

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

СТЕНОГРАММА  
ЗАСЕДАНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА  
Д002.023.01

7 апреля 2022 года

Защита диссертации  
Войцика Петра Андреевича  
на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.03.02 “Астрофизика и звездная астрономия”  
*“Исследование центральных областей активных ядер галактик с  
экстремальным угловым разрешением”*

**Присутствовали члены диссертационного совета:**

Новиков И.Д., д.ф.-м.н., член-корр. РАН, 01.03.02, физ.-мат. науки, председатель диссертационного совета (*присутствует в удаленном режиме*)

Щекинов Ю.А., д.ф.-м.н., 01.03.02, физ.-мат. науки, председатель заседания (*ходатайство о возложении обязанностей председательствующего на заседании диссертационного совета – в приложении №1 к стенограмме*)

Ковалев Ю.Ю., д.ф.-м.н., член-корр. РАН, 01.03.02, физ.-мат. науки, заместитель председателя диссертационного совета

Шахворостова Н.Н., к.ф.-м.н., 01.03.02, техн. науки, ученый секретарь диссертационного совета

Богачев С.А., д.ф.-м.н., 01.03.02, физ.-мат. науки

Вибе Д.З., д.ф.-м.н., 01.03.02, физ.-мат. науки

Дагкесаманский Р.Д., д.ф.-м.н., 01.03.02, техн. науки

Дорошкевич А.Г., д.ф.-м.н., 01.03.02, физ.-мат. науки (*присутствует в удаленном режиме*)

Иванов П.Б., д.ф.-м.н., 01.03.02, физ.-мат. науки

Каленский С.В., д.ф.-м.н., 01.03.02, техн. науки

Ковалев Ю.А., д.ф.-м.н., 01.03.02, техн. науки (*присутствует в удаленном режиме*)

Ларионов М.Г., д.ф.-м.н., 01.03.02, техн. науки (*присутствует в удаленном режиме*)

Лукаш В.Н., д.ф.-м.н., 01.03.02, физ.-мат. науки

Малофеев В.М., д.ф.-м.н., 01.03.02, физ.-мат. науки (*присутствует в удаленном режиме*)

Новиков Д.И., д.ф.-м.н., 01.03.02, техн. науки

Троицкий С.В., д.ф.-м.н., 01.03.02, физ.-мат. науки

Тюльбашев С.А., д.ф.-м.н., 01.03.02, физ.-мат. науки (*присутствует в удаленном режиме*)

Чашей И.В., д.ф.-м.н., 01.03.02, техн. науки (*присутствует в удаленном режиме*)

**Председатель заседания** – доктор физико-математических наук Ю.А.

Щекинов, член диссертационного совета (*ходатайство о возложении обязанностей председательствующего на заседании диссертационного совета – в приложении №1 к стенограмме*).

**Секретарь заседания** – кандидат физико-математических наук, ученый секретарь диссертационного совета Н.Н. Шахворостова.

Заседание проводится с участием членов диссертационного совета и одного из оппонентов в удаленном интерактивном режиме. Распорядительный акт директора ФИАН Колачевского Н.Н. о проведении заседания диссертационного совета с участниками в удаленном интерактивном режиме находится в приложении №2 к стенограмме.

**ПРЕДСЕДАТЕЛЬ:** Начинаем заседание. Я назову список присутствующих членов совета (*Оглашает фамилии членов совета, присутствующих на заседании, согласно явочному листу*). Общий состав – 18 всего, из них очно присутствует 11 и удаленно 7 членов совета, из полного состава 22 человека. Кворум есть, можно начинать. Соискатель Войцик Петр Андреевич, диссертация “Исследование центральных областей активных ядер галактик с экстремальным угловым разрешением”, кандидатская. Специальность 01.03.02, физико-математические науки. Диссертация выполнена в Физическом институте им. Лебедева РАН. Ведущая организация – Крымская астрофизическая обсерватория РАН. Официальные оппоненты – Байкова Аниса Талгатовна, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Пулковской обсерватории, Санкт-Петербург. И Зинченко Игорь Иванович, доктор физико-математических наук, заведующий отделом радиоприемной аппаратуры и миллиметровой радиоастрономии Института прикладной физики РАН, Нижний Новгород. Надежда Николаевна, огласите, пожалуйста, содержание документов, которые есть в деле диссертанта.

**СЕКРЕТАРЬ:** Спасибо, Юрий Андреевич. От соискателя поступил полный комплект документов. Положительное заключение организации, где выполнена работа, справка о сдаче кандидатского минимума, диплом о высшем образовании, отзыв научного руководителя. Все документы в порядке, удовлетворяют требованиям ВАК. Мы также получили в установленные сроки отзывы ведущей организации и отзывы официальных оппонентов.

**ПРЕДСЕДАТЕЛЬ.** Хорошо, спасибо. В таком случае, Петр Андреевич, Вам слово.

## ДОКЛАД СОИСКАТЕЛЯ

СОИСКАТЕЛЬ: *(Выступает с докладом. В докладе демонстрирует и комментирует слайды 1-17, номера которых даны в начале соответствующих строк ниже. Слайды к докладу приведены в Приложении №3 к стенограмме, а также приложены к аттестационному делу в бумажной и электронной форме).*

### Слайд 1

Итак, мой доклад посвящен исследованию центральных областей активных ядер галактик с экстремальным угловым разрешением.

### Слайд 2

Предмет исследования. Во многих активных ядрах галактик наблюдаются такие явления, как биполярные выбросы релятивистского вещества, которые простираются на огромные расстояния, на килопарсеки и мегапарсеки, и эти выбросы особенно хорошо видны на сантиметровых длинах волн. Предметом моей работы является начало этих выбросов, внутренние области на расстояниях парсек и сотен парсек от центральной машины, где, как предполагается находится сверхмассивная черная дыра. Тут надо отметить, что то что мы видим на картах в сантиметровом диапазоне, те яркие области, находятся на этих расстояниях. И хотя эти объекты изучаются уже не один десяток лет, остаются некоторые вопросы, неточности и требующие интерпретацию наблюдения, такие как ускорение частиц в струе, состав частиц, яркости и размеры этих областей. Собственно, этим задачам посвящена моя диссертация.

### Слайд 3

Работа состоит из введения, трех глав и заключения. Первая глава посвящена частотному сдвигу в ультракомпактных радиоисточниках. Переходим к этой главе.

