

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

СТЕНОГРАММА
ЗАСЕДАНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
Д002.023.01

7 апреля 2022 года

Защита диссертации
Плавина Александра Викторовича
на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 01.03.02 “Астрофизика и звездная астрономия”
*“Изучение высокоэнергетических процессов в ядрах активных
галактик по данным радио, оптических и нейтринных наблюдений”*

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: Мы начинаем. (*Оглашает фамилии членов совета, присутствующих на заседании, согласно явочному листу*). Очно присутствует 11 и удаленно 7 членов совета. В сумме 18 человек, это кворум. Поскольку общее количество – 22 человека. Кворум есть и мы начинаем защиту диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук Плавина Александра Викторовича. Название диссертации “Изучение высокоэнергетических процессов в ядрах активных галактик по данным радио, оптических и нейтринных наблюдений”. Специальность 01.03.02, физико-математические науки. Диссертация выполнена в Физическом институте им. Лебедева. Ведущая организация – Крымская обсерватория РАН. Официальные оппоненты – Байкова Аниса Талгатовна, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Пулковской обсерватории, Санкт-Петербург. И Лутовинов Александр Анатольевич, доктор физико-математических наук, заместитель директора ИКИ РАН, Москва. Надежда Николаевна, теперь Вы должны огласить содержание документов, представленных соискателем.

СЕКРЕТАРЬ: От соискателя поступил полный комплект документов. Это, помимо диссертации и автореферата, положительное заключение организации, где выполнена работа, справка о сдаче кандидатского минимума, диплом о высшем образовании, отзыв научного руководителя. Мы также получили в установленные сроки отзывы ведущей организации и отзывы официальных оппонентов. Все документы соответствуют требованиям ВАК.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Мы начинаем. Александр Викторович, Вам слово, пожалуйста.

ДОКЛАД СОИСКАТЕЛЯ

СОИСКАТЕЛЬ: *(Выступает с докладом. В докладе демонстрирует и комментирует слайды 1-21, 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

Всем добрый день, тема моей диссертации - изучение высокоэнергетических процессов в ядрах активных галактик по данным радио, оптических и нейтринных наблюдений.

Слайд 2

Предмет исследования диссертации - это активные ядра галактик, а именно их центральные области на масштабах парсек. В этих областях, как показано на иллюстрации справа, находятся следующие составные части: черная дыра с аккреционным диском вокруг неё, и это релятивистский джет, который для далёких объектов обычно виден наблюдателю под малым углом в несколько градусов. Объекты с таким джетом далее в докладе я буду коротко называть блазары.

Слайд 3

В диссертации рассматриваются следующие основные вопросы. Это исследование оптического излучения активных ядер галактик с использованием радиоинтерферометров и Gaia, второе – это смещение видимого начала радиоджетов в блазарах со временем, а третье это связь блазаров с нейтрино высоких энергий. В докладе я буду следовать такому же порядку изложения.

Слайд 4

Начнём с оптического излучения активных галактик. Как известно, вклад в это излучение дают различные компоненты, в том числе упомянутые уже аккреционный диск и релятивистский джет, также туда могут давать вклад звёзды хозяйской галактики. Напрямую в оптических телескопах различить эти части невозможно - разрешения телескопов для далёких объектов просто недостаточно, оно составляет обычно от одной десятой до одной секунды дуги. Здесь справа показано изображение одного из самых близких к нам ядер активных галактик, M87, с Хаббла, на котором виден такой релятивистский джет. Но для далёких объектов такого разрешения не достичь.

Слайд 5

Одновременно, астрометрия, в том числе оптические астрометрические измерения, имеют существенно большую точность, чем разрешение изображений. Характерная точность, достижимая на сегодня в астрометрии, это

половина миллисекунды дуги. Мы в этой работе предлагаем попытаться использовать астрометрию, чтобы заглянуть глубже и посмотреть с другого угла на эти центральные области активных ядер галактик в оптическом излучении. В астрометрии есть радиоастрометрия, на радиоинтерферометрах, которая в силу своих особенностей указывает на яркую компактную деталь в самом начале видимого джета. Одновременно, оптическая астрометрия, представлена спутником Gaia, космическим телескопом. Она, в силу своих особенностей определяет положение не центральной детали, а центроида всего излучения, которое попадает в его поле зрения. И конечно, если джет достаточно яркий в оптическом диапазоне, то он может сместить центроид этого изображения настолько, чтобы телескоп Gaia это заметил. Однако, вопрос о том, существуют ли вообще джеты с настолько сильным оптическим излучением, протяжённым, чтобы оно заметно смещало центроид, как часто они встречаются, он был перед запуском спутника Gaia исследован. Предсказывалось, что если такие джеты и есть, то их очень мало. Соответственно, так как спутник Gaia уже давно наблюдает, то в данной работе используется информация про ядра активных галактик, которую он выдал.

Слайд 6

Мы сравнили астрометрические положения активных ядер галактик, которые измерены на радиоинтерферометрах, и оптическим телескопом Gaia. Оказалось, что из примерно девяти тысяч активных ядер галактик, более тысячи показывают значимые на уровне ошибок различия. И встаёт вопрос, какие тогда направления этих различий, чем они вызваны? Во первых, может быть так, как я уже упомянул: мощное протяжённое оптическое излучение джета смещает центроид Gaia, и тогда мы будем видеть картину, которая схематически изображена слева снизу: положение, измеренное Gaia, находится дальше вдоль течения джета, по сравнению с положением, измеренным РСДБ. Это соответствует сдвигу РСДБ-Gaia вдоль джета. Может быть, конечно, случай, когда протяжённое излучение слабое - тогда отличия будут малы и распределены в случайном направлении. И третий сценарий, это эффект вызванный теперь уже измерением в радиодиапазоне, смещением видимого начала джета, про которое я более подробно расскажу во второй части доклада. Соответственно, если оптическое излучение идёт из центральных областей, а видимое начало радиоджета смещено, то тогда мы будем видеть противоположную картину, показанную справа: сдвиги от РСДБ к Gaia будут идти против направления джета. Вот такие возможные направления могут быть.

