарифмической шкале, сопутствующая частота – в линейной шкале. При этом, построенная зависимость представляет из себя прямую, чего не должно быть. Диапазон значений сопутствующей частоты от $1.5 \cdot 10^{13}$ до $4 \cdot 10^{13}$ Гц, с учетом центральной частоты фильтра I $3.3 \cdot 10^{14}$

подразумевает вариацию доплер-фактора в зоне излучения в диапазоне от 8 до 23. Так как размер оптического ядра около $6 \cdot 10^{14}$ см, что для сверхмассивной черной дыры с массой $5 \cdot 10^8$ солнечных он соответствует 4 гравитационных радиуса в метрике Керра или, в лучшем случае, одному световому цилиндру. В случае гидродинамического джета лоренц-фактор не может превышать 4. В случае магнитогидродинамического он ограничен двумя. То есть вы не можете использовать большие лоренц-факторы, как описывалось ранее. То есть считать данные оценки магнитного поля корректными не позволяется.

Так. Страница 120. Утверждение, что наблюдения подтверждают модель, слишком оптимистичное. BWB, brighter-when-blue, ярче и голубее получается при любом механизме, дающем выпуклый спектр, не обязательно при синхротронном самопоглощении. В принципе, это утверждение правильное, но не полное. Критика оценки магнитного поля приведена выше.

Работы 196 и 197 считать независимыми затруднительно. Это работы Гизелини и Тавекио, эти люди работают в одной обсерватории Брера, сидят там в соседних комнатах и практически один учитель другого. Секция 1.4. Предположение, что излучение пропадает так как джет тормозится не мотивировано. Релятивистские электроны, ответственные за излучение в рентгене, остывают в поле джета за несколько десятков лет или на дистанции до 100 парсек. Для формирования килопарсекового джета в рентгене требуется впрыск, ускорение высокоэнергичных электронов вблизи области излучения.

Так, в уравнениях 4.7, 4.8 не учитывается доплер-бустинг реликтового излучения при переходе в систему отсчета джета. Эффект пропорционален доплер-фактору в кубе. На страницах 139-140 обсуждается обратный Комптон от джета центрального источника, введена поправка на разные доплер-факторы в килопарсековом джете и у наблюдателя. Однако пренебрегается изменением во

времени диаграммы и направленности из центрального источника. Светимость джета может существенно отличаться за 10000 лет от современного, фотоны, которые формировали при обратном Комптоне сигнал, наблюдаемый в данный момент. О чем речь. Т. что у нас есть центральный источник, есть джет и наблюдатель. И сравнивался поток из центрального источника сейчас и рассеянный при обратном Комптоне. И, соответственно, то, что рассеивалось на обратном Комптоне, имеет другой оптический путь, соответственно, время прихода к нам фотонов, которые мы видим, они приходили раньше от источника.

В современных работах используются многокомпонентные модели излучения обратного Комптона, которые учитывают реликтовое, собственное синхротронное излучение, излучение тора, в случае килопарсекового джета надо учитывать излучение центрального источника и звезд родительской галактики. По крайней мере, хотелось бы видеть аргументированный обзор влияний всех этих факторов на рентгеновское излучение килопарсекового джета. Ограниченная попытка была сделана на страницах 141-142, но так как в выражениях 4.7, 4.8 не учитывался доплер-бустинг для реликтовых фотонов, выражения 4.23 и 4.24 оказываются неверными. Автору было бы полезно провести общий анализ энергетического бюджета. К примеру, посмотреть время остывания электронов в поле реликтового излучения, центрального источника и магнитных полей, извлеченных из предположения о равномерном распределении и по методике автора. Все эти времена надо было бы сравнить со временами для адиабатических потерь. То есть, временем расширения. Хорошо было бы сравнить с гипотезой происхождения рентгеновского килопарсекового джета за счет синхротронного излучения. От этого исследование только бы выиграло.

В работе не учитывалось сечение Кляйна-Нишины, хотя автор на рисунке 4.10 строит кривые до 1030 Гц или 1016 эВ. В этом диапазоне необходимы

релятивистские поправки. И пара опечаток. На странице 13 в разделе Публикации утверждается, что диссертация основана на 12 статьях, после чего приводится список, содержащий 18 публикаций. В автореферате указаны верные 18 публикаций. Страница 111 ссылки на работы от 164 до 1666. Это все из замечаний.

Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертации Марины Бутузовой, вынесенные автором на защиту положения являются новыми, актуальными и обоснованными. Они неоднократно докладывались на международных конференциях, семинарах, а также опубликованы в рецензируемых ведущих научных журналах, рекомендованных ВАК. Автореферат правильно отражает содержание диссертации, полученные результаты уже используются и будут востребованы в ведущих Российских астрономических учреждениях: САО РАН, ГАИШ МГУ, ФИАН Лебедева, ИКИ РАН, СПбГУ, ИНАСАН. На основании вышеизложенного считаю, что диссертация Бутузовой Марины Сергеевны «Джеты активных ядер галактик на различных пространственных масштабах: форма, ориентация, физические условия и переменность наблюдаемых параметров», представленная на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.1 – «Физика космоса, астрономия», полностью соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо, Максим Владимирович. Соискателю предоставляется слово для ответа на замечания от первого оппонента.