### Слайд 4

Как уже было сказано, в том числе в предыдущем докладе, то, что мы видим на радиоинтерферометрах, яркая компактная область или то, что называется РСДБ-ядро или радио ядро, по-видимому является фотосферой, то есть поверхностью с оптической толщиной порядка единицы. Как показывают даже простейшие модели конического истечения релятивистской плазмы положение видимого начала струи зависит от частоты наблюдения. И это положение имеет степенной закон в зависимости от частоты наблюдения. Из исследования этого эффекта можно получать, как астрофизические величины и свойства релятивистских струй, такие как магнитное поле, плотность частиц, геометрия. Также важно для астрометрических измерений, поскольку именно внегалактические

радиоисточники используются для построения инерциальной системы отсчета, такой как международная система отсчёта ICRF. Зачастую, как, например, в сегодняшнем предыдущем докладе, этот эффект, сдвиг видимого ядра, измеряется относительно оптически тонкой структуры джета. Но те источники, которые используются для построения системы отсчета ICRF очень компактные и практически не имеют оптически тонкой структуры, и было интересно как в этих источниках проявляется этот эффект.

#### Слайд 5

Для решения этой задачи был использован метод относительной астрометрии. Были выбраны 8 компактных радиоисточников из набора реперов системы координат. Для каждого такого источника были подобраны близкие калибраторы в пределах нескольких градусов от каждого источника. Наблюдения проводились на Европейской РСДБ сети на четырех частотах, это наблюдения 2008 года. Стоит отметить, что в этих наблюдениях впервые принимали участие российской сети “Квазар”, как часть EVN. В дальнейшем эти телескопы как полноправные члены EVN неоднократно принимали участие. В чем сложность относительной РСДБ-астрометрии? Дело в том, что как калибраторы, так и сами источники подвержены эффекту сдвига ядра в равной степени. И разделить относительные сдвиги без дополнительной информации не представляется возможным. Я соображение, что сдвиг ядра обычно происходит вдоль струи, как показывают многочисленные исследования. Соответственно, используя информацию о направлении струй, можно разложить относительные сдвиги на для каждого источника. Была разработана методика измерения сдвига ядра радиоисточников с использованием направлений струй. Причём эта методика годится для любого количества близких источников, связанных одним фазовым решением, методом относительной астрометрии. И этот метод можно использовать в будущем.

#### Слайд 6

И так, были получены оценки для 24 источников, соответственно, 8 целевых источников, по 2 калибратора к каждому. Эффект оказался значим у 9 этих источников. Тут была проблема с тем, что не работал телескоп из Южной Африки из-за чего точность uv-покрытия и, соответственно, точность измерений была чуть меньше, чем мы ожидали. Тем не менее показано, что метод работает, метод может применяться в других исследованиях. Соответственно, измерены для 9 источников сдвиги ядер. На графиках приведены примеры подгонки сдвигая ядра в зависимости от частоты, профитированны, соответственно, законом единица на нью. По горизонтальной оси отложена частота в гигагерцах.

#### Слайд 7

Основные результаты по первой главе. Разработан метод, который позволяет измерить эффект видимого сдвига ядра с частотой для каждого объекта в группе

близких источников, связанных одним фазовым решением, методом относительной РСДБ астрометрии. Получены измерения для 9 объектов. Полученные величины сдвигов хорошо согласуются с другими измерениями в других работах другими методами, то есть методами привязки к своей оптически тонкой структуре. Это вполне типичные величины. Надо сказать, что из 9 источников, где эффект оказался значим, 5 входит в список определяющих объектов международной системы ICRF. Это необходимо учитывать при высокоточных астрометрических задачах. Собственно, это и учитывается, поскольку сейчас точность астрометрии и геодезии стала очень велика и такие эффекты просто необходимо учитывать. Также получены некие геометрически выводы, а именно: видимое начало струи, то есть то, что мы видим на 8 гигагерцах находится на расстоянии около 20 парсек от истинного начала струи. То есть те радиоисточники, которые мы видим, это на самом деле парсеки, десятки парсек от центральной машины. Это будет важно понимать в следующих главах. Также было оценено магнитное поле на расстоянии 1 парсека от центральной машины на уровне 1 Гаусса при некоторых предположениях.

#### Слайд 8

Вторая глава посвящена обзору активных ядер галактик с помощью интерферометра “Радиоастрон”. Задача обзора была измерить и исследовать яркостную температуру квазаров с целью лучше понять физику их излучения. В чём, собственно, тут проблема? Из теории известно, что для синхротронного излучения электронов есть ограничение на яркость, на яркостную температуру. Так, в случае равномерного распределения плотности энергии частиц и магнитного поля это где-то  $10^9$  в  $10^9$  –  $10^9$  в  $10^9$  с половиной кельвин. Также есть фундаментальное ограничение, так называемый комптоновский предел,  $10^9$  в степени 11.5. Если электроны становятся вдруг энергичнее, чем этот предел, они очень быстро высвечиваются и яркостная температура опять падает ниже этого предела. И наземные наблюдения на наземных интерферометрах не противоречат этому пределу, если учитывать типичное доплеровское усиление порядка  $10^9$ . Как показано на гистограмме по наблюдениям MOJAVE на 15 гигагерцах как раз типичная величина  $10^9$  в  $10^{12}$ -й и практически не превышения  $10^9$  в  $10^{13}$ -й. С другой стороны, базы наземных интерферометров ограничены диаметром Земли и, соответственно, при тех потоках, которые имеют активные ядра в радиодиапазоне, не представляется возможным измерить напрямую яркость выше, чем  $10^9$  в  $10^{13}$ -й кельвинов. Для измерения таких яркостей нужны проекции баз сильно больше диаметра Земли. И проект “Радиоастрон”, наземно-космический интерферометр “Радиоастрон” позволил провести такие исследования.

#### Слайд 9

И так, в обзоре наблюдались почти 250 радиоярких активных ядер. Обзор проводился с 12 по 18 годы на трёх частотах наблюдения. Обзор представлял

собой серию коротких экспериментов, по 40 минут, час, полтора часа, и небольшого количества телескопов на Земле, что позволило провести более 3000 наблюдательных сессий. Значимый сигнал получен от двух третей источников на проекциях баз до 27 диаметров Земли, то есть практически до самых больших баз, которые позволяла орбита космического телескопа.