Слайд 7

Мы сравнили направления джетов и направления сдвигов РСДБ-Gaia, посчитали такой угол между стрелочками, изображёнными на рисунке, угол пси. Его гистограмма для объектов с самыми значимыми сдвигами показана справа. Как видно, есть концентрация активных ядер галактик как вдоль направления, которое мы ожидали, вдоль 180 градусов - это сдвиги против джета, вызванные смещением в радиодиапазоне. Но также есть существенно

большой пик в нуле градусов, который соответствует тому, что центроид в оптике смещается вдоль джета, мощным оптическим излучением. Отсюда уже можно сразу сделать вывод, что высокоточная астрометрия в радио и оптике в некотором смысле видит структуру джетов квазаров, и почти все значимые сдвиги между РСДБ и Gaia вызваны именно астрофизическими причинами. Мы уже получили в конце прошлого года независимое подтверждение этого результата. Авторы несколько другим подходом, но пришли к такому же выводу, что смещение между разными астрометрическими измерениями вызвано астрофизическими причинами.

Слайд 8

На следующем слайде справа я показываю двумерную гистограмму: того же самого угла по горизонтали, и величины сдвига в миллисекундах по вертикали. Чем более красный цвет, тем больше объектов с такими значениями параметров. Как видно, смещения в сторону радиодиапазона, оно составляет не более двух миллисекунд дуги. Это сопоставимо с теми масштабами, которые мы ожидали из радио-измерений, соответственно, делаем вывод, что здесь оптическое излучение исходит из центральной области. В обратную же сторону, сдвиги могут достигать более десяти миллисекунд дуги, что означает что они смещаются значительно больше, чем мы видим в радиодиапазоне, и это показывает на протяжённое излучение оптических джетов.

Слайд 9

Итак, какой вывод отсюда можно сделать про источники оптического излучения в тех объектах, которые мы наблюдаем. Во-первых, в сдвигах вдоль джета доминирует излучение протяжённых оптических джетов, до десятков парсек в проекции на небо, если перевести в линейные единицы. Соответственно, аккреционный диск в данном случае либо закрыт, либо по другим причинам излучает слабо. То есть, он не доминирует в излучении, иначе он бы не смещал центроид, а оставлял бы его где-то в начале. При сдвигах против джета, в оптике центроид расположен как раз в самом начале джета, то есть близко к центральной черной дыре. Значит можно сделать вывод, что доминирует излучение аккреционного диска, ну а протяженное излучение джета существенно слабее. Предложенный подход к анализу астрометрических измерений даёт новый способ массово исследовать оптическую структуру джетов на парсековых масштабах. Непосредственно сейчас, уже после завершения работы над диссертацией, мы проводим наблюдения на космическом телескопе Хаббл, объектов, отобранных в результате этого анализа. Предварительно получаем подтверждения того, что наша интерпретация, действительно, верна.

Слайд 10

Переходим ко второй части моего доклада - это переменность положения радиоядра. Во-первых, что такое радиоядро? Дело в том, что истинное начало джета, который изображён схематически справа, в радиодиапазоне не видно для

наблюдателя. Оно скрыто эффектами синхротронного самопоглощения. Чем больше частота наблюдения, тем ближе к началу джета мы можем посмотреть. Принято называть яркую компактную область в видимом начале джета радиоядром. Этого термина я и буду придерживаться далее.

Слайд 11

Сам эффект того, что это положение зависит от частоты, известен уже достаточно давно. Однако, открытый вопрос - насколько это положение стабильно со временем? Если оно меняется, то в чём физические причины его переменности, как это связано с другими проявлениями активности в этих областях, в частности со вспышками, которые мы часто наблюдаем в радиодиапазоне? В диссертации предлагается следующий подход к решению этого вопроса. Проводятся массовые измерения сдвига ядра, и на основе этих измерений анализируется его переменность. В качестве данных используются одновременные наблюдения на двух частотах, на сетях радиоинтерферометров, и отобрано 40 активных галактик, в которых как минимум на 10 эпохах наблюдений видна достаточно протяжённая радиоструктура. Наблюдения двучастотные, на 2 и 8 гигагерцах. Всего под эти критерии попало почти 1700 наблюдений на радиоинтерферометрах.

Слайд 12

Были проведены измерения сдвига ядра для этих 1700 наблюдений. Это самые массовые на сегодня измерения сдвига ядра. Здесь показаны распределения величин сдвига ядра в угловых единицах - миллисекундах дуги, и в линейных единицах, то есть парсеках. Средние значения составляют половину миллисекунды дуги или три парсека, это хорошо согласуется с предыдущими результатами, которые были менее массовыми, но получали схожие значения на этих частотах.

Слайд 13

Следующий слайд, как раз к интересному, тому что мы исследовали здесь - к переменности сдвига ядра. На данном слайде я привожу четыре характерных примера из наших 40 объектов. Как видно, измерения сдвига ядра - по вертикали - показывают существенно разные значения в разные моменты времени. Путём анализа, мы нашли статистически значимые изменения в 33 из 40 квазаров, которые мы исследовали. В остальных 7 объектах, возможно, просто не хватило количества наблюдений для того, чтобы это определить. Можно сразу сделать вывод, что видимое положение ядра действительно переменное в большинстве релятивистских джетов квазаров. Средний размах переменности в угловых единицах составил 0.3 миллисекунды дуги. Вообще, это достаточно большая величина, она сопоставима с самой величиной сдвига ядра - конечно меньше, но сдвиг меняется весьма значительно.

Слайд 14

Для того, чтобы связать измеренные изменения сдвига ядра с другими процессами, которые происходят в этих областях, мы сравнили измерения сдвига ядра, показанные справа чёрными точками, с измерениями радиопотока этого самого ядра, на тех же самых двух частотах 2 и 8 гигагерц. Соответственно, чёрными точками справа показаны наши измерения, а линией, которая здесь проходит, показана феноменологическая модель на основе измерений радиопотока. Как видно, основные изменения сдвига ядра хорошо описываются такой моделью, которая использует только значения радиопотока. В качестве феноменологической модели в этом описании использовался степенной закон, показатель которого получился 0.3. Это означает, что положение ядра при вспышках в радиодиапазоне отдаляется от начала джета, и это отдаление происходит по закону, близкому к степенному. Сравнив полученную модель с физическими обсуждениями в работе Блэндфорда и Кёнигла, мы сделали вывод, что такие изменения положения ядра и потока соответствуют тому, что во время вспышек увеличивается плотность излучающих частиц в джете, а магнитное поле соответственно снижается. Это и приводит к изменению эффекта синхротронного самопоглощения.

