

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

СТЕНОГРАММА
ЗАСЕДАНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
Д002.023.01

25 мая 2022 года

Защита диссертации
Фадеева Евгения Николаевича
на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 01.03.02 “Астрофизика и звездная астрономия”
*“Распределение неоднородностей межзвездной плазмы в
направлении пульсаров по данным наземно-космического
интерферометра «Радиоастрон»”*

Присутствовали члены диссертационного совета:

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

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

Лихачев С.Ф., д.ф.-м.н., 01.03.02, техн. науки

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*)

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

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*)

Щекинов Ю.А., д.ф.-м.н., 01.03.02, физ.-мат. науки

Председатель заседания – доктор физико-математических наук, заместитель председателя диссертационного совета Ю.Ю. Ковалев (письменное поручение председателя 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 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: Дорогие коллеги, мы начинаем второе заседание диссертационного совета на сегодняшний день, 25 мая 2022 года, сейчас 15 часов 4 минуты. Я прошу ученого секретаря рассказать нам всю базовую информацию.

СЕКРЕТАРЬ. Спасибо. Сейчас у нас присутствует кворум, из 22-х человек присутствуют 16 человек. 10 человек лично, 6 человек онлайн в зуме. Кворум есть. Особенности проведения заседания в удаленном режиме все знают. Те, кто присутствует удаленно, должны находиться перед камерами, чтобы мы могли вас видеть и слышать непрерывно.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Спасибо, замечательно. Итак, мы начинаем заседание по защите Фадеева Евгения Николаевича. Диссертация по специальности 01.03.02 астрофизика и звездная астрономия на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Диссертация называется “Распределение неоднородностей межзвездной плазмы в направлении пульсаров по данным наземно-космического интерферометра «Радиоастрон»”. Кворум у нас есть, как вы слышали. Диссертация выполнена в Физическом институте имени Лебедева Российской академии наук. Ведущая организация – Государственный институт имени Штернберга. Официальные оппоненты на этой защите присутствуют удаленно по zoom. Байкова Аниса Талгатовна, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Главной астрономической обсерватории РАН. Зинченко Игорь Иванович, доктор физико-математических наук, заведующий отделом радиоприемной аппаратуры и миллиметровой радиоастрономии Института прикладной физики РАН. И теперь я разрешаю секретарю Надежде Николаевне огласить содержание документов соискателя.

СЕКРЕТАРЬ. В деле имеются заявление соискателя, диплом о высшем образовании, положительное заключение организации, где выполнена работа,

отзыв научного руководителя и справка о сдаче кандидатского минимума. Все документы соответствуют требованиям ВАК. Так что все в порядке.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Спасибо, Надежда Николаевна. Теперь мы переходим к выступлению соискателя Евгения Николаевича. Сейчас я переведу zoom в режим, чтобы мы все видели презентацию.

(Начинается демонстрация презентации на экране в зале заседаний и на экране в zoom для участников в удаленном режиме).

ДОКЛАД СОИСКАТЕЛЯ

СОИСКАТЕЛЬ: *(Выступает с докладом. В докладе демонстрирует и комментирует слайды 1-32, номера которых даны в начале соответствующих строк ниже. Слайды к докладу приведены в Приложении №3 к стенограмме и приложены к аттестационному делу в бумажной и электронной форме).*

Слайд 1

Добрый день, коллеги. Название диссертации «Особенности распределения неоднородностей межзвездной плазмы по данным проекта «Радиоастрон». Диссертация выполнена под руководством Михаила Васильевича Попова в ФИАН.

Слайд 2

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и списков таблиц, литературы и всего прочего. Я пойду по главам. Первая глава вводная, объясняет, чем же мы занимаемся.

Слайд 3

Мы будем работать в модели, где у нас кроме пульсара и наблюдателя присутствует также тонкий рассеивающий экран, на котором происходит рассеивание излучения пульсара. Таким образом мы получаем сигнал не только от пульсара, но и из некоторой области вокруг него благодаря рассеиванию на экране. Размер области, из которой приходит излучение, мы будем называть радиусом диска рассеяния. Это излучение остается когерентным только в некоторой полосе частот, которую мы будем называть полосой декорреляции, и благодаря тому, что из разных частей диска излучение прошло геометрически разное расстояние, получается, что сигнал пульсара рассеивается во времени, как показано на рисунке внизу. Происходит экспоненциальный спад с характерным временем, равным времени рассеяния. Далее...

Слайд 4

В плоскости наблюдателя формируется дифракционная картина, которая подвижна благодаря тому, что движется пульсар, движется наблюдатель, движется сам экран, т. е. межзвездная среда. Дифракционная картина движется

с некоторой эффективной скоростью V_{ISS} . Дифракционные пятна имеют характерный масштаб из-за чего, наблюдая пульсар, мы видим переменную картину мерцаний с характерным временем t_{dif} . Далее мы предполагаем, что неоднородности межзвездной среды имеют степенной характер. В теоретических работах обычно используется либо гауссов спектр с показателем 4, либо колмогоровский спектр с показателем $11/3$. На самом деле эту величину хорошо бы измерять.

Слайд 5

В качестве входных данных для обработки выступает динамический спектр. Это изменение интенсивности излучения пульсара в зависимости от частоты в полосе приема и от времени. Здесь на двух картинках... Сверху показан динамический спектр на частоте 324 МГц для пульсара B0834+06, снизу – для пульсара B1933+16 на частоте 1.7 ГГц. Масштаб мерцательных пятен, или, как мы их часто называем, сцинтелей, разный, но в целом картина схожая. Двойное Фурье преобразование динамического спектра позволяет получить так называемый вторичный спектр.