#### Слайд 10

Здесь на гистограммах представлена статистика детектирования источника в зависимости от проекции баз для каждой частоты наблюдения. Что здесь можно сказать? Во-первых, видно, что множество источников детектируются на самых больших проекциях баз, то есть они очень компактные и яркие. Это было совершенно неочевидно до запуска проекта, то есть это совершенно уникальные способ проверить свойства этих источников. Видно, что количество протектированных источников падает с проекцией базы, что говорит о том, что источники разрешаются, что ожидаемо. Также можно сказать, что на 22 гигагерцах, на самой высокой частоте, протектировано меньше источников. Это потому что чувствительность меньше и наземных, и космического телескопа, а также время интегрирования меньше. Также можно сказать, что на самой низкой частоте есть намек на какое-то уплотнение на самых больших базах на гистограмме, что может свидетельствовать об эффектах рассеяния. То есть может здесь сказываться субструктура рассеяния, которая была открыта по наблюдениям пульсаров тоже в проекте “Радиоастрон” Михаилом Васильевичем Поповым с коллегами, которая потом была подтверждена у некоторых других объектов, например, по центру Галактики. Так что может быть здесь мы тоже наблюдаем эффект субструктуры рассеяния на длинных волнах на самых больших базах.

#### Слайд 11

И так, как мы оценивали яркостную температуру? В каждом эксперименте была получена коррелированная плотность потока на больших базах и по наземным наблюдениям на малых базах. Таким образом фактически мы имеем потока на малых базах и на больших базах. Чтобы оценить яркостную температуру, использовалась самая простейшая модель, что излучающая область имеет форму круглой гауссианы. Тогда яркостная температура оценивается по этой формуле. В нее входит проекция базы, поток по наземным измерениям и поток по космическим измерениям. Ниже приведены результаты измерения яркостной температуры для трех объектов, которые были подробно исследованы в этой работе. Вот, например, 3C273 – самый знаменитый квазар, по наблюдениям “Радиоастрона” показывает яркостную температуру по всем точкам выше, чем 10 в 13-й Кельвин. Другой квазар 0529. Те точки слева, левая половина, это наземные измерения, а правая-верхняя – это наземно-космические. И видно, что по наземно-космическим тоже яркостная температура превышает 10 в 13-й. Источник 0235, один из самых компактных блазаров вообще на небе, он показывает температуры вплоть до 10 в 14-й кельвина.

## Слайд 12

Таким образом можно сделать выводы, что проведена обработка обзора активных ядер галактик в проекте “Радиоастрон”. Отклик получен от двух третей источников на проекциях баз до 27 диаметров Земли или 345 тысяч километров. Детально исследованные источники по результатам обзора показывают температуру больше, что 10 в 13-й степени во всех частотных диапазонах. Это где-то на порядок превышает измерения на наземных интерферометрах. В тоже время мы не наблюдаем экстремальную яркостную температуру 10 в 15-й – 10 в 16-й Кельвин, по крайней мере напрямую. Полученные яркости противоречат предположению о равномерном распределении энергии частиц и магнитного поля в джетах блазаров на парсековых масштабах. Про парсековые масштабы шла речь в первой главе. Более того, полученные яркости превышают Комптоновский предел, даже с учетом релятивистского усиления. Высокие яркостные температуры могут быть объяснены нестационарными процессами, такими как постоянное ре-ускорение частиц, вспышечные явления, магнитные пересоединения, а возможно и более экзотические модели, такие как релятивистские протоны, о которые речь шла в предыдущей диссертации, или когерентное излучение. Как было сказано, важно учитывать релятивистский эффект, а именно доплеровское усиление излучения, которое влияет на яркостную температуру.

## Слайд 13

Собственно, третья глава посвящена именно оценке доплеровского усиления в струях. Для этого использовались данные астрометрического обзора, который проводился на VLBA и других телескопах, который позволяет строить длинные ряды изображений большого количества радиисточников. Всего в данной работе проведено измерения 68 релятивистских струй. Для каждого объекта строилась карта. Вот как пример здесь приведена карта. Дальше структура источника моделировалась набором гауссовых компонентов, то есть ядро и дальше детали струи. Далее прослеживалось, как эти детали со временем меняют свое положение относительно ядра. Собственно, на правом графике представлена зависимость расстояния оптически тонких деталей относительно ядра. И приведена бета арр – это видимая скорость выраженная в скоростях света. То есть наблюдается сверхсветовое движение, которое типично для таких объектов, и связано оно с тем, что излучающее вещество движется под малым углом к лучу зрения со скоростью близкой к скорости света. С этим связано и уярчение этого излучения и, соответственно, увеличение яркостной температуры.

## Слайд 14

Было построено распределение видимых скоростей самых быстрых деталей этих объектов. И оно получило такую форму с пиком в районе пяти и хвостом где-то в пределах пятидесяти. Тут нужно сказать, что исследования показывают, что угол, под которым наблюдаются вот эти релятивистские струи, к лучу

зрения, он не очень далёк от критического угла. А в случае критического угла доплер фактор численно примерно равен как раз видимой скорости, выраженной в скорости света. И тут можно сказать, что мы видим, что доплер фактор получается на уровне 5–10, может быть для каких-то объектов чуть больше, но явно меньше сотни. И дальнейшее изучение, недавние моделирования популяций блазаров, показывает, что эти оценки близки к истине.

#### Слайд 15

Таким образом, измерена максимальная видимая скорость движения деталей в выборке 66 внегалактических релятивистских струй. Получено медианное значение скорости 8.3 скорости света, максимальное 44 скорости света. Типичное значение релятивистского усиления получается где-то 5–10, что недостаточно для объяснение высокой яркостной температуры, полученной в обзоре активных ядер галактик на “Радиоастроне”.

#### Слайд 16

Положения, выносимые на защиту. Разработан метод измерения видимого сдвига ядер квазаров с частотой по наблюдениям близких источников, связанных одним фазовым решением методом относительной РСДБ-астрометрии. Метод был применён к РСДБ наблюдениям 8 триплетов компактных внегалактических радиоисточников, в результате чего были получены оценки сдвига ядра с частотой для 24 объектов. У 9 из них измеренный эффект значим. Для этих источников медианное значение сдвига РСДБ-ядра на частоте наблюдения 1.7, 2.3 и 5 гигагерц относительно самой высокой частоты 8 гигагерц составило величину 1.8, 1.2 и 0.2 миллисекунд дуги, соответственно. Второе. По результатам обработки обзора активных ядер галактик в проекте “Радиоастрон” получен значимый интерферометрический сигнал от двух третей количества объектов полной выборки 163 радиоисточников на проекциях наземно-космических баз до 345 тысяч километров на частотах наблюдения 1.7, 4.8 и 22.2 гигагерца. Яркостная температура многих протектированных в обзоре источников значительно превышает предел на Комптоновскую катастрофу. Для большинства из них не выполняется предположение о равномерном распределении плотности энергии частиц и магнитного поля. Третье. По результатам программы мониторинга активных ядер на системе апертурного синтеза VLBA на частоте 8 гигагерц измерены видимые скорости движения деталей в 66 релятивистских струях. Распределение скоростей самых быстрых деталей в каждом источнике показывает максимум 44 скорости света и медианное значение 8.3 скорости света. Полученные видимые скорости соответствуют типичному доплеровскому усилению 5–10, что не достаточно для объяснения высокой яркостной температуры ядер квазаров, полученной по результатам обзора активных ядер в проекте “Радиоастрон”.