Слайд 15

Третья часть моего доклада - это возможная связь высокоэнергетичных нейтрино и радиоярких блазаров. Вообще, известно, что центральные области активных галактик эффективно ускоряют электроны. Самым прямым указанием на это является релятивистский джет, который мы и видим. Однако, конечно, протоны ускорить значительно сложнее, они в 2000 раз массивнее, поэтому вопрос о том, достигаются ли высокие энергии протонов тоже, является открытым. Какие условия, в каких областях для этого нужны? Именно здесь нам нейтрино высоких энергий на интересны как один из наиболее прямых ключей к тому, какие же объекты ускоряют ультрарелятивистские протоны. Дело в том, что рождение нейтрино высоких энергий, показанное здесь схематично, требует высокоэнергетичного протона и его взаимодействия либо с другим протоном, либо с фотоном - но протон точно должен быть. Именно с этой точки зрения связь активных ядер галактик с высокоэнергетичными нейтрино нас и интересует. Конечно, проводились и до нас попытки как-то это привязать друг к другу, однако из предыдущих результатов была только одна значимая ассоциация нейтрино с блазаром, это достаточно известный объект TXS 0506+056. Но он был единственным за 10 лет наблюдений IceCube, и совершенно было не понятно, есть ли какая-то систематическая связь, или этот объект чем-то уникальный - это был совершенно открытый вопрос.

Слайд 16

Мы воспользовались систематическим подходом к поиску ассоциаций между блазарами и нейтрино. Со стороны наблюдений блазаров, мы взяли полную по радиопотоку выборку активных ядер галактик, которые наблюдались на радиоинтерферометрах. Это 3.5 тысячи блазаров, которые распределены по всему небу равномерно, и на этом изображении они показаны серыми точками.

Их мы сравнили с детектированиями нейтрино на телескопе IceCube - это кубический километр льда на южном полюсе. Для анализа нейтрино самых высоких энергий, мы взяли каталог из 56 так называемых алертных событий, то есть которые распространялись через сети оповещений группой IceCube. У них энергия составляет более 200 ТэВ, это самые высокоэнергетичные события нейтрино, которые были. Здесь они отмечены синими кружками на левом графике. Мы нашли четыре новых блазара, которые можно статистически значимо ассоциировать с нейтрино. Эти блазары нигде ранее с нейтрино ассоциированы не были, и мы оценили вероятность того, что такое количество значимых ассоциаций появилось случайно в 0.2%. То есть, это вероятность того, что так совпало случайно - а раз вероятность настолько маленькая, то эта ассоциация на самом деле статистически значимая. Отмечу, что совсем недавно, в феврале 2022 года, от одного из этих четырёх объектов, которые мы отметили, пришло ещё одно нейтрино, о котором мы сообщили в астрономической телеграмме - мы отметили, что оно действительно соотносится с этим объектом. И конечно, проводим дальнейший статистический анализ уже с учётом этого нового события.

Слайд 17

Что касается нейтрино более низких энергий, которые всё-таки детектируются на IceCube, то информация о них была доступна в виде такой карты северного неба, которая показана слева. Здесь цветом показана сообщённая группой IceCube вероятность точечных источников нейтрино для каждой точки неба. Типичные энергии, которые дают вклад в эту карту, это 10 или несколько десятков ТэВ. И количество реальных астрофизических нейтрино в этом диапазоне энергий больше, но и фона конечно тоже больше. Мы опять же провели статистический анализ, сравнивая с той же самой полной выборкой ярких активных галактик на РСДБ, которые здесь уже отмечены зелеными точками. Оказалось, что как минимум 70 блазаров из нашего каталога можно статистически значимо связать с этими нейтрино - уже более низких энергий. Вероятность случайного совпадения - p -value - составила 0.3%, то есть тоже маленькая. Затем, мы объединили эти два анализа, убедившись в том, что они используют непересекающиеся и никак не зависимые данные, и совместная статистическая значимость результатов по обоим диапазонам энергий составила уровень 4.2 сигма или вероятность случайного совпадения 4 на 10 в минус пятой. Отсюда мы делаем вывод, утверждение, что блазары действительно массово - многие десятки блазаров из нашего каталога - излучают нейтрино с энергиями широкого диапазона, от десятков тераэлектронвольт до петаэлектронвольт. Совсем недавно вышла статья, которая другими подходами подтверждают наши результаты, хотя и нашли у себя меньшую значимость.

Слайд 18

Вдобавок к тому, что блазары действительно рожают астрофизические нейтрино, которые приходят на Землю и детектируются, мы провели временной анализ, чтобы понять, а когда блазары рожают нейтрино, в какие моменты, как

это связано с другой активностью в центральных областях, про которые я говорил, в том числе, во второй части доклада. Для этого использовали уже не РСДБ наблюдения, а долговременные мониторинговые наблюдения на телескопе РАТАН-600 в Специальной Астрофизической Обсерватории. Там проводится многолетний мониторинг полной выборки, полной опять же по РСДБ потоку, ярких блазаров. Мы сравнили изменения радиопотока на основе этих наблюдений со временами прихода нейтрино с соответствующего направления. Здесь, на правом графике, показана по горизонтали разница времён между приходом нейтрино и измерением в радиодиапазоне, а по вертикали так называемый индекс активности, традиционно используемый в анализе переменности. Это просто отношение потока в текущий момент к среднему значению для этого источника, усреднённое в данном случае по всем источникам. Каждая линия соответствует своей частоте. Как видно, на самой высокой частоте, на 22 гигагерцах, мы видим значимый на уровне 2 сигма пик, в районе нулевой задержки, который говорит о том, что нейтрино приходят не абь когда, а предпочитают приходить в те моменты, когда радиопоток блазара в этом направлении выше, чем в среднем. Уменьшение эффекта или полное его пропадание к более низким частотам полностью согласуется с эффектами синхротронного самопоглощения, про которые я рассказывал во второй части - с тем, что чем больше частота, тем ближе к началу джета мы видим, тем более сильно там проявляются вспышки. После того, как мы получили этот результат, через некоторое время по нему тоже было получено независимое подтверждение: в 2021 году вышла статья, которая на основе других данных радионаблюдений тоже делает вывод, что нейтрино предпочитают приходить тогда, когда радиопоток блазара в этом направлении выше.