СОИСКАТЕЛЬ: *(Представляет ответы на замечания оппонента Баркова М.В. Демонстрируются слайды с ответами на замечания, см. приложение 1 к стенограмме).*

СОИСКАТЕЛЬ: Спасибо за такое тщательное прочтение диссертации и выявления каких-то неточностей, нелогичностей. Со всеми замечаниями согласна. Хотелось бы некоторые особенно выделить. Там, где надо было наблюдательные данные привести, там график был построен для отношения видимых скоростей при минимальном и максимальном доплер-факторе от угла относительно радиального направления. То есть туда добавить данные наблюдений непосредственно было бы невозможно, но, может быть, надо было мне построить отдельно график и не словами описывать, а наглядно чтобы было видно. Переход к формуле 1.20 не мотивирован. Я представила эти формулы и 1.20. В диссертации было изменение угла, здесь изменение доплер-фактора в рассматриваемой модели и, в принципе, изменения сильные в какие-то моменты, это нужно учитывать, я так думаю. Возможно, из-за того, что я этот график в данном виде не представила в соответствующем месте.

Относительно использования работ Харди 1982 года. В этих работах представлены хорошие эмпирические формулы, связывающие теоретические значения с наблюдаемой винтовой формой джета. И поэтому я их использовала. А относительно неустойчивости Кельвина-Гельмгольца, конечно, могут развиваться какие-то другие и магнитогидродинамические неустойчивости, но основная идея была показать, что винтовой джет может образовываться не только из-за прецессии в системе двойной черной дыры. Но и неустойчивость Кельвина-Гельмгольца продолжает рассматриваться и сейчас для M87 рассматривается внутренняя структура, нити, которые тоже из-за неустойчивости Кельвина-Гельмгольца. Основная идея была показать, что для такого джета может быть

один из вариантов образования, то есть не исключительно только за счет неустойчивости Кельвина-Гельмгольца, могут и другие, но главное, что есть альтернативы системе двойной черной дыры.

Анализ на прецессию Лензе-Тирринга. Для OJ 287 нет наблюдаемых данных или каких-то оценок на вязкость диска из спектральных данных. Применять какие-то данные, полученные для других источников. Тоже нужно обосновывать их применение, поэтому был показан просто вариант, что такие периоды могут происходить. По поводу прецессии свободной частицы и периода прецессии диска, конечно, все совершенно верно, но, может быть из-за того, что большие диапазоны значений радиуса диска, с которого может образовываться данная прецессия, если учитывать период прецессии диска, то возможно тоже можно согласовать с периодом в 1200 лет.

Конечно, переходя уже к Разделу 2, где для модели магнитного поля канал-оболочка, Ваше предложение является естественным продолжением работ. Может быть для отдельных конкретных джетов, чтобы более точно, более лучше получить согласование с данными наблюдений. Здесь еще хочется отметить, что и распределение электронов считалось однородным и строго с одинаковой концентрацией по всему элементу джета. А если считать это не так, а зависящим от расстояния от оси джета, то тоже могут какие-то изменения быть. Здесь, конечно, в моделировании вариаций параметров может быть много.

По поводу изменения на 30%. Это изменения не самой скорости β от 0.998, а изменения Лоренц-фактора. То есть от Лоренц-фактора, соответствующего β 0.999 плюс минус 30%, изменение Лоренц-фактора на плюс минус 30%, это будут β 0.998 и 0.9994.

По поводу размера излучающей области в оптическом диапазоне. Точных значений размера излучающей области сложно получить, еще нет. Первые

оценки можно считать, как за гравитационный радиус. Если экстраполировать результаты РСДБ-наблюдений с учетом конического джета, перехода формы в параболу, получаются соответствующие по порядку величины размеры излучающей области.

М.В. БАРКОВ: У Вас получен радиус фотосферы для синхротронного самопоглощения. Почему его не использовали?

СОИСКАТЕЛЬ: Там все равно рассматривалась масса черной дыры в большом интервале 108-109 и соответствующие размеры изменялись бы тоже таким образом. По поводу того, что не оценивались физические параметры блоба. В дальнейшем развивается идея об образовании переменности на коротких временных масштабах за счет появления в джете субкомпонентов и вот уже это последующие работы. И здесь модельный поток в этом предположении, когда несколько сотен, до 1000 субкомпонент и, в принципе, более соответствует наблюдаемой переменности. А ниже – это когда мало субкомпонент и это не соответствует наблюдаемой переменности и получается, что все вспышки внутрисуточные вызваны не одним блобом, а каким-то таким случайным совпадением, что появилось большое количество блобов разных и они привели к одной вспышке на внутрисуточном масштабе. Получается, что вспышки – это не один блоб и конкретно детально исследовать один блоб в данном случае не представляется возможным. Это уже результаты следующих работ, не представлены в диссертации.

По поводу вот этого определения магнитного поля. Здесь построено от ню штрих один. И, конечно, мой недочет был в том, что в эту формулу ню штрих один входит вот здесь в тау ню. И представлена линейная часть в логарифмическом масштабе. И ню штрих один вот этому соответствует. Здесь мой недочет, что явно не написала, что от чего построено.