Слайд 17

Результаты опубликованы в 6 работах в изданиях, входящих в список ВАК. Спасибо.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Спасибо. Вопросы.

## **ВОПРОСЫ ПОСЛЕ ДОКЛАДА СОИСКАТЕЛЯ**

ИВАНОВ П.Б. У меня три вопроса. Первый вопрос, может быть, связан с тем, что я не специалист. Он касается глав 1 и 3. Вы оценивали угол наклона джета к лучу зрения? И если оценивали, то как?

СОИСКАТЕЛЬ. Нет, я не оценивал этот угол. Я исходил из литературных источников.

ИВАНОВ П.Б. А в литературных источниках он был оценен для каждого объекта? Или просто какие-то типичные значения?

СОИСКАТЕЛЬ. Я исходил из типичных значений. Сейчас много работ на эти темы. Измеряется разными методами, но в моей работе я этого не касался для отдельных объектов.

ИВАНОВ П.Б. Хорошо. Вторым вопросом я задавал уже на предзащите. Вы когда рассматривали движение сверхсветовых деталей, насколько я понимаю, предполагалось, что это просто какие-то физические бобы, которые двигаются, а не волны.

СОИСКАТЕЛЬ. Да.

ИВАНОВ П.Б. А что если это не правда? Что если это какие-то волновые процессы? Наверное, тогда все поменяется?

СОИСКАТЕЛЬ. Наблюдения показывают, что похоже это связано с именно движением плазмы. Как минимум, потому что есть связь между яркостной температурой и скоростями этих движений. Т.е. есть корреляция между видимыми скоростями и яркостями источников.

ИВАНОВ П.Б. Т.е. яркости, Вы имеете в виду, отдельных бобов?

СОИСКАТЕЛЬ. Нет, я как раз имею в виду не отдельных бобов, отдельные бобы могут иметь некий разброс скоростей. Есть некие типичные скорости для каждого источника. Например, показано, что разброс видимых скоростей от источника к источнику гораздо больше, чем внутри источника. Т.е. есть некая типичная скорость. И вот эти скорости связаны с яркостной температурой ядер. Т.е. видимые скорости бобов связаны с гамма-фактором плазмы излучающей.

ИВАНОВ П.Б. Хорошо. И последний вопрос. Вот Вы сказали, что для большинства из них не выполняется предположение о распределении плотности частиц в магнитном поле. Это что означает? Это означает, наверное, что есть оценка, что плотность энергии частиц, например, больше, чем плотность магнитного поля. Или наоборот. Какое число?

СОИСКАТЕЛЬ. Это число сильно модельно зависимо, это надо разбираться. Но в принципе, если яркостная температура очень высокая, то это значит, что плотность энергии частиц выше плотности магнитного поля.

ИВАНОВ П.Б. Хорошо, спасибо!

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Еще, пожалуйста, вопросы есть у кого-нибудь?

КОВАЛЕВ Ю.А. Есть вопрос в Пуццино.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Да, пожалуйста.

МАЛОФЕЕВ В.М. У меня вопрос по первой главе такой. Разработан метод, очень важный, интересный. А что дает это для физики этих объектов? Вы подтверждаете модель, которая предложена? И почему тогда у оставшихся 9 из 24-х увидели этот эффект, а у остальных не видите? С чем это связано?

СОИСКАТЕЛЬ. Я так понимаю, вопрос почему измерили только у девяти? По большому счету, не хватило точности наблюдений. Как я говорил, из-за недостаточно оптимального покрытия плоскости пространственных частот из-за поломки южноафриканского телескопа, который должен был базы как раз давать север-юг, для источников с низким склонением точность была недостаточной. Там получалась вытянутая диаграмма направленности. Видимо, с этим связано. Потому что сам по себе метод показал, что он работает.

КОВАЛЕВ Ю.Ю. Вы позволите, я повторю. Там была первая часть вопроса. В чем важность этого метода. Т.е. разработан новый метод, в чем важность этого метода для физики исследования объектов, активных галактик?

СОИСКАТЕЛЬ. Этот метод позволяет измерять эффект сдвига ядра даже для таких компактных источников, у которых не видно оптически тонкой структуры, собственно струи не видно. Но при этом видно, что этот сдвиг есть, значит можно оценивать те физические параметры, которые как раз сдвиг ядра показывают. Из некоторых модельных предположений можно оценивать магнитное поле, расстояние видимого начала относительно источниного начала струи. Такие вещи.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Хорошо, спасибо. Есть еще вопросы? Онлайн? Я задам короткий вопрос. Он связан с тем, что я не очень хорошо понял, о чем там речь идет. Заключение по первой главе, последний пункт, по-моему. Вы указываете там пределы. С одной стороны предел вот тех наблюдений, вернее ядерной части, начала джета, это 22 парсека физически, с одной стороны. А с другой стороны, Вы в этой же фразе говорите о том, что Вы измерили магнитное поле вплоть до расстояния порядка одного парсека от центра ядра. И величина там 1 Гаусс. Это что? Экстраполяция какая-то? Что это означает?

СОИСКАТЕЛЬ. Ну это модельная оценка. Модель конического джета в предположении как раз типичного угла струи к лучу зрения в предположении равномерного распределения энергии частиц в магнитном поле и конической формы струи. А когда есть достаточно простая форма, она позволяет оценить магнитное поле. Но это сильно модельно зависящая оценка.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Т.е. там предполагалось, что магнитное поле как-то заморожено? Когда вы говорите о конической форме.

СОИСКАТЕЛЬ. Да, магнитное поле имеет определенную степенную зависимость от расстояния по струе.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Понятно, спасибо. Еще вопросы есть? Не видно вопросов. Тогда слово предоставляется научному руководителю. Пожалуйста, Юрий Юрьевич.