Слайд 19

Какие следствия для астрофизики квазаров мы можем получить из этого нашего анализа, из этих наблюдательных результатов? Во-первых, нейтрино приходят именно от РСДБ-ярких активных галактик, потому что именно с ними мы получили значимую ассоциацию. Как я уже говорил в самом начале, в яркие активные галактики попадают преимущественно блазары - объекты, у которых направление джета и направление на наблюдателя находятся под небольшим углом в несколько градусов. Соответственно, нейтрино также излучаются анизотропно, преимущественно вдоль направления джета. Так как радиоинтерферометрия видит именно парсековые области, самые центральные, и радиовспышки которые мы видим на масштабах месяцев и лет могут тоже происходить только на масштабах парсек из-за соображений причинности, то и нейтрино рождаются именно в центральных парсеках квазаров - не на каких-то существенно больших расстояниях. Для нейтрино таких энергий, как наблюдаются, необходимы ультрарелятивистские протоны с энергиями до 10 в 16 электронвольт. Текущие теоретические модели, которые описывают возможное ускорение протонов в ядрах активных галактик, для того чтобы детально объяснить ускорение до таких энергий требуют существенных обновлений и уточнений - которые сподвигнуты этими результатами. Наконец,

оказалось, что для поиска связи блазаров и нейтрино высоких энергий именно РСДБ-наблюдения, пример изображения которого приведён справа, сыграли ключевую роль.

Слайд 20

Теперь я зачитаю результаты, которые выносятся на защиту.

1. Найдено, что значимые сдвиги наблюдаемых положений ядер активных галактик между радио (РСДБ) и оптическим (Gaia) диапазонами преимущественно происходят параллельно направлениям их джетов. Показано, что большинство этих различий величиной до десятков миллисекунд дуги объясняется протяжённым оптическим излучением релятивистских струй. Это является массовым наблюдательным свидетельством наличия мощных оптических джетов в активных галактиках.

2. На основе архивных РСДБ-наблюдений проведены массовые измерения смещений видимого начала джетов в ядрах галактик с частотой. Обнаружена значимая переменность смещения для большинства объектов с характерной величиной 0.3 миллисекунды дуги или 0.5 парсек. Эта переменность вызывается вспышками в джетах, сопровождающимися изменением плотности излучающих релятивистских частиц.

3. Обнаружена связь десятков блазаров, имеющих компактную РСДБ-структуру, с нейтрино высоких энергий, детектируемых обсерваторией IceCube. С использованием многолетних данных наблюдений на телескопе РАТАН-600 сделан вывод о рождении нейтрино преимущественно во время мощных радиовспышек в джетах. Эти результаты говорят, что нейтрино с энергиями от нескольких ТэВ до ПэВ рождаются в центральных областях блазаров на масштабах парсек. Такие частицы могут образовываться при взаимодействиях релятивистских протонов с высокоэнергичными фотонами в джетах. Из проведённых оценок следует, что радиоблазаров может быть достаточно для объяснения треков от астрофизических нейтрино, обнаруженных на IceCube.

Слайд 21

Результаты диссертации были опубликованы в ведущих журналах за последние годы. На этом мой доклад подошёл к концу, у меня всё.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Спасибо. Вопросы, пожалуйста.

ВОПРОСЫ ПОСЛЕ ДОКЛАДА СОИСКАТЕЛЯ

ИВАНОВ П.Б. У меня два вопроса. Первый – по первой части диссертации. Насколько я понял, если у вас сдвиг оптического излучения против течения джета, то оптическое излучение ассоциируется с аккреционным диском. Если это так, то, возможно, можно как-то просто посмотреть спектр в оптической области, выделить компактную компоненту за счет переменности и как-то сравнить это. А если наоборот, если протяженная, то в чем физический смысл?

Я просто как неспециалист не понимаю. Синхротронное излучение или еще какое-то?

СОИСКАТЕЛЬ. Давайте я тогда по порядку. Про спектры – полностью согласен с этим комментарием. Мы не совсем такой анализ, как Вы предлагаете, но похожий, провели, и он даже есть в диссертации. Просто в доклад не вошел. Мы сравнивали цвета, т.е. оптические цвета, которые Gaia измеряет для этих всех объектов, и оказывается, что те активные ядра галактик, у которых оптические координаты ближе к началу джета, более синие. Они просто все синие, имеют синий цвет. Опять же, в диссертации это описывается как еще одно указание на то, что действительно аккреционные диски преимущественно излучают в ультрафиолете и захватывают и синий диапазон тоже. Касательно переменности, такого анализа мы пока не проводили, но тоже согласен, что можно провести, если есть достаточное количество временных рядов в оптике.

ИВАНОВ П.Б. Протяженное излучение – это синхротронное излучение?

СОИСКАТЕЛЬ. Это излучение джета, которое зависит от объектов. Т.е. оно может быть и синхротронным. Я так понимаю, иногда в оптический диапазон заходит селф-комpton пик. Вот это все излучение, которое для близких объектов мы разрешаем, для далеких объектов оно значительно компактнее. Это именно излучение джетов, которое мы здесь видим.

ИВАНОВ П.Б. Хорошо. Второй вопрос по второй части. Нельзя ли объяснить то, что вы наблюдаете процессией джета? Т.е. изменением угла наклона к лучу зрения.