Слайд 6

Для большого числа пульсаров, но далеко не для всех, во вторичных спектрах наблюдаются параболические дуги, как на рисунке вверху. Следующие соображения легко объясняют появление параболических дуг. Во-первых, задержка, величина сопряженная преобразованием Фурье с частотой, отложенная по горизонтальной оси, зависит от размера кружка рассеяния квадратично. По вертикальной оси частота интерференции, по сути доплеровская частота, зависит от размера кружка рассеяния линейным образом. Если диск рассеяния пульсара сильно вытянут, часто говорят – линейный, а также если направление вытянутости примерно совпадает с направлением движения пульсара, а точнее с направлением движения дифракционной картины, в таком случае у нас получаются параболические дуги. Справа два изображения из статей, где показаны результаты моделирования, как мог бы выглядеть кружок рассеяния, для того, чтобы объяснить параболические дуги. По осям угловые размеры в миллисекундах.

Слайд 7

Что в итоге мы можем найти? Можно просто мониторить параметры рассеяния. Для этого требуется один достаточно большой телескоп и можно смотреть изменчивость рассеяния. Более интересная задача — это измерение размеров кружков рассеяния, потому что это ограничение на точность изображения, это функция рассеяния точки. Для этого нам уже нужны довольно большие базы, желательно наземно-космические. Отдельная задача — это определение формы кружка рассеяния. На основе всех этих полученных величин можно уже рассматривать различные модели распределения межзвездной рассеивающей среды на луче зрения.

Слайд 8

Во второй главе разбирается техническая часть: наблюдения и подготовка полученных наблюдательных данных для обработки, для измерения параметров мерцаний, параметров рассеяния.

Слайд 9

Мы использовали наземно-космический интерферометр «Радиоастрон», который состоит из космического аппарата «Спектр-Р» с телескопом диаметром 10 метров. Мы использовали два диапазона: 324 МГц и 1.7 ГГц. В первом случае у нас была одна полоса 16 МГц, во втором — две полосы по 16 МГц каждая. На земле наши наблюдения поддерживал ряд телескопов. Конкретно те наблюдения, которые приведены в диссертации поддерживало 15 телескопов.

Слайд 10

При корреляции для повышения отношения сигнал к шуму выбиралось окно в который попадал только импульс пульсара. Также выбиралось отдельно два окна вне импульса, разнесенные на 120° вправо и влево по фазе импульса для того, чтобы измерить шумовые характеристики.

Слайд 11

Здесь слева вверху показан динамический спектр одного скана вне импульса, где мы ожидали бы увидеть чисто шумовую картину, но на нем присутствует множество каких-то элементов, источники которых можно разбить на две части. Справа вверху показана полоса приемника на телескопе Грин Бэнк на частоте 324 МГц. Тут присутствует как сама форма полосы, которая влияет на то, что мы получаем, а также довольно большое число помех, которые нужно фильтровать. Это показано темным. На фоне этого темного есть светлая полоса, которая показывает, как алгоритм отфильтровывает всё лишнее и выделяет форму полосы пропускания. Слева внизу показано, как изменяется принимаемая мощность излучения со временем. Видны отдельные выбросы, виден дрейф со временем. Были написаны алгоритмы, которые все это учитывали и в результате обработки из того спектра, который показан в левом верхнем углу, получался динамический спектр, который показан в правом нижнем углу. На нем как раз ожидаемые шумы. Точно таким же образом соответствующий по времени сигнал в импульсе фильтровался, для того чтобы убрать эти технические помехи.

Слайд 12

Мы наблюдали десять пульсаров, которые в диссертации разбираются, большинство из них достаточно близкие, меньше одного килопарсека. Нет миллисекундных пульсаров, можно сказать, что все — нормальные пульсары. Кроме двух все достаточно быстрые, с большой тангенциальной скоростью. Всего было проведено 16 экспериментов в среднем час — полтора часа длительностью, но некоторые были гораздо длиннее. Для того, чтобы достичь результата требовалось обычно одна, две, четыре тысячи каналов, хотя в

отдельных случаях требовалось делать по шестьдесят четыре тысячи частотных каналов.

Слайд 13

Третья глава — это непосредственно результаты наблюдений и измерения параметров мерцаний.

Слайд 14

Характерный размер сцинтеля в динамическом спектре — это как раз искомые... Если по времени, то время мерцания, если по частоте, то полоса декорреляции. Для того, чтобы их вычислить мы считали автокорреляционную функцию и характерный размер автокорреляционной функции по частоте давал полосу декорреляции, по времени — время мерцаний.

Слайд 15

Из динамических спектров вычислялась структурная функция: временная и частотная. Наклон временной структурной функции плюс два — это и есть искомый показатель степени неоднородности межзвездной плазмы.

Слайд 16

Во вторичных спектрах было необходимо измерить кривизну параболических дуг. Здесь на изображениях приведены параболические дуги пяти пульсаров, все те, у которых эти дуги были найдены. Они имеют совершенно разный вид: некоторые узкие и тонкие, некоторые диффузные, еле заметные. В каких то случаях появляются, как на изображении с), большое количество узких дужек на главной дуге. Невооруженным глазом видно, что почти всегда вершина параболической дуги не совпадает с началом координат. Это тоже нужно было учитывать, поэтому для подгонки мы использовали формулу со смещенной вершиной.

Слайд 17

Технически как это выполнялось. Во первых, дуги во вторичном спектре очень слабые и их нужно каким-то образом выделять. При этом они спадают: чем дальше от центра, тем слабее дуга. Для того, чтобы внешние части как-то учитывать, мы проводили бинаризацию по некоторому уровню. Снизу приведены четыре варианта бинаризации, в каждом из которых эти дуги выделялись. Для выделения использовалось двумерное преобразование Хафа. Справа вверху показан результат преобразования. По горизонтальной оси — это параметр кривизны, по вертикальной оси — сдвиг. Чем светлее, тем лучше модельная кривая попадает на вторичный спектр. Видно, что есть облако параметров, которое усреднялось. Усреднялись разные измерения по разным порогам бинаризации.