## **ВЫСТУПЛЕНИЕ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

КОВАЛЕВ Ю.Ю. Благодарю Вас. Я работаю с Петром Андреевичем с 2010 года, за это время он очень многое успел сделать. Он учился у нас в аспирантуре, за это время прошло уже немножечко больше 10 лет, он опубликовал вместе с коллегами всего уже 16 статей в отечественных и зарубежных рецензируемых журналах. Это действительно очень неплохой показатель. Петр Андреевич стал незаменимым членом группы сопровождения проекта Радиоастрон, глубоко разбирающимся в вопросах корреляционной и посткорреляционной обработки данных. Его участие в проекте с самого начала, с поиска лепестков и впоследствии в отслеживании состояния наземно-космического интерферометра на основе анализа результатов наблюдений активных галактик сложно переоценить. Его активное взаимодействие с группами, коррелирующими данные Радиоастрона, способствовало высокому качеству финальных данных проекта, которыми сейчас наслаждается большое количество коллективов как в нашей стране, так и за рубежом. Я уже упомянул, что я начал работать с Петей в 2010 году, но я сейчас заметил, нажав кнопку “участники” в зуме, что сейчас присутствует его первый научный руководитель со времен, когда Петя еще работал в Специальной астрофизической

обсерватории, во время своей летней практики, Сергей Анатольевич Трушкин. Я хочу сказать, что у Пети сегодня такой большой день, фактически вся его научная карьера в том или ином виде здесь присутствует большинством его научных руководителей. Здравствуйте, Сергей Анатольевич, очень рады Вас видеть. Петр развился в специалиста очень высокого класса. Настолько глубокое понимание основ радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами встречается вокруг все реже и реже. Отмечу еще одну важную особенность Петра Андреевича. Достаточно поставить перед ним задачу любой сложности и обсудить только базовые, ключевые аспекты и идеи по ее решению. Остальное все сделает он сам, быстро, качественно и на высоком уровне автоматизации процесса. Я сейчас говорю не только про свой опыт работы с Петром, но и про опыт наших коллег. Петя прошел очень большой путь. Когда он начал с нами работать в 2010 году, уже тогда он был талантлив и силен в том, чем он занимается. Но у него были сложности в том, чтобы донести свои результаты до коллег, как в устном, так и в письменном виде. И это основная причина, почему он защищает диссертацию сейчас в 2022 году, начав с нами работать в 2010. Потому что я ему сразу сказал, что никто за тебя статьи писать не будет, надо тебе пройти большой путь, чтобы самостоятельно это сделать, отстаивать те результаты, которые ты получаешь, отстаивать свою правоту. И вот Пете потребовалось немало времени для того, чтобы выйти на этот уровень, и он на него несомненно вышел. И это будет слышно в комментариях, если я правильно помню, то ли оппонентов, то ли ведущей организации по диссертации. Что она, конечно, не лишена некоторых опечаток, но при этом за изложение результатов Петя получил от кого-то похвалу. Диссертация П.А. Войцика посвящена исследованиям ядер активных галактик с экстремальным угловым разрешением на наземных и наземно-космических радиоинтерферометрах. Он использовал для своих исследований как отечественные, так и зарубежные ведущие радиотелескопы, в том числе наш Радиоастрон. Считаю, что его работа полностью соответствует требованиям к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности астрофизика и звездная астрономия. Спасибо. *(Отзыв научного руководителя прилагается).*

**ПРЕДСЕДАТЕЛЬ.** Спасибо. Вопросы, пожалуйста, к научному руководителю. Если нет вопросов, то Надежда Николаевна зачитает отзывы организации, где выполнялась диссертация, ведущей организации и так далее.

**СЕКРЕТАРЬ.** Спасибо. Юрий Андреевич. Я зачитаю два отзыва. Один отзыв – ведущей организации, а другой – отзыв организации, где выполнялась работа.

**СЕКРЕТАРЬ.** *Зачитывает Отзыв организации, где выполнена работа (ФИАН). Отзыв положительный, прилагается.*

**СЕКРЕТАРЬ.** *Зачитывает Отзыв Ведущей организации (КрАО РАН). Отзыв положительный, прилагается.*

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Хорошо. Спасибо, Надежда Николаевна. Здесь, кажется, не было замечаний, на которые нужно отвечать. Сейчас я передаю слово первому оппоненту Байковой Аниса Талгатовне. Пожалуйста, Аниса Талгатовна.

### **ВЫСТУПЛЕНИЕ ПЕРВОГО ОППОНЕНТА**

БАЙКОВА А.Т. *(Официальный оппонент, присутствует на заседании в удаленном интерактивном режиме). Зачитывает свой отзыв полностью. Отзыв положительный, прилагается.*

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Спасибо, Аниса Талгатовна. Петр Андреевич, у Вас будут ответы?

СОИСКАТЕЛЬ. С Вашего позволения, я отвечу сразу на все замечания.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Хорошо. В таком случае слово передается второму оппоненту Игорю Ивановичу Зинченко. Пожалуйста, Игорь Иванович.

### **ВЫСТУПЛЕНИЕ ВТОРОГО ОППОНЕНТА**

ЗИНЧЕНКО И.И. *(Официальный оппонент, присутствует на заседании лично). Выступает с отзывом. Отзыв положительный, прилагается.*

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Спасибо, Игорь Иванович. (Соискателю) Петр Андреевич, теперь Вы можете ответить все все вопросы.

### **ОТВЕТЫ НА ЗАМЕЧАНИЯ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

*В положительном отзыве ведущей организации сказано, что нет существенных замечаний по диссертации.*

### **ОТВЕТЫ НА ЗАМЕЧАНИЯ ПЕРВОГО ОППОНЕНТА**

*1. Не дается никаких пояснений относительно такого важного физического параметра как  $k_r$  (стр. 18), на который диссертант неоднократно ссылается.*

СОИСКАТЕЛЬ. Стоило подробнее остановиться на физическом смысле параметра  $k_r$ . При этом отмечу, что измерения данного параметра в диссертации не проводятся. В диссертации приведены ссылки на работы, где подробно обсуждается как сам параметр  $k_r$ , так и его измерения на больших выборках источников.

ИВАНОВ П.Б. Что это за параметр?

СОИСКАТЕЛЬ. Он входит в зависимость сдвига ядра от частоты, в степень.