СОИСКАТЕЛЬ. Вы имеете в виду переменность смещения? Да, прецессией, как я понимаю, сейчас пытаются объяснять больше разных эффектов. В работе такой анализ не проводился. Т.е. мы взяли одну из моделей, которая может описать изменения, в которую можно уложить изменения сдвига ядра и применили ее. Конечно, геометрию тоже нельзя исключать, и здесь вопрос в дальнейшем уточнении наблюдаемых проявлений. Что должно быть при одной модели, что – при другой. На сегодня, насколько я понимаю, нет возможности их разделить.

ИВАНОВ П.Б. Хорошо, спасибо. Все.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Еще, пожалуйста, вопросы. Может быть, кто-то онлайн? Есть ли вопросы с той стороны?

КОВАЛЕВ Ю.Ю. Коллеги, я вижу всех участников онлайн, поэтому если у кого-то есть желание задать вопрос, поднимите руку. Все внимательно смотрят, но никто руку не поднимает.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Хорошо, значит вопросы исчерпаны. В таком случае слово предоставляется руководителю. Юрий Юрьевич, пожалуйста.

ВЫСТУПЛЕНИЕ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

КОВАЛЕВ Ю.Ю. Благодарю Вас. Я близко к тексту отзыва расскажу. Отзыв имеется в деле. Я работаю с Александром Викторовичем с 2016 года. Тогда Александр учился в магистратуре МФТИ, собственно с его активности в магистратуре мы и начали нашу совместную работу. В аспирантуру ФИАН Саша поступил в 2017 году и с того момента опубликовал... Надо сказать, что с момента, как я писал этот отзыв, количество статей уже изменилось. На сегодняшний день опубликовано или принято в печать уже 13 статей и из них 5 вошло в диссертацию, в отечественных и зарубежных рецензируемых журналах. Его работы вызывают традиционный интерес у сообщества и на сегодняшний день уже более 300 ссылок на них есть. И момент, который важно сказать именно научному руководителю, потому что у меня есть свобода добавить слова к стандартным требованиям, отзыв научного руководителя практически в свободной форме пишется. Важно сказать, что Саша подключился на заключительном этапе к сопровождению проекта Радиоастрон. Он успешно автоматизировал крайне трудоемкий процесс подготовки так называемых циклограмм, набора команд, которые управляют оборудованием космического радиотелескопа. Коллеги несколько раз подходили ко мне и высказывали свое потрясение от того, насколько быстро и качественно Саша это сделал и насколько он этим дополнительно упростил им жизнь. Саша получил богатый опыт работы с данными как ведущих отечественных, так и зарубежных телескопов, прошел две стажировки в Объединенном институте по РСДБ в Европе и в Национальной радиоастрономической обсерватории в Штатах. Его работы были отмечены рядом премий. Давайте я две упомяну. Одна из них – это наша ФИАНовская премия имени Скобелыцына в 2020 году. Вторая – это премия мэра Москвы молодым ученым. И мне кажется, я могу ошибаться, но за все время выдачи этой премии, это первый раз когда она досталась за работу по астрофизике. Может быть, я что-то упускаю, но раньше нам с астрофизикой не очень везло. Достигнутый Сашей уровень научных исследований получил высокую оценку как в нашем институте, так и в мире, его уже начали приглашать с приглашенными докладами на международные конференции. Диссертация посвящена исследованию центральных областей активных галактик, получены интересные и важные результаты. Считаю, что 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. Вопросы, пожалуйста, к научному руководителю. Если нет вопросов к Юрию Юрьевичу, тогда Надежда Николаевна, пожалуйста,

зачитайте отзывы организации, где выполнялась диссертация, ведущей организации и так далее.

СЕКРЕТАРЬ. Спасибо. Юрий Андреевич, я должна полностью зачитать отзыв организации, где выполнялась работа и затем полностью зачитать отзыв ведущей организации.

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

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

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ (соискателю). Вы хотите ответить на вопросы и замечания?

СОИСКАТЕЛЬ. Да, спасибо. Если можно, я предпочту ответить на замечания сразу после всех трех отзывов.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Хорошо. Еще какие-то отзывы есть?

СЕКРЕТАРЬ. Нет, других отзывов не поступало, кроме отзывов от оппонентов.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Хорошо. В таком случае даем слово официальным оппонентам. Первый официальный оппонент – это Байкова Аниса Талгатовна. Пожалуйста, Вам слово.

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. Я так понял, что соискатель ответит потом на все замечания. Тогда мы передаем слово второму оппоненту Александру Анатольевичу Лутовинову. Пожалуйста.

ВЫСТУПЛЕНИЕ ВТОРОГО ОППОНЕНТА

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

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Спасибо, Александр Анатольевич. (Соискателю) Вам слово, Александр Викторович, пожалуйста.

Соискатель отвечает на замечания ведущей организации и оппонентов, демонстрирует слайды 22-24 (см. приложение №3 к стенограмме).

ОТВЕТЫ НА ЗАМЕЧАНИЯ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

1. В Главе 1 не обсуждается возможность смещения координат АЯГ, определяемых Gaia, за счет оптического излучения джета на килопарсековых масштабах.

СОИСКАТЕЛЬ. Координаты Gaia чувствительны к излучению до масштабов 100-300 mas, в соответствии с его функцией рассеяния, более протяженное килопарсековое излучение фильтруется данным телескопом. Соответственно, оно не влияет на его измерения.

2. В Главах 1 и 2 нет пояснений об используемых критериях или методах для определения направления джета.

СОИСКАТЕЛЬ. Действительно, в анализе использовался достаточно грубый способ измерения направлений джетов по РСДБ изображениям, которого оказалось достаточно для решения поставленных задач. Позже, в 2022 году, мной опубликована статья с представлением более чувствительного метода и его детального сравнения с альтернативами.

3. В Главе 2 рассматривается влияние измерения численной плотности излучающих частиц, магнитного поля и доплер-фактора на положение РСДБ ядра. Но приведены результаты только для первых двух параметров. Учитывался ли эффект изменения доплер-фактора при вычислениях?