По поводу малого доплер-фактора. В предположении существования субкомпонент уже в самом джете, который представляет собой сначала параболический, потом конически расширяющийся поток вещества, все-таки в представляемой геометрической модели некоторые субкомпоненты могут достигать большой доплер-фактор.

По утверждению, что наблюдения подтверждают модель слишком оптимистичное – это по микропеременности, то здесь утверждение было, что есть субкомпоненты, есть изогнутый спектр излучения, образованный либо синхротронным самопоглощением, либо отклонением электронного спектра от степенного закона. Т.е. есть субкомпоненты, которые могут достигать большой доплер-фактор и есть изогнутый спектр излучения. И вот это все в совокупности дает и наблюдаемую переменность на малых временных масштабах, и хроматизм «голубее при поярчании». С другой стороны, если доплер-фактор этих субкомпонентов чуть меньше, но их много в потоке джета, тогда хроматизм не так явно выражен. Здесь вот это имелось в виду, а не то, что конкретно для синхротронного самопоглощения. Результат, что в джете синхротронное самопоглощение войдет в диссертацию соавтора, доказательства, что только синхротронное самопоглощение.

Относительно замечаний к Разделу 4 о килопарсековых джетах. Со всеми замечаниями согласна. Хотелось бы прояснить по поводу того, что рентгеновское излучение пропадает из-за того, что джет тормозится. Здесь может не четко было написано, но имеется ввиду, что при торможении релятивистского джета, уже меньше происходит доплеровское усиление затравочных фотонов (реликтового излучения), то есть меньше плотность рассеиваемых фотонов, что приводит к меньшей плотности рассеянного рентгеновского излучения.

Отличие светимости джета 10 000 лет назад от современности никак нельзя учитывать. Единственная возможность – вероятность, что сильно ничего не поменялось и то, что в килопарсековых джетах все-таки сам узел имеет размеры несколько килопарсек, что более-менее сглаживает эффекты резких изменений светимости центрально источника.

Относительно учета доплеровского усиления в формулах 4.7, 4.8, 4.23, 4.24 здесь априори предполагается какое-то умеренно релятивистское движение джета, потому что, если движение джета было бы сильно релятивистским на килопарсековых масштабах, то это было бы превышение гамма-потока, постоянного гамма-потока от килопарсекового джета, которое не наблюдается. Но, конечно, аккуратно надо было бы это все учитывать. Согласна с тем, что было бы полезно сделать анализ энергетического бюджета джетов. И то, что не учитывалось сечение Клейна-Нишины. Это бы привело к уменьшению потока рентгеновского излучения, гамма-излучения, что еще лучше бы выполнялось ограничение на верхний поток в гамма-диапазоне, ассоциируемый с постоянным излучением килопарсековых джетов. Спасибо.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Максим Владимирович, Вы удовлетворены?

М.В. БАРКОВ: Всем.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Хорошо. Спасибо. Слово предоставляется второму оппоненту, Иванчику Александру Владимировичу. Он присутствует удаленно. Александр Владимирович, пожалуйста, Вы нас слышите?

ВЫСТУПЛЕНИЕ ВТОРОГО ОППОНЕНТА ИВАНЧИКА АЛЕКСАНДРА ВЛАДИМИРОВИЧА

Официальный оппонент Иванчик А.В. присутствует на заседании удаленно. Выступает с отзывом. Отзыв положительный, прилагается.

А.В. ИВАНЧИК: Здравствуйте, уважаемые коллеги! Я вас слышу, а вы меня слышите?

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Да, да, слышим.

А.В. ИВАНЧИК: Спасибо большое. Диссертантом проделана огромная работа и я считаю, что она заслуживает присуждения докторской степени по представлению результатов и их обоснованности в диссертации. Поэтому я пропущу формальную первую часть моего отзыва, связанную с общими представлениями диссертации, перейду сразу к замечаниям, которые я сделал по представлению результатов и их обоснованности в диссертации.

Первая глава, первое замечание: описание в начале главы основных формул, определяющих физику процессов, формирующих свойств электромагнитного излучения в джете дается только в теоретическом символьном виде. Однако для более полного представления об объекте исследования желательно приводить, не откладывая на потом конкретные наблюдательные значения ключевых параметров или их диапазонов. Поэтому в этой главе и при таком теоретическом описании было бы уместным привести значение Лоренц факторов, реализуемых в джетах, диапазоны их, связанные с ними энергетические диапазоны ускоренных релятивистских электронов, связанные с ними диапазоны спектральных индексов как излучения, так и самих электронов. Это первое замечание.