Слайд 18

В итоге были получены значения кривизны и смещения. Вот, а — это кривизна в микросекундах на миллигерц в квадрате. Видно, что для каждого конкретного пульсара величина кривизны сохраняется во времени достаточно четко. В том числе для пульсара 0834+06, для которого было показано, что параметры мерцаний очень сильно меняются со временем, но при этом кривизна параболических дуг остается постоянной. Нельзя того же сказать про смещение вершин, но это отдельная история. Для В1933 было обнаружено две дуги, вложенные друг в друга. Обе были измерены.

Слайд 19

Измерение размеров дисков рассеяния проводилось двумя методами. Самый массовый, пожалуй, наш метод. Функция видности состоит из некоторой узкой части и широкой части. Величина узкой части, как показано на рисунке справа вверху, по мере увеличения проекции базы постепенно уменьшается до тех пор, пока на самых больших проекциях базы не тонет, не в шумах, а в более широкой части, то есть отдельно не выделяется. Формула, которая приводится справа внизу, описывает величину функции видности в зависимости от базы, длины волны и, собственно, кружка рассеивания. Слева вверху показаны измеренные значения амплитуды функции видности в зависимости от базы, по крайней мере в той области, где узкую часть еще можно выделять, и показана и показана аппроксимация вот этой самой формулой для пульсара В0329+54. Более интересны снизу два изображения для пульсара В1933+16. Космический телескоп оказался в нужном месте во время наблюдений. Проекция базы очень хорошо изменялась, и нам удалось всю эту зависимость промерить достаточно хорошо и показать успешное совпадение с теорией. Но этот метод неудобен двумя... Есть две проблемы. Во-первых, нужно чтобы космический радиотелескоп оказался именно там где надо, а это положение заранее неизвестно, во-вторых, достаточно сложно все наземные телескопы откалибровать так, чтобы ошибки были не слишком велики и удавалось хорошо вписать теоретическую функцию. Поэтому мы использовали также другой метод.

Слайд 20

Измерялась двумерная корреляционная функция видности. В режиме сильных мерцаний, которые у нас обычно наблюдаются, эта корреляционная функция разбивается на два компонента, один из которых зависит только от частоты, другой зависит только от проекции базы. Таким образом, измеряя двумерную корреляционную функцию в нуле и за пределами полосы декорреляции, можно, как показано третьей формулой снизу, определить пространственную ковариационную функцию, которая зависит от размера проекции базы и от характерного размера дифракционных пятен в плоскости наблюдения. Оттуда можно уже вычислять угловой размер диска рассеяния. Слева на изображениях приведены двумерные корреляционные функции. Двумерная корреляционная функция вне спектра выступает в роли нулевого уровня.

Слайд 21

Интересно получилось с пульсаром в Парусах. В 2012 году было проведено два наблюдения. Показано падение функции видности на изображении слева вверх. Здесь все по теории. Мы получили размер диска рассеяния 6.5 миллисекунд дуги. Но для наблюдения 2013 года ничего подобного не получилось. Все базы, при том, что они сравнимы по размерам, давали разное значение амплитуды. При внимательном рассмотрении оказалось, что в двенадцатом году у нас все базы имеют примерно один позиционный угол. Позиционные углы показаны на изображении с права внизу, изображение б). В тринадцатом году все базы были с сильно разными позиционными углами. На uv-плоскости они показаны на изображении слева внизу. Мы сделали вывод, что мы измеряем размер кружка рассеяния под разными углами, аппроксимировали эти значения эллипсом и получили, что изображение пульсара вытянутое с соотношением осей два к одному, от 8 миллисекунд максимальный размер, до чуть меньше 4 секунд — минимальный.

Слайд 22

Здесь в таблице приведены все значения, которые мы получили. В последнем столбце как раз значение кружка рассеяния. Он колеблется от долей миллисекунды до единиц десятков. Видно, что для пульсара В0834 полоса декорреляции и время мерцаний сильно меняются в зависимости от времени наблюдений.

Слайд 23

Переходим к последней главе. Определение расстояний до рассеивающих экранов.

Слайд 24

Здесь мы использовали четыре метода. Самый простой способ, когда мы можем получить динамический спектр на нескольких телескопах так, чтобы мы могли видеть мерцательную картину. В таком случае можно измерить запаздывание. Слева вверху показана корреляционная функция между двумя динамическими спектрами пульсара в Парусах и видно, невооруженным глазом даже, что максимум смещен из нуля, то есть есть запаздывание между двумя телескопами. Далее, мы измеряем, как запаздывание изменяется со временем. Справа в рамке основные формулы, которые это описывают. Проекция базы на направление скорости дифракционной картины зависит синусоидальным образом от времени. Производим аппроксимацию, находим скорость движения дифракционной картины, откуда получаем значение положения экрана. То же самое внизу, только для семи часов наблюдения пульсара В0823+26 лучше прописана эта кривая.

Слайд 25

Следующий метод — это использование дуг во вторичных спектрах. Здесь кривизна дуги зависит от расстояния до пульсара, его скорости, расстояния до экрана и частоты наблюдения. Внизу приводится вычислительная формула.

Слайд 26

Далее, можно анализировать размер кружка рассеяния и сравнивать его со временем рассеяния. Есть теоретические формулы, две формулы слева вверху, которые показывают зависимость этих величин от распределения рассеивающей плазмы. В самом простом случае, когда у нас однородная рассеивающая среда, получается простое соотношение между размером кружка рассеяния и временем рассеяния. Это соотношение в наших экспериментах не выполнялось никогда. Следующая модель, в которой все рассеяние сосредоточено в одном тонком экране. Тогда мы можем сравнивать измеренный размер диска рассеяния и теоретический размер для модели однородной среды. Это та самая формула, которую мы использовали для оценки расстояния до рассеивающих экранов. Однако, можно делать более сложные модели, например погружать тонкий экран в однородную среду. В таком случае получается, что в зависимости от того, какое количество однородной среды мы добавляем, экран смещается в направлении пульсара, если изначально он было определен на расстоянии меньше двух третей от расстояния от пульсара до наблюдателя, и наоборот к наблюдателю, если он был изначально ближе к наблюдателю. Или, если мы можем оценить положение экрана другими методами, уже определять вклад от экрана и от однородной среды.