2. «Радиоастрон» является наземно-космическим интерферометром с базой, превышающей диаметр Земли до 28-29 раз, обеспечивающей рекордно высокое предельное угловое разрешение, достигающее 7-8 мкс дуги на частоте 22 ГГц. К сожалению, в диссертации не приводится ни одного изображения АЯГ, полученного интерферометром с такими предельными параметрами. Синтез изображений с предельно высоким угловым разрешением мог бы существенно быстрее приблизить нас к пониманию работы центральной машины АЯГ. Интересно знать, были ли попытки получения изображений АЯГ с предельно высоким угловым разрешением и чем увенчались эти попытки. Нелишним было бы в диссертации дать обсуждение этой проблемы.

СОИСКАТЕЛЬ. Построением изображений активных ядер по данным «РадиоАстрона» успешно занимаются несколько групп в рамках своих заявок на наблюдательное время. Сложность таких экспериментов заключается в том, что требуется большое количество наземных телескопов, достаточно длительное время наблюдений, а также оптимальное положение космического радиотелескопа на орбите для лучшего заполнения UV-плоскости. Вследствие этих ограничений, относительно небольшое количество активных ядер было прокартографировано. С другой стороны, тысячи коротких наблюдений, проведенных в рамках обзора, позволили исследовать ядра около 160 источников, чему посвящена Глава 2 диссертации. Согласен, что в диссертации в обзоре литературы по теме стоило коснуться проблемы построения изображений со ссылками на соответствующие работы, в том числе работы, где приведены карты, полученные с участием Радиоастрона.

## **ОТВЕТЫ НА ЗАМЕЧАНИЯ ВТОРОГО ОППОНЕНТА**

1. Во второй главе имеются некоторые неточности в описании процедуры оценки яркостной температуры. Так, говорится, что формула (2.3) дает максимальную яркостную температуру, к которой чувствителен данный интерферометр. На самом деле очевидно, что интерферометр с данной базой чувствителен к сколь угодно более высокой яркостной температуре, но из измеренной плотности потока при данной базе нельзя получить более высокую оценку этой температуры. Далее говорится, что самая высокая яркостная температура, которую можно измерить с помощью радиоинтерферометра, определяется длиной базы и точностью измерения функции видности. Вообще-то, как видно из формулы (2.3), самая высокая оценка яркостной температуры определяется измеренной плотностью потока источника, а не точностью его измерения.

СОИСКАТЕЛЬ. Я согласен, что некоторые формулировки недостаточно точны. Это связано с тем, что я много с этим работаю и, наверное, замылился глаз. Речь

шла про максимально измеряемую яркостную температуру излучающей области с фиксированной типичной плотностью потока, скажем, 1 Ян. Тогда можно измерить размер частично разрешенной детали, даже если он меньше размера диаграммы направленности, если предположить простую, обычно Гауссову, форму излучающей области. И чем выше отношение сигнал-шум, то есть выше точность измерений, тем меньший размер по сравнению с диаграммой направленности можно измерить.

*2. В разделе 2.4.2 я не понял, каким образом из верхних пределов на плотность потока удалось получить нижние пределы яркостной температуры.*

СОИСКАТЕЛЬ. Согласен, что в диссертации формулировка не вполне корректна. Для верхних пределов плотности потока были формально подсчитаны значения  $T_{b,min}$  в качестве характерных значений. Их надо воспринимать, скорее, как характерные оценки сверху на яркостную температуру. Здесь нет глубокого физического смысла.

*3. В главе 3 приводятся результаты квадратичной аппроксимации данных о движении компонент источников, что в принципе даёт информацию об их ускорении. Однако эти результаты практически никак не обсуждаются и не используются, кроме выделения медленно движущихся компонент. При этом приведённые в таблице 3.5 оценки показывают, что в некоторых случаях ускорение может быть значимым.*

СОИСКАТЕЛЬ. Действительно, полученные измерения позволяют исследовать ускорение компонент релятивистских струй. Моей задачей в третьей главе была оценка доплеровского усиления излучения, результаты которой вынесены в основные положения. Исследование ускоренного движения выходит за рамки диссертации. Хотя, эта работа проведена и опубликована. Но это сделано соавторами, мой личный вклад был именно в скорость. С остальными замечаниями я согласен.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Аниса Талгатовна, Игорь Иванович, Вы удовлетворены ответами?

ЗИНЧЕНКО И.И. Да.

БАЙКОВА А.Т. Я так понимаю, что диссертант считает, что замечания справедливы и в каком-то смысле он согласен с замечаниями, по которым давал пояснения.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Спасибо за оппонирование, за квалифицированные отзывы. Теперь общая дискуссия, обсуждение, вопросы, если кто не успел задать. Кто-то хочет высказаться по каким-то аспектам диссертационной работы?

## ОБЩАЯ ДИСКУССИЯ

ТРОИЦКИЙ С.В. У меня маленький вопрос, поскольку я не специалист. Очень интересный результат про яркостные температуры. Вы упомянули несколько возможных физических объяснений того, с чем такой эффект, который Вы обнаружили, может быть связан. Magnetic reconnection, более тяжелые частицы и т.д. Вот скажите, как Вам кажется, если взять достаточно большую выборку наблюдений, Вы можете сказать что-то в пользу одного из вариантов? Конечно, не в этой диссертации, а в будущем. Наблюдения такого типа или переанализ, или внимательно посмотреть на то, что Вы получили. Может ли это открыть нам глаза на то, какой именно из вариантов объясняет ваш эффект?

СОИСКАТЕЛЬ. Действительно, сейчас достаточно много работ проводится в этом направлении. Во-первых, по-видимому высокие яркостные температуры связаны со вспышечной активностью. Есть корреляция между вспышками и... Видимо, происходит какой-то вброс высокоэнергетичных частиц и тогда видны высокие яркости. Причем, по-видимому, это какие-то компактные области внутри общего РСДБ ядра, т.е. то, что мы наблюдаем на наземных интерферометрах – это усредненная получается величина, а на Радиоастроне мы видим какие-то искорки внутри этой области. Это еще и какой-то геометрический эффект. Насчет моделей, тут дополнительные исследования, в том числе нейтринные, могут дать ответ.

ТРОИЦКИЙ С.В. Спасибо большое, очень интересно.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Да, Юрий Юрьевич.

КОВАЛЕВ Ю.Ю. Спасибо, Юрий Андреевич. В зуме Сергей Анатольевич Трушкин просит дать ему слово. Сергей Анатольевич, если Вы включите видео, то мы Вас увидим тоже. Пока у Вас выключен микрофон и видео. Пока не слышим.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Наверное, связь. Интернет плохой.