Второе замечание. В таблице 1.3 представлены фактические данные, на основе которых диссертантом получены углы оси винтовой линии джета и построен довольно показательный рисунок 1.18. В свою очередь, на основе которого получено одно из положений, выносимых на защиту. При прочтении диссертации эта таблица привлекла мое внимание тем, что указан в первой строчке 1912 год, а потоки представлены в миллионских. В 1912 году Янскому

было 7 лет, а до развития радиоастрономии еще было 20 лет, поэтому я очень удивился, когда посмотрел на эту таблицу. Здесь еще интересно, что в 1912 году о блазарах, наверное, тоже люди не имели никакого представления. Но тут-то ладно, Бог с ним, не имели, не знали, что это за объект, но наблюдать то его могли. Поэтому я обратился к ссылкам, представленным в таблице. Это ссылка 66 и 70. По названию этих ссылок эти работы датируются данными 2005, 2009 года и 2015 годов. Поэтому как бы было совсем непонятно, как же получена эта таблица. Мне пришлось скачать обе работы. Стал детально изучать. Ну и потом мне стало понятно после изучения откуда взялась эта таблица, что означают эти данные. Много нового для себя узнал. И в этом смысле замечание заключается в том, что таблицы и рисунки – это логические и самостоятельные элементы, подписи к которым должны давать максимально исчерпывающую информацию о них. То есть это должно было быть представлено в самой таблице и в описании к ней.

В главе 2 вывод 8 о том, что джеты активных ядер галактик на парсековых масштабах содержат хорошо упорядоченное глобальное поле представляется довольно важным. Однако он сформулирован чисто качественным образом. Было бы неплохо, если бы именно в этом пункте были приведены количественные характеристики, поясняющие, что означает хорошо упорядоченное и глобальное, а также численные значения величин магнитного поля, например.

Замечание по главе 3. Глава 3 начинается с параграфа с максимально общих утверждений, минимальная конкретика которым все же бы не помешала. Например, фраза «сведения о физических условиях в джете на субпарсековых расстояниях от его начала». Фраза звучит максимально общим образом. Хотелось бы понять, где начало этого джета, что такое субпарсековые расстояния в контексте того, что в этой главе встречаются сноски, не рядом, 4, 4.6, 6.68 парсек.

Вряд ли эти цифры можно назвать субпарсековыми значениями. Также есть цифра 2.2×10^{-4} парсека. Ну это с натяжкой тоже можно назвать субпарсеками, поэтому хотелось бы чуть большей конкретики при описании подобных общих фраз.

Рисунок 3.1 демонстрирует случай обнаружения внутрисуточной переменности. И довольно очевидно, что, если бы рядом с этим рисунком был представлен пример наблюдений, где внутрисуточная переменность не зарегистрирована, это могло бы дать наглядный пример. Как самого эффекта, так и его значимости. Это замечание по описанию статистической значимости результата, которое уже звучало и в ведущей организации, что не всегда понятно, какова значимость представленных результатов.

Следующее замечание. Формула 3.1. взятая, по всей видимости, из работы, цитируемой как 146, и определяющая ключевую характеристику для регистрации внутрисуточной переменности, а именно, в данном случае, она определяет амплитуду этой переменности, вызывает ряд вопросов. Возможно, при такой конкретной обработке, эта формула выглядит нормальной и используется, но я, как сторонний в данном случае наблюдатель, не очень понял эту формулу и вопросы, которые у меня возникли, они звучат следующим образом. Как получается, что значение самой величины, не ее статистическая значимость, а сама величина, определяется через среднюю погрешность измерений за ночь? Почему эта величина не определена стандартным образом как разность максимальной и минимальной величины со статистической погрешностью, стандартным образом определяемой по ошибкам этих величин? Где формула, определяющая ошибку самой амплитуды переменности? То есть максимально странно выглядит формула: амплитуда определяется по ошибкам, а ошибки амплитуды не приведены. Поскольку речь идет о ключевых величинах

исследования, представленных в главе 3, то базовые формулы, по которым они определяются, а также их обоснованность должны быть более детально описаны в диссертации. Я не подвергаю сомнению верность этой формулы, но все-таки более детальное разъяснение ее хотелось бы иметь в диссертации.

Еще осталось два стилистических замечания. Первое замечание – это выбор последовательности глав диссертации, выглядит немного непонятным: сперва, в главах 1 и 2 обсуждаются явления на парсековых масштабах, потом идет уменьшение масштабов, то есть в главе 3 обсуждаются субпарсеки, потом скачек назад к увеличенным масштабам в 1000 раз большим в главе 4. Казалось бы, причинно-следственная связь формирования джета и явлений с ним связанных диктует последовательность от самых маленьких масштабов к средним и максимальным масштабам. Но это, в данном случае, замечание чисто стилистическое и вкусовое, диссертант имеет право выстраивать свою диссертацию как ему нравится больше.

Второе замечание в 12-м положении в тексте диссертации в начале и в заключении после перечисления квазаров пропущено словосочетание «получено впервые», это обстоятельство выявляется сложностью читаемости этого положения и сравнением его с авторефератом. При этом формулировка «подтверждено, что рентгеновское излучение образуется вследствие ...» читается нормально, а вот фраза «получено впервые, что рентгеновское излучение образуется вследствие» очевидно требует переформулирования.

Все указанные замечания и по существу, и стилистические, не умаляют значимости работы, поэтому считаю, что диссертационная работа Бутузовой Марины Сергеевны «Джеты активных ядер галактик на различных пространственных масштабах: форма, ориентация, физические условия и переменность наблюдаемых параметров», представленная на соискание ученой

степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.1 — физика космоса, астрономия, полностью соответствует всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор безусловно, на мой взгляд, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук. Спасибо большое. Иванчик Александр.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Александр Владимирович, спасибо большое за отзыв. Соискателю предоставляется возможность ответить на замечания второго оппонента.