СОИСКАТЕЛЬ. Переменность доплер-фактора считается маловероятной причиной всплеск в джетах активных ядер галактик. В рамках анализа мы пользуемся предположением о его постоянстве.

4. В параграфе 3.1.1 сразу после обсуждения выборки нейтринных событий для анализа, говорится, что “значительная часть событий не является астрофизическими”. Возникает вопрос о физическом обосновании выбора этих событий для анализа.

СОИСКАТЕЛЬ. Это на самом деле так. Среди детектируемых IceCube событий большинство – не астрофизические. Напрямую выделить их на современных нейтринных телескопах не представляется возможным, кроме как в рамках анализа, аналогичного проведенному в диссертации. Мы для этого и проводим сравнение с астрофизическими объектами.

ОТВЕТЫ НА ЗАМЕЧАНИЯ ПЕРВОГО ОППОНЕНТА

1. Какова точность приближения струи всего двумя компонентами при автоматизированном подходе измерения смещени ядра? В диссертации дана чисто качественная оценка. Были ли получены численные оценки?

СОИСКАТЕЛЬ. Джет приближался двумя типами компонент: первый – подробное моделирование протяженной структуры струи набором CLEAN компонент, второй – круглый гауссов компонент в области ядра. Мы следовали подходу, предложенному и апробированному в работе группы MOJAVE (Homan et al. 2021). Наши коллеги провели анализ, сравнили с другими и показали, что точности такого метода достаточно для измерения параметров ядра с необходимой точностью.

ОТВЕТЫ НА ЗАМЕЧАНИЯ ВТОРОГО ОППОНЕНТА

1. Астромерия Gaia “привязана” к РСДБ с помощью систематических сдвигов. В то же время в диссертации проводится поиск смещений между положениями источников в каталогах Gaia и РСДБ. Нет ли здесь “зацикливания”? Проверядось ли влияние этих эффектов на полученные результаты?

СОИСКАТЕЛЬ. Была проведена проверка в виде анализа распределения напарвлений сдвигов РСДБ-Gaia по небу, т.е. не относительно джета, а на плоскости неба. Оно оказалось близко к равномерному, что говорит об отсутствии существенных систематических эффектов в наложении этих систем координат.

2. Полученные в Главе 1 результаты для смещения вниз и вверх по течению струи и их интерпретация должны быть связаны со светимостью исследуемых объектов. Проверялась ли корреляция между ними?

СОИСКАТЕЛЬ. Такой анализ проводился, однако достоверно обнаружить корреляцию со светимостью, а также ее интерпретировать, затруднительно в связи с неопределенностями в углах раскрытия джета и его направленности на наблюдателя.

3. Глава 2, п. 2.2.1, чем определяется эмпирический порог отбора в 3 раза по уровню шума и 4 раза по площади?

СОИСКАТЕЛЬ. Это чисто эмпирические границы фильтрации, визуальный просмотр показал, что в противном случае на карте присутствует недостаточно протяженного излучения для измерения сдвига.

4. Как соотносятся два метода выравнивания изображений, описанные в п. 2.2.1?

СОИСКАТЕЛЬ. Метод на основе карт спектрального индекса показал себя более надежным, и требовал меньше ручной работы в рамках проведенного сравнения, как отмечено в диссертации.

5. Глава 3, п. 3.2.1. Каким образом задавалось смещение событий IceCube? Какая амплитуда была выбрана? Изменялась ли она в моделировании?

СОИСКАТЕЛЬ. Смещение событий IceCube в случайных реализациях для подсчета значимости проводилось по всему диапазону прямого восхождения, от 0 до 360 градусов, и максимально возможной амплитуде.

ЛУТОВИНОВ А.А. (второй официальный оппонент). По углам я понял, а амплитуда смещения какая задавалась? В миллисекундах, в секундах?

СОИСКАТЕЛЬ. Каждому событию IceCube присваивалось случайное значение прямого восхождения от 0 до 360 градусов, независимо от того, какое оно было изначально.

ЛУТОВИНОВ А.А. Ответ понятен.

6. Пункт 3.2.3 и рис. 3.5. Какова значимость полученной корреляции? Судя по рисунку, она не должна быть велика. Поэтому утверждение, что центральные области “являются местом рождения большого числа нейтрино” слишком сильное.

СОИСКАТЕЛЬ. Финальная значимость данной корреляции, как отмечено в диссертации, составляет 5%. Действительно, это уровень “2 сигма”, и сам по себе не считается высокой значимостью. Однако, приведенное утверждение основано также и на корреляции нейтрино с РСДБ потоком из центральных областей, которая значима на уровне более 4 сигма.

С остальными замечаниями оппонентов я согласен.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Хорошо. У меня вопрос к оппонентам. Аниса Талгатовна, Вы удовлетворены ответом соискателя на Ваши замечания?

БАЙКОВА А.Т. Ответы меня вполне устраивают.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Александр Анатольевич, Вы удовлетворены?

ЛУТОВИНОВ А.А. Да, после дополнительных пояснений удовлетворен.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Спасибо вам за квалифицированную оценку диссертации и теперь мы должны перейти к вопросам, если кто не успел задать, и к общей дискуссии. Пожалуйста, вопросы остались? Замечания? Пока нет.

ОБЩАЯ ДИСКУССИЯ

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Я воспользуюсь моментом, пока остальные думают. У меня немного аморфный вопрос и требует комментария скорее, чем прямого ответа. После выхода Вашей публикации, результаты которой Вы показывали на страницах 16 и 17, кажется. Там карта неба и положение источников. Вслед за этой публикацией появилась в архиве статья, один из авторов там Камионковский, известная фамилия, они делали выборку порядка 3000 источников нейтрино на IceCube и их утверждение сводилось к тому, что Ваши результаты по корреляции положения нейтрино и блазаров в радиообласти и в оптической области не вполне убедительны и статистическая значимость их не так велика, как вы указываете. Можете прокомментировать само это различие и их утверждение? И есть ли у Вас продолжение вот этой дискуссии между Вами и авторами этой работы? Спасибо.