Слайд 27

Последний способ, фактически продолжение второго метода определения размера кружка рассеяния. Мы определяем размер дифракционных пятен в плоскости наблюдателя, мы определяем время мерцания, откуда вычисляем скорость движения дифракционной картины и из него уже расстояние до экранов.

Слайд 28

Здесь в таблице сведены экраны, полученные для всех пульсаров. Для некоторых пульсаров разные методы дают примерно одно и то же значение, для некоторых значения разные, что нам подсказывает, что тонкий экран работает не всегда. Каждый метод для одного и того же пульсара дает одни и те же значения.

Слайд 29

Здесь показано положение пульсаров и экранов тонкими черточками в проекции на плоскость Галактики. Для далеких пульсаров есть хорошее совпадение с положением средних линий спиральных рукавов, что ожидается. И это хорошо, это подсказывает, что в принципе всё делаем правильно. Для близких пульсаров такого нет. Когда всё в одном спиральном рукаве, то не о чем говорить.

Слайд 30

Положения, выносимые на защиту. Я их зачитаю. К сожалению их много, да. Пункт 1. С помощью наземно-космического интерферометра «Радиоастрон» впервые надежно измерены угловые размеры дисков рассеяния для 9 пульсаров. Измеренные значения лежат в интервале от 0.78 до 12.3 миллисекунд дуги на частоте 324 МГц и от 0.5 до 27 миллисекунд дуги на частоте 1.664 ГГц. Такие величины недоступны для измерения на наземных РСДБ системах.

Второе. Сравнение измеренных угловых размеров дисков рассеяния с временем запаздывания рассеянных лучей показало, что модель однородной рассеивающей среды не согласуется с наблюдательными данными ни для одного из исследованных пульсаров. Следовательно, рассеяние происходит на сравнительно компактных слоях турбулентной плазмы в Галактике.

В модели тонкого рассеивающего экрана определены расстояния до этих компактных слоев плазмы в направлении каждого пульсара. В ряде случаев положения таких выделенных слоев турбулентной плазмы совпадает с известными физическими структурами в Галактике: это области спиральных рукавов — местный спиральный рукав для пульсара B0823+26, рукав Центавра-Щита для пульсара B1641-45 и рукав Киля-Стрельца для пульсара B1749-28. Для последних двух объектов возможна связь с конкретными рассеивающими туманностями — это зоны III G339.1-04 и RCW 142 соответственно. В случае пульсара B0833-45 (пульсар в созвездии Парусов, Vela) положение рассеивающего экрана оказалось близким к положению оболочки остатка сверхновой. Такие совпадения подтверждают применимость модели тонкого рассеивающего экрана для интерпретации экспериментальных данных.

Четвертое. Обнаружено анизотропное рассеяние радиоизлучения пульсара в созвездии Парусов (Vela pulsar). Непосредственно измерен диск рассеяния, который имеет форму эллипса с отношением осей 2:1. Такое анизотропное рассеяние может быть объяснено особенностями турбулентных слоев в остатке вспышки сверхновой.

Слайд 31

Пятое. Во вторичных динамических спектрах нескольких пульсаров с помощью разработанной специальной методики выделены специфические структуры, называемые параболическими арками. Для объектов B1237+25 и B1933+16 такие структуры выявлены впервые. Само существование параболических арок указывает на анизотропное рассеяние в компактных плазменных слоях в соответствии с существующей теорией.

Шестое. Были определены расстояния до рассеивающих экранов несколькими методами, в том числе для пульсаров B0823+26, B0834+26, B1237+25, B1929+10 и B1933+16 с использованием полученной нами кривизны параболических арок и известному собственному движению пульсаров.

Седьмое. Сравнение результатов определения расстояний до рассеивающих экранов несколькими способами показывает удовлетворительные совпадения для пульсаров B0329+54, B1749-28, B1929+10 и обнаруживает значительные расхождения для пульсаров B0823+26, B0834+26, B1933+16 и B2016+28.

Наличие таких расхождений свидетельствует о том, что модель тонкого экрана не всегда адекватно описывает явления рассеяния.

Восьмое. Рассмотрен теоретически случай рассеяния на тонком экране в комбинации со вкладом от однородно распределенной среды. Показано что положение экрана в такой комбинации не может быть установлено однозначно.

Определены характерные масштабы дифракционных мерцаний по времени и частоте для всех исследованных пульсаров. Оказалось, что для пульсара B0834+06 измеренные значения полосы декорреляции изменяются в 50 раз между 2012 и 2014 годом. Такие кардинальные изменения налагают серьёзные ограничения на параметры и свойства пространственной структуры турбулентных слоёв плазмы на луче зрения к этому пульсару.

Десятое. Определены показатели степени спектра пространственных неоднородностей в направлении на пульсары B0823+26, B0833-45, B0834+06, B1237+25, B1929+10, B1933+16 и B2016+28 на основе анализа структурных функций. Полученные значения заключены в интервале от 2.83 до 3.75.

Слайд 32

Список публикаций на экране. У меня все, спасибо.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Замечательно. Большое спасибо, Евгений Николаевич. Доклад по диссертации у нас закончен. Коллеги, прошу вопросы.

ВОПРОСЫ ПОСЛЕ ДОКЛАДА СОИСКАТЕЛЯ

МАЛОФЕЕВ В.М. У меня такой вопрос. Вы очень много результатов представили, в том числе измерение полосы декорреляции, времени дифракционных мерцаний и так далее. Сравнивали ли вы свои результаты, например по полосе декорреляции, времени мерцаний с другими измерениями, сделанными раньше не в таком режиме, на одиночных телескопах и степень, наклон спектра? Эту величину можете сравнить? Есть ли разница или у вас совпадения на близких частотах?