СОИСКАТЕЛЬ: *(Представляет ответы на замечания оппонента Иванчика А.В. Демонстрируются слайды с ответами на замечания, см. приложение 1 к стенограмме).*

Со всеми замечаниями оппонента согласна. По поводу описания параметров, конечно, хотелось бы действительно их указать в начале, как бы давая общие сведения, но потом столкнулась с тем, что для рассматриваемых источников эти параметры могут различаться и уже, не вдаваясь в конкретику, изначально показалось, что это сделать сложно. Но, в принципе, надо было бы это как-то решить. По поводу таблицы и соответствующего рисунка по исторической кривой блеска для блазара OJ 287. Этот блазар находится вблизи эклиптики и попадал на фотопластинки при программах поиска астероидов. Поэтому это уникальный источник, для которого можно продлить данные 100 лет назад. Конечно, мой недочет был в том, что не были указаны все ссылки, по данным которых этот рисунок был построен, начиная с 1891 года, была только ссылка на публикацию, где эти все данные используются вместе. Это обусловлено тем, что этих ссылок было бы очень много за все это время, но надо было этот вопрос как-то решить.

По моделированию поляризации. Моделирование происходило при нормировках, не переходя к конкретным каким-то значениям магнитного поля. Важно было хотя бы получить качественное соответствие наблюдаемых и модельных распределений. Поэтому сейчас озвучить оценки магнитного поля или других параметров я не могу, но, в принципе, если рассматривать конкретные источники, это можно будет сделать в дальнейшем.

По поводу субпарсековых расстояний. Предполагается, что джет формируется на каком-то расстоянии от центральной машины и за само истинное начало джета подразумевается та область, в которой джет – коллимированный релятивистский поток вещества, распространяющийся далее. Чуть дальше, возможно, на него действуют какие-то неустойчивости, что приводит к винтовой форме. Поэтому расстояние, которое в доли парсек, там было 10–4, это именно расстояние от истинного начала джета излучающей в оптическом диапазоне области. Оно соответствует вот этому расстоянию. А расстояние в 4, 6 парсек – это расстояние от вершины мнимого конуса, который построен уже по форме на расстояниях в парсеки и его вершина не соответствует положению центральной черной дыры, ни истинному началу джета. Это вводимый конус по форме джета на парсековых масштабах и никак не связано расстояние от вершины конуса с истинным началом джета, хотя это величина, помогающая в расчетах.

Изменения внутрисуточные, переменность. Если бы изменений не было, то это была бы флуктуация потоков в пределах погрешностей. Но я постаралась все это отразить, приведя кривую блеска для звезд сравнения. Относительно звезд сравнения видны изменения яркости объекта. При чем звезда сравнения меньшей яркости, чем объект. Формула для амплитуды переменности. Замечание верное. Это формула взята из статьи, ссылка на нее приведена, и амплитуда переменности определяется из разницы максимальной и минимальной яркости,

сигма – это учет средней ошибки измерения за ночь. То, что в таблице указывалось σ_A – это имелось ввиду та же σ , средняя погрешность измерения за ночь.

Выбор последовательности глав диссертации обусловлен созданием и развитием винтовой модели с нерадиальным движением. Спасибо.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Александр Владимирович, вы удовлетворены ответами соискателя?

А.В. ИВАНЧИК: Да, спасибо большое.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Слово предоставляется третьему оппоненту, Трушкину Сергею Анатольевичу. Пожалуйста. У нас он тоже удаленно присутствует.

ВЫСТУПЛЕНИЕ ТРЕТЬЕГО ОППОНЕНТА ТРУШКИНА СЕРГЕЯ АНАТОЛЬЕВИЧА

Официальный оппонент Трушкин С.А. присутствует на заседании удаленно. Выступает с отзывом. Отзыв положительный, прилагается.

С.А. ТРУШКИН: Да. Здравствуйте, коллеги. Меня слышно хорошо?

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Да, слышно хорошо.

С.А. ТРУШКИН: Я немного прочитаю текст. Я его уже немного сократил, поэтому недостаточно будет ограничиться одними замечаниями. Я все-таки приведу здесь некоторые. По актуальности темы. В диссертационной работе Марины Сергеевны Бутузовой исследованы релятивистские струйные выбросы – джеты в активных ядрах галактик на различных масштабах и в различных диапазонах: от радиоволн до рентгеновских лучей, что, конечно, является очень большим плюсом. Не вызывает сомнений актуальность данной темы,

исследованы самые сложные задачи, актуальные, я их перечисляю в основном тексте отзыва.

Основная модель базируется и использует эффект релятивистского усиления излучения и поэтому она, в некотором смысле, является геометрической и касается всех проявлений джета с точки зрения геометрии. Диссертантом показано, что эта модель в большой мере соответствует современным данным РСДБ-наблюдений, так автор обоснованно доказывает, что переменность синхротронного оптического излучения обусловлена винтовой геометрией джета, которая дополняется его прецессией.