СОИСКАТЕЛЬ. Хорошо, я эту ситуацию прокомментирую. Такая статья действительно выходила и первое, что надо отметить, что наши выводы и их выводы не противоречат друг другу. Мы говорим, что от блазаров нашей выборки приходит как минимум 20% нейтрино на IceCube соответствующих энергий. Они говорят, что не больше 30%. Т.е. выводы не противоречат. Далее, касательно того, почему они не увидели значимого эффекта. Наше предположение состоит в том, что основной вопрос – это систематическая ошибка телескопа IceCube. Ее сложно правильно учесть. Как утверждают даже сами представители этой группы, в связи с неточностью измерений свойств льда. И в разных подходах к анализу, если сравнивать наш и тот, который Камионковский и соавторы делали, используются существенно разные подходы. И наше мнение таково, что в их подходе правильность учета систематической ошибки значительно больше влияет. По этому поводу было продолжение дискуссии. Была довольно бурная дискуссия прошлым летом на конференции, где участвовали товарищи с IceCube, правда Камионковского и авторов, по-моему, не было. Но сошлись на том, что наш подход по сличению этих каталогов и по учету систематической ошибки IceCube, который тоже был проделан – это практически лучшее, что можно сделать на сегодняшний день. В ближайшем будущем коллаборация IceCube собирается более правильно учитывать эту систематическую ошибку, над чем они давно работали. И если это действительно скоро будет, то будет почва для более детальной численной оценки этих различий. Сейчас можно вот так качественно сказать.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Хорошо, спасибо. Вопрос к аудитории, в том числе онлайн. Юрий Юрьевич, Вы не видите активности там? Кто-нибудь хочет высказаться?

КОВАЛЕВ Ю.Ю. Давайте выведем на экран всем картинку. В Пущино поднимают руку.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Пожалуйста, вопрос, Пущино.

МАЛОФЕЕВ В.М. Какова вообще точность определения координат прихода нейтрино? Об этом не было сказано.

СОИСКАТЕЛЬ. Точность определения координат прихода высокоэнергетических нейтрино числом не была прописана, она была показана кружками ошибок на карте. Характерная величина составляет 1 градус. Она разная для разных событий, но примерно 1 градус.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Хорошо. Ответ вас удовлетворил? Еще вопросы, критические замечания, пожелания. Да, Рустам Давудович.

ДАГКЕСАМАНСКИЙ Р.Д. Общее впечатление и от доклада и от того, что я знаю об этих работах до этого заседания – работа очень сильная, результаты очень актуальные, интересные и важные. Не везде надежность может быть 100% или близка к этому, но это естественно, поскольку есть допустимые ошибки измерений тех же координат и так далее. Но в целом я считаю, что работа производит очень хорошее впечатление и соискатель, несомненно заслуживает присуждения степени кандидата наук.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Спасибо, Рустам Давудович. Это и мое впечатление, что эвристически это очень сильно. Здесь показаны очень сильные, интересные результаты. Еще вопросы?

ТРОИЦКИЙ С.В. Я здесь человек новый, в очном заседании диссовета принимаю участие впервые, поэтому я представляюсь. Троицкий Сергей, институт ядерных исследований РАН. Я откомментирую от имени нейтринного сообщества эти результаты. Я не буду особенно хвалить, потому что я являюсь соавтором этих двух работ нейтринных, но некоторое моральное право хвалить я имею, потому что ключевую роль в этих работах играл именно диссертант, и я как соавтор хочу это подтвердить. Здесь не просто личный вклад, а он практически все сделал. Теперь как это видится со стороны нейтринной части. Было раздутое заявление коллаборации IceCube о совпадении одного нейтринного события со вспышкой блазара TSX0506. Две статьи в Science, в одном номере. На следующий день после выхода этого номера в Science в архиве появляется статья Кохты-Муразис с соавторами, это тоже очень известный человек в нейтринном мире, он конечно заранее знал, заранее все сделал, просто на следующий день выложил. Та работа основана на совпадении со вспышкой в гамма-диапазоне. Он показывает, что популяция ярких блазаров не может быть источником нейтрино на основе всей совокупности опубликованных данных IceCube, не с одним конкретным блазаром, а со всеми. После чего теоретики вроде меня решили, что IceCube надо было получать денежку на продолжение работы и раздули (*сенсацию*). Бывает в больших коллаборациях. И тут приходит Плавин и говорит, что этот блазар – он не просто гамма-яркий, он входит в выборку вполне типичных представителей

видимых на РСДБ ярких блазаров. И давайте включим его не в гамма-выборку как популяцию, а в популяцию радио-ярких блазаров. И эта популяция оказывается как целое может объяснять не менее 20% событий. И тут все становится на места. Т.е. эта работа дала объяснение и той статье. Я знаю многих людей, которые со своей стороны тоже независимо это сделали. Сейчас в нейтринном мире фамилия Плавин известна всем, в мире астрофизических нейтрино. Это IceCube, KM3NeT и ANTARES - европейский, Baikal-GVD - российский инструмент. Потрачу минуту, чтобы откомментировать работу Марка Камионковского. Там очень просто. Они использовали другой набор данных IceCube. По-видимому, в нем действительно большие систематические ошибки, они неправильно учли свойства льда. Они обновили этот результат и уже сейчас в нем пропала корреляция с TSX0506, они не любят про это говорить. В том наборе, который использовал Камионковский, ее тоже нет. У них все немного разъехалось, пропало, они обещают выпустить новый набор. Саша наготове стоит – когда набор будет, он проверит, конечно. Последнее, что я скажу, что в нашей стране работает аналогичный эксперимент. По состоянию на вчерашний день они ввели в эксплуатацию два новых кластера. Он превышает IceCube теперь уже в каскадной моде. И те, кто делает этот эксперимент, выпустили специальный внутриколлaborационный документ о том, что Плавину надо давать все данные, хотя он не является членом коллаборации, но он столь ценен для анализа эксперимента, что его без вступительного взноса нужно допустить к обработке этих данных. Я считаю, что надо пожелать только успеха в этом деле.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Спасибо. Владимир Николаевич, пожалуйста.