СОИСКАТЕЛЬ. Понятен вопрос. Да, в диссертации описано сравнение по каждому пульсару. Обычно в пределах ошибок совпадения нормальные. С учетом масштабирования частот совпадения тоже нормальные. Есть для кривизны параболических дуг равна одна работа, с которой всё расходится.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Какая?

СОИСКАТЕЛЬ. Путни и Стайнбринг. 2006 год, если не ошибаюсь. Но эта работа расходится со всеми.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Есть ли уточняющие вопросы, или мы двигаемся дальше? Нет? Хорошо. Владимир Николаевич будет следующим. Прощу Вас, Владимир Николаевич.

ЛУКАШ В.Н. Спасибо. У меня вопрос к модели среды. Вы используете турбулентные спектры. Это непрерывная среда типа облаков? Расстояние между ними порядка их размеров. Но, судя по модели, у Вас другая модель получается, хотя спектры Вы те же используете. Это слои, Вы называете тонкие экраны. Откуда вы знаете, что тонкие? Если они тонкие, то они некомпактные слои, как у Вас было сказано. Что такое эти плоскости, если они тонкие? Как они могут быть одновременно компактные, что Вы имеете ввиду? И второй вопрос связан с этим. Там должен быть вектор плоскости такого слоя, если это слои. Это шоки или что это такое? Непонятно. Если Вы знаете, Вы ответьте. От этого угла между направлением на пульсар и вектора, перпендикулярного этой плоскости, если это плоскость,... Тогда от этого угла много что зависит. У Вас нету этого угла. Вот по модели можете что-то пояснить, что Вы понимаете.

СОИСКАТЕЛЬ. С моделью достаточно сложно, потому что есть теоретическая модель, в которой рассматривается плоский лист, мы считаем, что преломление произошло на одном расстоянии от наблюдателя. Физически с чем это может быть связано? Если мы будем рассматривать какое-то облако, то оно будет в любом случае гораздо тоньше, чем расстояние до пульсара, которое килопарсек, два килопарсека. Каким образом все это расположено, опять же, вопрос сложный. Благодаря параболическим дугам показано, что рассеяние происходит на очень маленьких масштабах, которые сильно меньше размеров Солнечной системы. Они должны были бы сами по себе рассеиваться, поэтому сейчас пытаются привлекать модели с магнитным полем, которое организует трубки или листы, но это пока на уровне догадок все.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Павел Борисович, прошу.

ИВАНОВ П.Б. У меня вопрос по пункту девять. Вы там написали, что «накладывают серьезные ограничения на параметры межзвездной среды». Какие ограничения на какие параметры?

СОИСКАТЕЛЬ. Понятно. Как минимум, на количество экранов. Это не включено в диссертацию, но была еще выпущена работа как раз с оценками того, почему же у нас очень сильно меняется картина мерцаний. Для этого привлекался дополнительный рассеивающий слой вблизи пульсара, привлекались еще преломляющие слои. Это про это.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. У меня уточняющий вопрос туда же. Всё таки изменение полосы декорреляции в 50 раз. Что, для этого нужно, чтобы появился второй экран? Между двумя наблюдениями там какой был год? За два года.

СОИСКАТЕЛЬ. История этого изменения несколько дольше, потому что те значения, которые мы получили после двенадцатого года, были до примерно две тысячи второго – третьего. Изначально параболические дуги были тоненькие,

потом в них появилось большое количество обратных дужек. Был какой-то период, когда это наблюдалось, а потом после 2012 года перестало наблюдаться. Что-то изменилось и одно из объяснений, что основной экран, на котором дуги образуются, ближе к нам, а есть еще второй, точнее, что-то пролетело между нами и пульсаром, но ближе к пульсару. Оно каким-то образом излучение рассеяло, но основное рассеяние всё равно произошло на экране, который ближе к нам.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Спасибо. И у меня еще один вопрос будет. Мы традиционно очень заинтересованы... В нашей группе другими методами, правда, оцениваем параметр, про который говорится в последнем выводе, показатель степени спектра пространственных неоднородностей. Интервал значений, который у Вас получился, у нас тоже получают разные, понятно, в разные стороны смотрим. От 2.8 до 3.8. Я хотел бы попросить прокомментировать с точки зрения теории. Что это значит с точки зрения теории? Какие типичные свойства пространственных неоднородностей Вы можете получить? Теоретически, какой вы делаете вывод из этих результатов по этим десяти пульсарам? Если можно.

СОИСКАТЕЛЬ. Мы, как я понимаю, смотрим на разных частотах.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Несомненно, конечно.

СОИСКАТЕЛЬ. Здесь получается, что в тех случаях когда у нас колмогоровский спектр... это рассматривается в диссертации, но из доклада я эту часть убрал. У нас есть структурные функции временные и частотные и в тех случаях, когда наклон временных и частотных функций совпадает у нас появляется рефракция, преломление в дифракционном режиме рассеяния. В других работах даже привлекают некоторую «космическую призму», как ее назвали, то есть слой, который занимается преломлением, а не рассеянием.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Итак, колмогоровский спектр – рефракция.

СОИСКАТЕЛЬ. Нет. Колмогоровский и гауссов спектр – это дифракционное рассеяние. Когда у нас получаются значения сильно ниже, грубо говоря тройка, обычно это сопровождается тем, что у нас наклон обеих структурных функций становится одинаковым и мы наблюдаем рефракционные явления.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. То есть в этом интервале от 2.8 до 3.8 Вы видите очень большие вариации в свойствах рассеяния.

СОИСКАТЕЛЬ. Выходит, да.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Про это и был вопрос. Спасибо.

ЩЕКИНОВ Ю.А. Можно еще один вопрос?

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Да, да, естественно. Прошу Вас, Юрий Андреевич.

ЩЕКИНОВ Ю.А. Как раз по этому поводу. Если у Вас колмогоровский спектр, то это, вообще говоря, стационарная турбулентность. Если он меняется во времени, то это означает, что либо он успевает на этих временах быстро устанавливаться, колмогоровский спектр, с другими параметрами, интенсивность другая, либо он где-то не колмогоровский, не стационарен. Вот это не очень понятно.