Поляризация радиоизлучения также может быть обусловлена особой структурой джета. Диссертант подробно рассматривает сценарий образования рентгеновского излучения вследствие обратного комптоновского рассеяния. То есть, из-за нагрева низкочастотных фотонов диска или реликтовых фотонов из-за рассеяния на синхротронно излучающих электронах, позитронов или даже, может быть, протонов. То, что в теории у нас называется SSC-моделью.

Степень обоснованности научных положений. Диссертантом предложено более 10 выводов, я уж не буду их перечислять, разумеется, из проведенных исследований, которые необходимо заметить, полностью опубликованы в научных журналах списка ВАК. Причем уже после защиты кандидатской диссертации. Мне кажется, автор подчеркнул это, несомненным положительным моментом данного исследования. Потому что часто диссертации докторские на треть состоят из кандидатской.

Именно успешное применение разработанной модели винтового парсекового джета с нерадиальным движением компонентов занимает ключевое место в диссертации. Несомненно, поэтому это глава 1. И сейчас мы даже в выступлениях слышали, что приблизительно четверть или даже может быть треть всего

выступления Марины Сергеевны было посвящено именно этой модели. И это очень важно. Хотя и не бесспорно, что автор нашел альтернативные объяснения наблюдательным свойствам блазара OJ 287. То есть в рамках одиночной сверхмассивной черной дыры, а не двойной системы из черных дыр, как многие авторы сейчас используют такую модель.

Автор применяет механизм неустойчивости Кельвина-Гельмгольца для образования винтового джета, который испытывает прецессию из-за эффекта Лензе-Тирринга в системе одиночной сверхмассивной черной дыры. Впервые показано присутствие в джете блазара 0716 синхротронного самопоглощения в оптическом диапазоне, что мне кажется очень важным. Для этого же блазара впервые предложена единая модель образования переменности, позволяющая самосогласованно описать различные особенности спектра излучения и переменности блеска на различных масштабах времени, от суток до десятков лет.

Оценка новизны и достоверности. Научная новизна работ состоит в том, что диссертант привлекает самые современные ключевые наблюдательные данные для формирования своей модели и представления выводов. Многие данные получены самим автором или уже неоднократно проверялись. Я немного расширяю в своем тексте эту мысль. Особенно интересно как со стилистической, так и с практической точки зрения разработанная в диссертации модель винтового джета. Для килопарсекового джета квазара 3C 273 подтверждено, а для квазаров там перечисляется, помните, в диссертации их несколько штук, показано впервые, что рентгеновское излучение ближайших к центральному источнику узлов их килопарсекового джета образуется вследствие обратного комптоновского рассеяния излучения радиоджета. Мне кажется этот вывод тоже очень интересный.

Отмечая многочисленные достоинства работы, выраженные в подробных публикациях, я их тоже посмотрел, мы нашли в ней отдельные недостатки, которые серьезно не влияют на результаты и выводы.

Несмотря на успешное применение модели винтового джета, все-таки эта модель не касается физического содержания и эволюции струйного джета. Не дан ответ на главный вопрос, который стоит перед людьми, которые занимаются джетами. Джеты – это непрерывный поток релятивистских частиц, рожденных в парсековой окрестности сверхмассивных черных дыр и взаимодействующих с магнитным полем, или это отдельные независимые сгустки, blobs, компоненты и т.д., то, что мы называем деталями на картах, баллистически движущиеся, создавая винтовую траекторию, что мы наглядно видим в микроквазарах. По крайней мере, это область моих исследований. Когда мы смотрим на сложно-структурные радио-карты радиоизлучения джетов или на кривые блеска в оптическом и радиодиапазоне, со множеством вспышечных событий, трудно представить себе, что вся эта сложность создается геометрией струи. Это мой вывод такой. Это особенно заметно на рисунке 1.19, он приведен как рисунок 1 в автореферате. Он действительно очень важный. Эта особенность на рисунке в диссертации, где приведена многолетняя кривая блеска OJ 287 в оптическом диапазоне вместе с модельной кривой блеска прецессирующего винтового джета. Нельзя сказать, что кривые эти полностью совпадают или очень хорошо совпадают. Стоило бы, кстати, привести коэффициент корреляции между ними. Похоже, что для понимания струйных активностей AGN требуются трехмерные МГД-модели с внутренней переменностью компонент, структурой джетов, с ускорением релятивистских частиц на месте, как мы называем это *in situ*, в релятивистских ударных волнах, взаимодействием выброшенного из окрестностей сверхмассивной черной дыры вещества, с окружающей средой.

Вспомним, что для протяженных струй требуется «удержание» (confinement) или то, что мы называем еще коллимация.

В целом текст диссертации производит очень хорошее впечатление. Графики, таблицы полностью описаны, даны все ссылки из обильного списка литературы, все авторские работы помечены отдельно в тексте и в подписях к рисунку. Это что тоже является большим плюсом диссертации. Замечено очень небольшое число опечаток и пропущенных слов. Ну не буду их повторять, потому что зачем это. Подводя итог, важно заключить, что новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для мировой астрофизики и для наблюдательной практики в области исследований сверхмассивных черных дыр.