КОВАЛЕВ Ю.А. Можно тогда пока я вопрос задам.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Конечно, Юрий Андреевич.

КОВАЛЕВ Ю.А. У меня простой вопрос. А если подключить к тому, что сделал Петя, какую-то из физических моделей, это поможет более надежно оценить те же самые параметры?

СОИСКАТЕЛЬ. О каких параметрах идет речь?

КОВАЛЕВ Ю.А. Ну, яркостная температура, например, в том числе.

СОИСКАТЕЛЬ. Скажем так, видимую яркостную температуру мы наблюдаем напрямую, это измеряемая физическая величина. А тут проблема в пересчете видимой яркостной температуры во внутреннюю, связанную с плазмой. И здесь доплеровское усиление играет роль.

КОВАЛЕВ Ю.А. Там же еще, наверное, и угол наблюдения, угол струи к наблюдателю можно вытащить, когда модель включена.

СОИСКАТЕЛЬ. Ну да, так и делается моделирование источников, либо отдельного источника, либо массовое популяционное моделирование для выяснения гамма-фактора, угла наклона, доплер-фактора. Сейчас много таких работ появляется.

КОВАЛЕВ Ю.А. Мне кажется, если брать спектры и модель и объединить с тем, что Вы сделали, то можно не то чтобы много нового физического получить, но существенно расширить.

ИВАНОВ П.Б. Вроде у Вас были статьи с Василием Семеновичем Бескиным и другими коллегами по поводу всяких джетов, в том числе с доминированием частиц.

КОВАЛЕВ Ю.А. Я имел в виду с доминированием магнитного поля как раз.

ИВАНОВ П.Б. Но дело в том, что насколько я понимаю, то о чем говорилось, вспышки какие-то, свидетельство актов пересоединения и так далее, в такого рода моделях они не рассматриваются. Здесь можно рассмотреть какую-то простую модель и выкинуть тем самым что-то крайне существенное.

КОВАЛЕВ Ю.А. Я даже знаю, как она называется.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. У меня одно замечание, вернее развитие того, что сказал перед этим Сергей Вадимович и сейчас Павел Борисович, а именно по поводу вспышечной активности, переменности. Может быть, я пропустил, в диссертации речи не шло о характерных временах возможной переменности. Т.е. яркие события означают, что это очень энергичные события, и если их соотносить с перезамыканием магнитных силовых линий, то скорее всего это самые центральные области аккреционных дисков где-нибудь вблизи горизонта событий, потому что там такие мощности могут выделяться. А там характерные времена короткие, и у меня вопрос как раз к характерным временам. По крайней мере, каков нижний предел времени интегрирования и могли ли вы выделять переменность на коротких временах? Спасибо.

СОИСКАТЕЛЬ. Честно говоря, переменностью я в этой работе не занимался. Сейчас этим занимаются мои коллеги. Фактически у меня просто были

измерения яркостной температуры в тот или иной момент. Если говорить про переменность, то она все-таки измеряется месяцами, хотя и более короткие (времена) есть. И мы наблюдаем, конечно, область совсем не аккреционного диска, все-таки это парсековые расстояния. Скорее речь идет о каких-то, может быть, ударных волнах внутри струи уже на большом расстоянии от центральной машины.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Понятно, спасибо. Еще кто-нибудь хочет продолжить дискуссию, выступить?

КОВАЛЕВ Ю.Ю. Я хочу прокомментировать технически. Сергей Анатольевич, мы Вас так и не слышим. И вторая рука поднята в зуме. Это Леонид Петров из NASA.

ПЕТРОВ Л. Позвольте мне представиться. Леонид Петров, научный сотрудник Центра космических полетов имени Годдарда, NASA, кандидат физ-мат наук. Позвольте мне высказаться по работе Петра Андреевича, я очень высоко ее оцениваю. Позвольте мне остановиться на двух работах, которые вошли в диссертацию. Первая – сдвиг ядра. Диссертант досконально разобрался с картографированием от начала до конца. Это может казаться тривиальной задачей, но у нас в NASA был сотрудник, которого наняли с тем, чтобы он разобрался с картографированием. Человек провел год, не сумел справиться. Человек имел диссертацию PhD, правда не из ФИАН, а из одного из европейских институтов. Потому мы знаем, что это далеко не тривиальная вещь. А диссертант с этим справился. Помимо фундаментальной науки, т.е. исследования физических процессов, которые происходят вблизи черных дыр, эта проблема очень важна, имеет прикладное значение. Сдвиг ядра, если его не учитывать, приводит к систематическим ошибкам. Переход на четырехполосную систему регистрации геодезических РСДБ резко повысил интерес к этой проблеме. Оказалось, что сдвиг ядра приводит к более серьезным ошибкам, чем при предыдущем поколении двухполосных РСДБ. Вторая проблема, которая возникает, это при навигации космических аппаратов. Положение космических аппаратов оценивается с помощью фазовой дифференциальной РСДБ. Положение самих опорных источников получают с помощью обработки групповых задержек. В случае если источник eqwipatrition, то эффект от вклада сдвига ядра в эту задержку исчезает. При этом его вклад полностью остается в фазовых задержках. Соответственно, эти ошибки, которые возникают, довольно существенные. Более того, эти ошибки доминируют в бюджете. Как с ними бороться – работа Петра Андреевича показывает путь, каким образом можно решить эту проблему, повысить точность космической навигации. Третья проблема, которая возникает – это при сравнении положений источников с помощью пульсарного тайминга и РСДБ. РСДБ-наблюдения пульсаров обычно проходят на низкой частоте, на 1.4 ГГц, при этом вклад от сдвига ядра оказывается очень большим, порядка нескольких миллисекунд, он является доминирующим. И метод, который Петр Андреевич