СОИСКАТЕЛЬ. Видите, я привел таблицу полученных значений. Колмогоровский спектр, это сколько? Три и семь, если не ошибаюсь. Вот он в точности колмогоровский раз, два и всё. Обычно он близок, но не точно такой.

ЩЕКИНОВ Ю.А. Это ваше довольно произвольное определение, что спектр колмогоровский, или утверждение.

СОИСКАТЕЛЬ. У нас есть теоретический данный колмогоровский спектр, который одиннадцать третей. А это наши измеренные значения, которые в одних случаях получаются близкими к колмогоровскому, а в других случаях – не очень близкими.

ИВАНОВ П.Б. У меня комментарий. Вообще-то колмогоровский спектр предполагает трехмерную турбулентность, изотропную. Если у вас, например, какая-то двумерная турбулентность, что может быть в присутствии магнитного поля, то показатель спектра будет другой, и удивляться этому особенно не приходится.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Поэтому там такой большой интервал у показателя степени. Разброс единичка – это очень много. Мы конечно можем друг с другом говорить, но если...

СОИСКАТЕЛЬ. Что-то еще требуется сказать?

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Я задаю вопрос, есть ли еще желание что-то...

СОИСКАТЕЛЬ. Нет

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Хорошо. Коллеги, еще вопросы или комментарии по докладу, по диссертации, по автореферату? Я смотрю в zoom, больше не вижу рук. И смотрю вокруг, тоже рук нет. Замечательно. На этом мы заканчиваем сессию вопросов и ответов и двигаемся дальше. Теперь предоставляется слово научному руководителю диссертации Михаилу Васильевичу Попову. Доктору наук, главному научному сотруднику ФИАН.

ВЫСТУПЛЕНИЕ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

ПОПОВ М.В. Проще всего будет, если я прочитаю в несколько сжатом виде то, что написано. В диссертационной работе обсуждаются характеристики неоднородностей межзвездной плазмы на основе анализа результатов интерферометрических измерений мерцаний радиоизлучения ярких пульсаров, выполненных методами РСДБ с использованием наземно-космического интерферометра «Радиоастрон». В этом и состоит вся особенность работы, что запуск Радиоастрона именно позволил измерять эти углы рассеяния, которые раньше были недоступны или доступны в очень ограниченном размере. Поэтому в работе сосредоточено внимание именно на измерениях, что тоже требует достаточных усилий. В этом анализе наземно-космический интерферометр играет ключевое значение, так как он обеспечивает высокое угловое разрешение, позволяющее измерить угловые размеры дисков рассеяния и, в некоторых случаях, исследовать структуру этих дисков. Такие измерения были бы невозможны при использовании только наземных радиотелескопов. В итоге, полученные результаты являются новыми и уникальными. Е.Н. Фадеев самостоятельно разработал комплекс программ, необходимых для анализа выходных данных коррелятора, представленных в FITS-формате. В отличие от РСДБ исследований радиоисточников непрерывного спектра (активных ядер галактик и квазаров), для которых разработаны стандартные пакеты посткорреляционного анализа (AIPS, DIFMAP, PIMA и др.), пульсарные данные не были обеспечены такими универсальными средствами анализа из-за специфических особенностей этих объектов, связанных с импульсным характером излучения и необходимостью компенсации влияния дисперсии радиоволн. В нашем коллективе Е. Н. Фадеев является, пожалуй, самым продвинутым специалистом подобного анализа. Он отличается склонностью к скрупулезному анализу индивидуальных особенностей (иногда и несущественных) конкретных объектов. Полученные Фадеевым результаты отличаются высокой надежностью. Не раз он указывал на ошибки и в моих расчетах, а предложенные им идеи всегда отличались оригинальностью. Представленный текст диссертации не является простой компиляцией из опубликованных статей, а имеет самостоятельное значение и носит оригинальный характер. Я сам прочитал с интересом. Не даром на написание этого текста ушло более одного года! Таким образом, не взирая на то, что в нашем коллективе над представленными результатами работало несколько человек, а в подготовке и реализации проекта «Радиоастрон» участвовали тысячи специалистов, личный вклад Фадеева Е. Н. в результаты, выносимые на защиту, является определяющим. Профессиональный уровень Е. Н. Фадеева соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатам наук. Считаю, что представленная работа полностью соответствует требованиям к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности астрофизика и звездная астрономия (01.03.02).

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Михаил Васильевич, благодарю Вас. Есть ли вопросы к научному руководителю? Обычно не бывает, но на всякий случай уточню. Нет. Михаил Васильевич свободен. Теперь я передаю слово нашему ученому секретарю. Надежда Николаевна, Ваш выход.

СЕКРЕТАРЬ. Спасибо. Теперь мне нужно огласить содержание заключения организации, где выполнялась работа и отзыв ведущей организации.

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

СЕКРЕТАРЬ. *Зачитывает Отзыв Ведущей организации (ГАИШ МГУ). Отзыв положительный, прилагается.*

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Спасибо, Надежда Николаевна. Есть ли у нас еще поступившие отзывы на диссертацию и автореферат?

СЕКРЕТАРЬ. Других отзывов не поступало.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Евгений Николаевич, как Вы предпочитаете отвечать на замечания? На все сразу или последовательно?

СОИСКАТЕЛЬ. На все сразу.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Замечательно. После второго оппонента. Дорогие коллеги, двигаемся дальше. У нас Аниса Талгатовна из ГАО расскажет про свой отзыв. У оппонентов есть выбор зачитывать свой отзыв или рассказывать своими словами. Главное, не забыть замечания. Аниса Талгатовна, включайте микрофон.