Диссертация является законченным научным исследованием темы, представленной в названии диссертации. Работа исключительно полезна исследователям в данной области астрофизики, например в РФ. Я перечисляю потом организации, не буду повторять их.

Автореферат правильно отражает основное содержание диссертации, содержит обоснованные выводы, отвечает требованиям ВАК Минобрнауки Российской Федерации. Диссертационная работа полностью отвечает всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Марина Сергеевна Бутузова, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.1. – «Физика космоса, астрономия». Подпись Трушкин. Подписано ученым секретарем САО РАН. Спасибо.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо, Сергей Анатольевич. Слово предоставляется Марине Сергеевне для ответа.

СОИСКАТЕЛЬ: *(Представляет ответы на замечания оппонента Трушкина С.А. Демонстрируются слайды с ответами на замечания, см. приложение 1 к стенограмме).*

СОИСКАТЕЛЬ: Спасибо за комментарии по поводу ответа на главный вопрос: джеты непрерывный поток вещества или набор каких-то сгустков, блобов? Первоначально модель разрабатывалась действительно вне зависимости от этой физической природы. Это могли быть и блобы, которые в такой моментальный снимок формируют винтовую линию. Либо, если это непрерывный поток вещества, то какие-то элементы объема рассматривались за компоненты. Но в дальнейшем, уже при моделировании поляризации, явно не указывалось, но уже предполагался, какой-то поток вещества, потому что, если бы это были отдельные блобы, не в каком-то подлежащем потоке вещества, который не видим, то тогда бы и конфигурация магнитного поля была бы не соответствующей рассматриваемой. В работах явно это не говорится, возможно, стоит обратить внимание это в дальнейших исследованиях.

Относительно кривых блеска со сложной структурой. На графике, на слайде слева представлена модельная кривая блеска при присутствии субкомпонент в несколько сотен. Этим моделированием занимается младший научный сотрудник КрАО Горбачев Марк. Спектр мощности модельной кривой блеска соответствует наблюдаемым спектрам мощности, красному шуму. Поэтому, в принципе, можно воспроизвести наблюдаемые более «тонкие» детали на кривой блеска в рамках такой геометрии.

По поводу коэффициента корреляции модельной кривой и наблюдаемых точек для OJ 287. На слайде справа приведены вверху вот этот график и ниже дискретная коррекционная функция для этого графика, при построении которой данные усреднялись за 0.2 года, а дискретная корреляционная функция считалась

в окошке один год. И действительно, коэффициент корреляции получился 0.4, может быть малый. Возможно, из-за того, что двенадцатилетние вспышки имеют двухпиковую структуру, которая в винтовой модели не отражена. А двухпиковая структура объясняется наличием двух излучающих в оптическом диапазоне областей, расположенных рядом друг с другом.

Опечатки, к сожалению, часто бывают. Все. Спасибо.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: У Вас все, да? Спасибо. Сергей Анатольевич, Вы удовлетворены ответом соискателя?

С.А. ТРУШКИН: Да. Спасибо большое. Да.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо, ну что, коллеги, я хотел бы поблагодарить всех оппонентов за их выступление. И перейти к общей дискуссии. Каждый желающий может сейчас высказаться, задать любые вопросы соискателю, пожалуйста. Нет желающих. У коллег, которые на удаленке? Нет вопросов. Да, пожалуйста.

ОБЩАЯ ДИСКУССИЯ

Е.О. ВАСИЛЬЕВ: Диссертации бывают теоретические, бывают наблюдательные. Работа Марины Сергеевны удачно сочетает и наблюдательную часть, и теоретическую. Это очень редкое качество диссертации. И результат, касающийся прецессии черной дыры, интерпретация кривой блеска OJ 287 – уже довольно яркий результат в качестве того, что это одиночная черная дыра, потому что очень долгое время предполагается, что это двойная черная дыра, и там много теорий на этом построена и так далее, но я призываю голосовать в поддержку этой диссертации и голосовать за.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Так, еще кто-нибудь желает выступить, пожалуйста.

И.Н. ПАЩЕНКО: Я считаю, что эта работа очень актуальна, а особенно в самое последнее время, когда инструменты, такие как РадиоАстрон или высокочувствительные, очень наблюдения позволяют увидеть структуру, связанную с формированием нестабильности Кельвина- Гельмгольца именно в областях замагниченных, где еще происходит ускорение джета. Вот, например, М87. И наша статья на ревизии как раз обсуждает вот эту вот проблематику, связанную с тем, что нестабильность вроде как гидродинамическая, но тем не менее мы наблюдаем ее в областях, связанных с ускорением. Так что в данный момент она особенно актуальна, я считаю, работа Марины Сергеевны.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Так еще кто-нибудь желает выступить? Да, пожалуйста.