применил и опубликовал, сейчас используется при получении точных положений пульсаров из РСДБ и сравнении с пульсарным таймингом, что очень важно, во-первых, для определения плоскости эклиптики, а во-вторых для получения реалистичных ошибок пульсарного тайминга. Метод триплетов становится главным методом для решения этой задачи, и у Петра Андреевича была первая статья, которая была опубликована на эту тему. Что мне очень понравилось в работе Петра Андреевича – это реализм ошибок сдвига ядра. Были статьи, в которых были какие-то сумасшедшие точности в определении ошибок, несколько микросекунд, что не реалистично. Петр Андреевич привел ошибки этих определений сдвига ядра, которые кажутся достаточно реалистичными, и они позволяют преодолеть проблемы, которые были с предыдущими работами, в которых ошибки определения сдвига ядра не были детально проработаны. Вторая работа – это по Радиоастроному. Эта работа немного меньше известна за рубежом, хотя интерес к этому очень большой. Одна из причин – это разработка нового поколения космических телескопов, которая сейчас в самой начальной фазе. И если картографирование с наземных телескопов – это задача, которая уже была решена и очень важно, что диссертант смог с ней разобраться, то обработка наблюдений с космических телескопов – это задача, которая раньше не рассматривалась. И Петру Андреевичу не у кого было спросить совета. И я считаю, что это очень большой вклад. И, как отметил научный руководитель, Петр Андреевич стал главным экспертом в этой области. И последнее, позвольте мне сказать несколько слов о самом диссертанте. Первое письмо, которое я получил от Петра Андреевича, датировано мартом 2011 года, т.е. мы с ним контактируем уже больше 11 лет. Меня поражает очень высокая работоспособность Петра, я ему посылал письма в 3 часа по московскому времени, по Вашингтонскому времени это вечер, а когда просыпался утром, у меня уже был ответ от Петра. Не знаю, когда он вообще спал. И еще про метод работы Петра Андреевича. У него очень большая любовь к деталям. Он очень методично и дотошно работает, и если он что-то сделал, то мы уверены, что проблема решена и нет никаких скелетов в шкафу и нет ничего, замеченного под ковер. Это очень важное качество. Я устраивал несколько тренингов по пакету обработки PIMA, с переменным успехом. Для Петра это оказалось ненужным, он разобрался сам с пакетом обработки, начал находить ошибки и присылать мне исправления. Одно дело разобраться с пакетом, этому можно, наверное, научить кого угодно, но совершенно другая ситуация, когда человек разобрался настолько, что может его исправлять. Это означает, что он полностью разобрался с основными физическими принципами, разобрался с алгоритмами, и продемонстрировал глубокое понимание. Поэтому я призываю диссертационный совет проголосовать за присуждение степени кандидата наук.

**ПРЕДСЕДАТЕЛЬ.** Спасибо! Очень хорошая характеристика, она помогает, конечно. И вот я вижу, что появился Трушкин.

ТРУШКИН С.А. Уважаемые коллеги, здравствуйте. Приятно видеть многих из вас в полном здравии, энергичных. Замечательное мы сейчас услышали выступление Петра. Меня упомянул Юрий Юрьевич и, действительно, я с гордостью вспоминаю то, что Петр делал у меня дипломную работу и у меня только приятные впечатления от этого сложились, потому что сколько у меня студентов было, не было более продуктивного студента, чем Петр. А сама диссертация мне очень понравилась, и мне кажется, сделано очень много. И приятно то, что сейчас молодой человек, так сказать, вошел в историю космической радиоастрономии, защищая диссертацию по очень важной теме радиоастрономических наблюдений с помощью Радиоастрона. Это, мне кажется, историческое событие во многих отношениях. Мы видим, что диссертация сделана очень добротна, автор выступает со знанием дела, отвечает на вопросы очень хорошо, поэтому не буду долго вас задерживать, скажу только что, конечно, призываю всех вас голосовать положительно, потому что диссертация заслуживает того, а Петр Андреевич заслуживает присуждения ему кандидатской степени. Спасибо большое.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Спасибо, Сергей Анатольевич. Еще есть желающие что-нибудь высказать? Нет? Ну все тогда, мы закрываем общую дискуссию и слово Вам, Петр Андреевич, для заключительного слова.

СОИСКАТЕЛЬ. Я благодарю всех, кто помогал мне делать эту работу. В первую очередь, конечно, начного руководителя за терпение, поддержку, создание очень хороших условий работы, для занятий наукой. Благодарю коллег в Астрокосмическом центре за интересные дискуссии и помощь, а также всех тех, с кем мы работали в проекте Радиоастрон. Спасибо представителям ведущей организации и оппонентам за то, что нашли время прочитать мою работу и привести ценные замечания. И спасибо семье и друзьям за поддержку, спасибо!

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Спасибо. И теперь мы переходим к голосованию. Надежда Николаевна, командуйте теперь Вы.

СЕКРЕТАРЬ. Да, теперь Вы объявите перерыв на голосование. Ссылки на почту всем индивидуальные уже пришли, а кому требуется проголосовать с компьютера моего или второго (*стоит в зале заседаний*), то пожалуйста, подходите.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Перерыв на голосование на 15 минут.

*Перерыв на голосование. Все члены диссовета голосуют с помощью системы для электронного тайного голосования “КриптоВече”.*

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Все на месте. Мы видим результаты голосования.

СЕКРЕТАРЬ. (Выводит на экран результаты голосования). Уважаемые коллеги, я вывела на экран результаты голосования. Всего было роздано 18 электронных бюллетеней. ЗА – 18, ПРОТИВ – 0, недействительных бюллетеней – 0. По результатам голосования я составила протокол о результатах, вы его видите на экране. Мы его должны общим открытым голосованием утвердить. Общим большинством.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Теперь давайте утвердим итоги голосования. Кто ЗА, поднимите руки. (Все голосуют поднятием руки). Кто ПРОТИВ? Нет. Воздержавшихся нет. Принято единогласно. Теперь нужно обсудить и принять заключение диссертационного совета по диссертации. Надежда Николаевна?

СЕКРЕТАРЬ. Заключение было разослано заранее всем по электронной почте. И здесь оно в распечатанном виде имеется. Все поправки были учтены в финальной версии. Если сейчас есть какие-то замечания, то можно обсудить.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Кто-нибудь хочет выступить по поводу заключения? С поправками, комментариями, возражениями? Нет. Тогда голосуем. Кто ЗА то, чтобы принять заключение? (Все голосуют поднятием руки). Кто против? Нет. Воздержавшихся тоже нет. Приняли единогласно. Теперь мы поздравляем Петра Андреевича. (Аплодисменты).

КОВАЛЕВ Ю.Ю. Сергей Анатольевич Трушкин тоже через зум передает поздравления.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Теперь можете дышать спокойно до докторской диссертации.

НОВИКОВ И.Д. Юрий Андреевич, большое спасибо за помощь.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Не за что, Игорь Дмитриевич. Спасибо всем. Заседание закрыто.

Председатель диссертационного совета,  
доктор физико-математических наук,  
член-корреспондент РАН

И.Д. Новиков

Председатель заседания,  
доктор физико-математических наук

Ю.А. Щекинов

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат физико-математических наук

Н.Н. Шахворостова

7 апреля 2022 года.