ВЫСТУПЛЕНИЕ ПЕРВОГО ОППОНЕНТА

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

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Спасибо, Аниса Талгатовна. Евгений Николаевич планирует отвечать на все замечания вместе, поэтому мы переходим ко второму оппоненту. Игорь Иванович Зинченко из Института прикладной физики РАН. Игорь Иванович уже включил микрофон, но я воспользуюсь моментом и поблагодарю Анису Талгатовну и Игоря Ивановича, потому что это уже не первый раз в этом году, когда вы участвуете у нас как оппоненты, и я боюсь, дорогие коллеги, не последний. Поэтому глубочайшая Вам благодарность от нашего диссертационного совета. Игорь Иванович, прошу Вас.

ВЫСТУПЛЕНИЕ ВТОРОГО ОППОНЕНТА

ЗИНЧЕНКО И.И. (Официальный оппонент, присутствует на заседании в удаленном интерактивном режиме). Спасибо. Добрый день всем! (Оглашает свой отзыв. Отзыв положительный, прилагается.)

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Спасибо большое, Игорь Иванович. Евгений Николаевич, давайте теперь снова покажем всем коллегам Вашу презентацию.

(Включается демонстрация экрана со слайдами 33-35, содержащими ответы на замечания в отзывах ведущей организации и оппонентов).

ОТВЕТЫ НА ЗАМЕЧАНИЯ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Замечание 1. В пояснении к формуле 1.2 следовало бы указать, что мера дисперсии пульсаров обычно измеряется в специфических единицах см^{-3} парсек, а не в обратных квадратных сантиметрах, как принято в физике.

СОИСКАТЕЛЬ. В пояснении к формуле 1.2 не указывается размерность меры дисперсии. В таблице 2.2 указаны меры дисперсии всех пульсаров именно в единицах $\text{см}^{-3} \cdot \text{пк}$. Сама мера дисперсии в диссертации приводится в справочных целях и для получения основных результатов работы не используется. Таким образом, добавить такие пояснения к формуле 1.2 можно, но на ясности текста работы это никак не отразится.

Замечание 2. Такие понятия как «колмогоровский спектр» всё-таки не являются общеизвестными и должны вводиться с пояснениями, например «спектр с показателем $-11/3$ ».

СОИСКАТЕЛЬ. Понятие колмогоровского спектра именно в таком виде вводится на странице 21: «Исследования показали, что распределение неоднородностей в межзвездной среде подчиняется этому закону с $\beta = 11/3$. Такой спектр обычно называется колмогоровским.»

ОТВЕТЫ НА ЗАМЕЧАНИЯ ПЕРВОГО ОППОНЕНТА

Замечание 1. Основным замечанием является то, что в диссертации начисто отсутствует обоснование списка избранных пульсаров.

СОИСКАТЕЛЬ. Действительно, такого обоснования сделано не было, что является упущением. Пульсары в основной массе достаточно слабые объекты. Для проведения анализа нам необходимо строить динамические спектры с высоким частотным разрешением. Следовательно, для наблюдения выбирались

только самые яркие пульсары, а сами наблюдения проводились только при участии наиболее крупных телескопов, главным образом Аресибо.

Замечание 2. *Режут слух англицизмы: нуллинг, гейтинг, сцинтиль.*

СОИСКАТЕЛЬ. Англицизмы используются тогда, когда нет адекватной замены русскими терминами или для большей ясности изложения. Заимствование терминов достаточно типично для русского языка. Например, очевидный англицизм «турбулентность» мы употребляем без перевода, в то время как словарь В. К. Мюллера утверждает, что его надо переводить как «бурность».

ОТВЕТЫ НА ЗАМЕЧАНИЯ ВТОРОГО ОППОНЕНТА

Замечание 1. *В разделе 3 отмечается, что теоретически ожидаемая функция Лоренца плохо описывает полученные данные. Больше подходит экспоненциальная функция. Было бы интересно обсудить возможные причины такого несоответствия. Это скорее пожелание, а не замечание.*

СОИСКАТЕЛЬ. В цитируемой теоретической работе производилось решение дифракционного уравнения Кирхгофа методом стационарной фазы. В виде частного случая было показано, что автокорреляционная функция интенсивности точечного источника должна иметь профиль Лоренца. Вероятно, одно из используемых для решения предположений недостаточно хорошо соответствует действительности. Детальный ответ требует более глубокого погружения в теорию дифракционных мерцаний.

С остальными замечаниями я согласен.

ОБЩАЯ ДИСКУССИЯ

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Спасибо, Евгений Николаевич. Ответы на замечания даны. Мы переходим к общей дискуссии. Она открыта для всех присутствующих, оппонентов, членов диссовета и всех остальных, кто сейчас нас слушает в Астрокосмическом центре или по zoom. Снаала я обращусь к коллегам, кто присутствует удаленно. Есть желающие из Пушинской обсерватории. Пожалуйста, Игорь Владимирович.

ЧАШЕЙ И.В. Я знакомился с этой диссертацией еще на стадии приема ее к защите, мне работа понравилась, я буду конечно голосовать “ЗА”. Вместе с тем, у меня есть критическое замечание. В положениях, выносимых на защиту, 10 пунктов, мне кажется это многовато. Надо было изложить этот материал более компактно. Ну и потом у меня есть небольшое замечание по поводу колмогоровского спектра. Колмогоров этот спектр предложил для нейтрального газа, для земной атмосферы. Это, конечно, большое достижение было. Но еще

никому не удавалось получить этот спектр для плазмы. В плазме могут быть реализованы разные спектры. Там возможен и спектр с показателем 3.5, так называемый спектр Ерошникова-Кречмера. И спектр, который имеет показатель, близкий к тому, который имеет показатель $11/3$. Но может быть и спектр, который имеет показатель 3, так называемый розовый шум или фликер-спектр. Так что вопрос о том, какой показатель степени плазмы – нетривиальный, и такой показатель может быть разный в разных областях. У меня все, спасибо.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Спасибо. Есть ли еще желающие? Павел Борисович.