Е.В. КРАВЧЕНКО: Фактически, мы начали развивать новое направление в наших наблюдениях, мало того, что здесь рассматривались нестабильности, есть и другие процессы, типа магнитное пересоединение, которые могут рождаться в центре и распространяться. Это все может проявляться, в том числе, в квазипериодических процессах, например, в М 87 только было показано. Существует несколько одновременных периодичностей и только-только статья у нас была подана, мы в другом джете пробовали такое показать. То есть это такой край. У нас данных наблюдений очень много, мы уже начали обрабатывать вот именно в рамках вот этой вот модели и ближайшие годы будет это намного больше, будет подогнано очень много данных наблюдений. Это реально работа, которая имеет дальнейшее развитие, в том числе прикладное.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо большое. Коллеги, больше нет желающих? Тех, кто удаленно коллеги, ни у кого нет желающих. Все тогда, значит, я закрываю общую дискуссию, и соискатель предоставляется заключительное слово.

СОИСКАТЕЛЬ: Я очень признательна прежде всего моей семье, которая и способствовала тому, чтобы я работала над докторской диссертацией, и поддерживала. Очень признательна коллегам из КрАО и АКЦ, с которыми есть совместная работа, которые всегда советом помогут, подскажут. Спасибо присутствующим членам Совета, которые выслушали, сделали свои замечания. Конечно, я очень благодарна оппонентам, их отзываю, которые буду учитывать в дальнейшем в своих работах, которые показали и мои недочеты и некоторые направления развития. Это, конечно очень важно, полезно и будет мною учтено. Спасибо всем людям, которые близко соприкоснулись с диссертацией.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо Вам большое. Так, значит на этом мы сейчас переходим к тайному голосованию. Слово предоставляется Надежде Николаевне для оглашения деталей.

СЕКРЕТАРЬ: Спасибо. Коллеги, ну как обычно, так как заседание у нас проходит в удаленном интерактивном режиме, мы голосуем с помощью системы онлайн голосования тайного голосования «Криптовече». Всем членам совета сейчас, вот уже буквально через минуту, придут на адреса электронной почты, указанные в явочном листе, и те, с которыми вы регистрировались в этой системе, придут письма с индивидуальными ссылками для голосования по вопросу присуждения ученой степени доктора физико-математических наук Бутузовой Марине Сергеевне. Я напомним, что для того, чтобы проголосовать, нужно пройти по ссылке, которая придет на почту, войти в личный кабинет, дальше нажать кнопку «Зарегистрироваться», после чего будет доступна повестка голосования, требуется выбрать один из вариантов: «за» или «против». Если будут выбраны оба варианта или не выбрано ни одного, то такой электронный бюллетень будет учтен как недействительный в системе. Все, кто имеет свои электронные устройства, голосуют с них. Если доступа к личному устройству нет, то

специально у нас здесь стоит компьютер для этого случая, можно им воспользоваться. Конфиденциальность гарантирована.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Тогда объявляется пятнадцатиминутный перерыв на процедуру тайного голосования. Пожалуйста, вперед, коллеги.

ПЕРЕРЫВ НА ТАЙНОЕ ГОЛОСОВАНИЕ

Объявляется перерыв на тайное голосование (15 минут). Во время перерыва все члены диссовета, присутствующие на заседании, голосуют с помощью системы онлайн-голосования “Криповече”.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Перерыв на голосование закончен. Я прошу Надежду Николаевну огласить результаты.

СЕКРЕТАРЬ: Уважаемые коллеги, сейчас я выведу на экран результаты голосования. Все 16 членов Совета, присутствующих на защите, проголосовали. Вот у нас какие результаты получились. Вы их должны видеть на экране. Вопрос в повестке «Присудить Бутузовой Марине Сергеевне ученую степень доктора физико-математических наук». «За» – 15 голосов, «против» – 0 голосов, недействительных бюллетеней – 1. Итого, большинством голосов...

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Тогда я предлагаю утвердить результаты голосования открытым простым голосованием.

(Члены совета голосуют поднятием рук за утверждение результатов тайного голосования).

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Кто «за» эти результаты? Удаленно? Аналогично, все за. «Против»? Никого. Воздержались? Никого. Единогласно результаты голосования утверждаются. Спасибо большое.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Теперь у нас еще одна последняя процедура здесь – это обсудить и принять заключение Диссовета. Оно роздано было всем членам Совета, замечания были удаленно, вот от Дмитрия Зигфридовича были. Еще какие-нибудь есть замечания, предложения? Если нет, то тогда предлагаю проголосовать по заключению таким же образом.

(Члены совета голосуют поднятием рук за утверждение заключения диссертационного совета).

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Кто «за» данное заключение? Прошу опустить руки. Кто «против»? Нет таких. Кто воздержался? Тоже нет. Принято единогласно. Тогда я поздравляю Марину Сергеевну с успешной защитой докторской диссертации, всех Вам благ и успехов в науке! *(Аплодисменты)*.

СЕКРЕТАРЬ: Коллеги, большое всем спасибо за участие в заседании. Спасибо оппонентам от имени диссовета за сотрудничество, за ваши отзывы, комментарии. На этом у нас заседание закрывается.

Председатель заседания,
зам. председателя диссертационного совета,
д.ф.-м.н.

Лихачев С.Ф.

Секретарь заседания, учёный
секретарь диссертационного совета,
к.ф.-м.н.

Шахворостова Н.Н.

15 апреля 2026 г.