ЛУКАШ В.Н. У меня вопрос. Были же работы в вашем институте, это Ткачев. О его работах тогда говорили очень громко, где-то 15 лет назад. На них не ссылаются, нет ни одной ссылки, в том числе от Вас. Каким образом они связаны с этим или никак не связаны?

ТРОИЦКИЙ В.Н. Скорее всего Вы имеете в виду работы, которые связаны не с нейтрино, а с космическими лучами. Там несколько сотен ссылок. Это существенно бОльшие энергии, и по всей видимости это другого типа источник. Здесь все-таки квазары с плоским спектром. Там все-таки речь о лацертидах шла.

ЛУКАШ В.Н. Т.е. другая выборка?

ТРОИЦКИЙ С.В. Да, это другая энергетика и другие источники.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Еще, пожалуйста, кто хочет выступить. Андрей Георгиевич.

ДОРОШКЕВИЧ А.Г. Какой-нибудь корреляции с UHECРами нет, в этих вспышках?

СОИСКАТЕЛЬ. Можно еще раз вопрос, чего нет?

ДОРОШКЕВИЧ А.Г. UHECR – Ultra high energy cosmic rays. Это тоже самое, но все-таки это протоны, а не нейтрино.

СОИСКАТЕЛЬ. Вы имеете в виду радиус вспышки и его выражение в космолучах?

ДОРОШКЕВИЧ А.Г. Нет, меня просто интересует, у вас есть статистика ярких эффектов, взрывов. Не подходит ли под нее статистика UHECRов.

СОИСКАТЕЛЬ. Насколько я понимаю, основная проблема в том, чтобы сопоставить как-то эти UHECRы и космолучи с конкретными объектами на небе, то что мы здесь с нейтрино делаем, в том, что космические лучи – это заряженные частицы, они не так прямо к нам летят. Они могут прилететь с другого места и как их сопоставить с объектами, не очень понятно.

ДОРОШКЕВИЧ А.Г. Знаете, когда речь идет об энергии 10^{17} в 10^{18} степени электронвольт, там нечего говорить о кривизне. Там все треки прямые.

ТРОИЦКИЙ С.В. Нет-нет, в магнитном поле нашей галактики отклонения частиц 10^{17} в 10^{18} степени порядка 180 градусов.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Ну да, это утверждение по крайней мере не бесспорно. Так, еще вопросы? Нет. Тогда слово предоставляется Александру Викторовичу для заключительного выступления.

СОИСКАТЕЛЬ. Спасибо. Я хочу поблагодарить всех, кто принимал участие, помогал мне в подготовке диссертации прямо и косвенно. В первую очередь хочу сказать спасибо своему научному руководителю Юрию Юрьевичу Ковалеву за создание уникальной рабочей обстановки для научной работы, при которой и была выполнена диссертация. Также хочу поблагодарить сотрудников Астрокосмического центра за очень полезные и актуальные комментарии на тех докладах, которые я делал на семинарах здесь. Хочу сказать спасибо своей маме и сестре, которые здесь присутствуют, а также своим близким друзьям за поддержку в работе и написании диссертации. Огромная благодарность и членам диссертационного совета и оппонентам, которые своими комментариями помогли также посмотреть, как некоторые моменты диссертации воспринимаются со стороны, и на будущее я конечно смогу некоторые моменты более подробно пояснить, в дальнейших работах и докладах. У меня на этом все. Спасибо.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Хорошо. Вы правильно все сказали в своем слове, про оппонентов, членов совета, это хорошие слова. Спасибо. И теперь мы переходим к тайному голосованию. Надежда Николаевна нам объяснит сейчас.

СЕКРЕТАРЬ. Уважаемые коллеги, в соответствии с новым положением, мы все голосуем удаленно, потому что часть членов диссовета присутствует онлайн, поэтому голосование у нас будет электронным с помощью системы Криптовече, которую мы уже тестировали и которую я просила всех заранее проверить, все ли работает. Насколько я понимаю, у всех все работает. Сейчас уже на ваши адреса электронной почты, с которыми вы зарегистрированы в этой системе, ушли индивидуальные письма со ссылками на это голосование. Когда будет объявлен перерыв на голосование, каждый из вас либо со своего рабочего места, либо с компьютера, который у нас специально для этих целей в зале заседаний поставлен, может пройти по ссылке, ввести свой логин, пароль. Сначала нужно зарегистрироваться, там кнопка. После этого возникнет электронный бюллетень и нужно будет выбрать один из вариантов. Повестка у нас: присудить степень кандидата физико-математических наук Плавину Александру Викторовичу, выбрать один из вариантов “за” или “против”. Если вы выбираете оба варианта или не выбираете ни одного, то такой бюллетень будет учтен как недействительный. Если будут какие-то вопросы, то я здесь в зале заседаний на связи, какие-то технические проблемы оперативно решим.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Перерыв на голосование на 15 минут.

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

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Ну, наверное, все. Можно объявить результаты голосования.

СЕКРЕТАРЬ. Все на месте. *(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. Голосуем открыто за результаты голосования. Кто ЗА? *(Все голосуют поднятием руки)*. Кто ПРОТИВ? Нет. Воздержавшихся нет. Принято единогласно. Теперь нужно обсудить заключение диссертационного совета по диссертации и тоже утвердить его.

СЕКРЕТАРЬ. Оно было разослано заранее всем по электронной почте. И здесь оно в распечатанном виде имеется. Пожалуйста, кто хочет, может ознакомиться.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. По электронной почте были замечания Рустама Давудовича и Дмитрия Зигфридовича.

СЕКРЕТАРЬ. Они все учтены. Все комментарии учтены в финальной версии заключения.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Мы должны утвердить его?

КОВАЛЕВ Ю.А. Выяснить, нет ли у кого еще комментариев сейчас.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Судя по всему, комментариев нет. Мы должны проголосовать за вот это заключение. Кто за? (*Все голосуют поднятием руки*). Кто против? Нет. Воздержавшихся тоже нет. Приняли единогласно. Теперь мы поздравляем диссертанта. (*Аплодисменты*). Поздравляем, очень хорошие результаты и вы очень хорошо рассказывали, убедительно. Заседание объявляется закрытым.

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.