ИВАНОВ П.Б. У меня очень короткий вопрос. Может, я английский плохо знаю. Что такое сцинтиль?

СОИСКАТЕЛЬ. Это вводилось как термин, описывающий единичное мерцательное пятно в динамическом спектре.

ИВАНОВ П.Б. Спасибо, узнал новое английское слово.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Есть ли еще желание выступить, прокомментировать, какие-то вопросы? Я скажу несколько слов. Очень приятно, что у нас еще одна, не первая и не последняя, защита по результатам “Радиоастрона”. Это такой общий комментарий, который отражает позитивные ощущения многих из нас в этом диссертационном совете и в этой организации. Но я хочу дополнить следующее. Мои коллеги, как в нашей организации, так и в других организациях, которые являются большими специалистами в рассеянии, лидерами здесь у нас является Пушчинская радиоастрономическая обсерватория, московская часть АКЦ, коллеги в мире, нередко говорили мне следующие слова. Что из всей науки, которой приходилось в жизни заниматься, наука, изучающая рассеяние – самая сложная. И если говорить конкретно про меня, то я могу один и тот же доклад про рассеяние слушать бесконечное количество раз, каждый раз узнавая что-то новое. Мне в голову эта наука проникает с большими сложностями. И при этом она значительно более важна, чем может показаться на первый взгляд, потому что в дополнение к результатам, которые сегодня рассказывались соискателем, к прямым результатам оценки свойств рассеяния и, соответственно, оценки свойств экранов, которые у нас есть в галактике, свежайшие результаты по исследованию центра нашей Галактики делают эту науку еще более важной. Потому что на сегодня очень серьезно на повестку дня встает вопрос о том, чтобы нам научиться учитывать, компенсировать рассеяние и, соответственно, восстанавливать изображения космических объектов как раз с учетом этих эффектов. И те новые знания, которые нам удастся получить, особенно с принципиально новыми подходами, например, как мы сегодня слышали, при помощи наземно-космического интерферометра с экстремальным угловым разрешением, они представляют из себя очень большую ценность. И со временем их ценность только

увеличивается. Поэтому я хочу поддержать диссертацию и призвать всех членов диссовета голосовать “ЗА”.

Коллеги, есть ли еще желающие выступить? Прошу вас Юрий Андреевич.

ЩЕКИНОВ Ю.А. Я присоединяюсь к тому, что сказал Юрий Юрьевич. Особенно в связи с последними наблюдениями изображения тени черной дыры в окрестности Sgr A*. В 2018 году было показано очень сильное рассеяние, а сейчас показано очень хорошее, вполне приемлемое изображение тени черной дыры. Это означает, что рассеяние сильно меняется. И в этом смысле то, что делает соискатель, это очень полезное направление, которое может быть приведет, если двигаться ближе к центру галактики, приведет к правильному пониманию, что там происходит в Sgr A*. Т.е. на мой взгляд это очень хорошая работа, здесь показаны очень интересные результаты, которые отличаются, кстати, от всего того, что мы знали раньше, во многом. Спасибо.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Спасибо, Юрий Андреевич. Еще кто-то? Если нет, то переходим к финальной части. Последнее слово соискателя. Евгений Николаевич, пожалуйста.

СОИСКАТЕЛЬ. Я хочу выразить благодарность своему научному руководителю Михаилу Васильевичу Попову, который терпеливо, но неуклонно подталкивал меня к написанию диссертации и в общем-то победил. Также я благодарен всем коллегам, которые помогали мне советом, делом. Также я благодарен своей семье, которая не оставила меня и способствовала работе. В особенности моя супруга, благодаря которой замечаний в плане опечаток и ошибок стало на один, а то и два порядка меньше, чем могло бы быть.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Хорошо. Дорогие коллеги, мы закрыли общую дискуссию, слышали заключительное слово. Теперь я объявляю о переходе к тайному голосованию. Надежда Николаевна нам расскажет детали, которые мы все, я надеюсь, помним. Но повторение – мать учения. Прошу.

СЕКРЕТАРЬ. Во время перерыва все будут голосовать с помощью электронной системы Криптовече, ссылки для голосования уже все высланы на электронные адреса всем присутствующим членам совета. Детали голосования вы все знаете, нужно выбрать один из вариантов “ЗА” или “ПРОТИВ”, и остается возможность испортить бюллетень, т.е. поставить две галочки или не поставить ни одной.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Большое спасибо. Я объявляю перерыв для проведения тайного голосования. Через 15 мин, т.е. в 16:55, не позже, собираемся для объявления итогов тайного голосования.

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

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Дорогие коллеги, мы возвращаемся с перерыва. У нас завершено тайное голосование. Результаты вы видите на экране (*На экране демонстрируются результаты голосования с помощью системы Криптовече*). У нас присутствовало на защите 16 членов диссовета. Все 16 проголосовали, ЗА – 16, ПРОТИВ – 0, недействительных бюллетеней – 0. Поднятием руки мы утверждаем результаты голосования. (*Все голосуют поднятием руки*). Кто ПРОТИВ? Нет. Воздержавшихся нет. Принято единогласно.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Теперь мы переходим к рассмотрению заключения диссертационного совета по данной защите. Заключение было вам разослано. Надежда Николаевна получила от нас комментарии, которые были учтены в данном тексте. Если есть еще комментарии, сейчас самое время их огласить. Всех все устраивает. Я прошу снова проголосовать поднятием руки за утверждение данного текста заключения нашего диссертационного совета. Спасибо. Кто против? Нет. Кто воздержался? Нет. Единогласно. Заключение диссовета утверждено. Теперь мы можем поздравить Евгения Николаевича с успешной защитой. (*Аплодисменты*). Благодарю всех за участие в заседании. Заседание по защите диссертации Евгения Николаевича закрыто.

Председатель заседания, заместитель
председателя диссертационного совета,
доктор физико-математических наук

Ю.Ю. Ковалев

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат физико-математических наук

Н.Н. Шахворостова

25 мая 2022 года.