

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

СТЕНОГРАММА
ЗАСЕДАНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
Д 24.1.262.02

17 сентября 2025 года

Защита диссертации

Михальченко Артема Олеговича

на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.1 «Физика космоса, астрономия»

*«Искажения частотного спектра реликтового
излучения и методы их исследования»*

Присутствовали члены диссертационного совета:

Новиков Игорь Дмитриевич, д.ф.-м.н., член-корреспондент РАН, 1.3.1, физ.-мат. науки, председатель диссертационного совета

Лихачев Сергей Федорович, д.ф.-м.н., 1.3.1, техн. науки, заместитель председателя диссертационного совета (*присутствует удалённо*)

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

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

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

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

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

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

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

Ковалев Юрий Андреевич, д.ф.-м.н., 1.3.1, техн. науки

Лутовинов Александр Анатольевич, д.ф.-м.н., член-корреспондент РАН, 1.3.1, физ.-мат. науки (*присутствует удалённо*)

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

Новиков Дмитрий Игоревич, д.ф.-м.н., профессор РАН, 1.3.1, техн. науки

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

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

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

Председатель заседания – д.ф.-м.н., председатель диссертационного совета Новиков И.Д.

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

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

СЕКРЕТАРЬ: Здравствуйте, уважаемые коллеги! Сегодня 17 сентября 2025 года, 15 часов по московскому времени, и мы начинаем второе заседание на сегодня, заседание диссертационного совета по защите диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Наверное, я должен открыть сначала заседание. Коллеги, чистая формальность, наверное. Будем считать заседание нашего совета открытым, и слово предоставляется учёному секретарю для оглашения документов.

СЕКРЕТАРЬ: Хорошо, спасибо. Соискатель – Михальченко Артем Олегович. Заседание у нас проводится в удалённом интерактивном режиме в соответствии с распоряжением администрации ФИАН, которое имеется в деле. Также у нас имеется необходимое согласие соискателя на проведение заседания в удалённом режиме и заявления членов Совета, которые присутствуют онлайн. У нас сейчас на заседании присутствуют 16 членов

совета из 20, и из этих шестнадцати членов совета семь присутствуют онлайн и девять присутствуют лично.

Так, извините, я возьму явочный лист, и зачитаю фамилии тех, кто присутствует в зале заседаний. Новиков, Шахворостова, Андрианов, Васильев, Вибе, Занин, Каленский, Ковалев, Новиков, это те, кто присутствуют в зале заседаний. Онлайн присутствуют Лихачев, Тюльбашев, Лутовинов, Малофеев, Чашей, Слемзин, Пушкарев. Итак, у нас имеется кворум, процент онлайн присутствующих соблюден, не более 50 процентов.

Теперь я должна напомнить об особенностях проведения защиты в удалённом режиме. Ещё раз напомнить, что покидать зал заседаний во время защиты члены диссертационного совета не могут. Если по каким-то причинам это нужно сделать, то нужно объявить технический перерыв. И это же относится к тем членам совета, которые присутствуют онлайн. В случае каких-то технических неполадок, разрыва связи, мы также обязаны объявить технический перерыв для восстановления связи.

В диссертационном деле Михальченко Артема Олеговича имеются все необходимые документы, а именно: диплом о высшем образовании, справка о сдаче кандидатских экзаменов, положительное заключение организации, протоколы о принятии диссертации к рассмотрению и к защите. Получены все отзывы необходимые от оппонентов и от ведущей организации, поступили они в установленные сроки. Все они положительные и удовлетворяют требованиям положения ВАК.

Название диссертации – “Искажения частотного спектра реликтового излучения и методы их исследования”. Кандидатская диссертация по специальности 1.3.1 “Физика космоса, астрономия”, физико-математические науки.

Диссертация выполнена в Аскрокосмическом центре Физического института имени Лебедева Российской Академии наук. В период подготовки диссертации Михальченко Артем Олегович работал в АКЦ ФИАН в должности младшего научного сотрудника. Научный руководитель Новиков Дмитрий Игоревич, доктор физико-математических наук, профессор РАН, ведущий научный сотрудник АКЦ ФИАН. Ведущая организация — Московский Государственный университет имени Ломоносова, город Москва.

Оппоненты. Иванчик Александр Владимирович, доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, профессор РАН, ведущий научный сотрудник Физико-технического института имени Иоффе Российской академии наук, город Санкт-Петербург. Александр Владимирович, здравствуйте. Александр Владимирович присутствует онлайн на заседании. Второй оппонент – Столяров Владислав Александрович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук, поселок Нижний Архыз.

Столяров Владислав Александрович не смог присутствовать сегодня на заседании, поэтому...

Оппонент В.А. СТОЛЯРОВ: Присутствую.

СЕКРЕТАРЬ: А, вы все-таки смогли подключиться. Хорошо.

Оппонент В.А. СТОЛЯРОВ: Да, получилось.

СЕКРЕТАРЬ: А камеру получается у вас включить, Владислав Александрович?

Оппонент В.А. Столяров: Камеру, да.

СЕКРЕТАРЬ: Хорошо, спасибо, отлично.

СЕКРЕТАРЬ: Так, теперь я должна перечислить еще некоторые сведения о том, что соискатель Михальченко Артем Олегович, 1997 года рождения, в 2021 году окончил Московский физико-технический институт (Национальный исследовательский университет) по направлению 14.04.02 Ядерная физика и технологии. Артем Олегович обучался в очной аспирантуре МФТИ на базовой кафедре проблем физики и астрофизики ФИАН в период с 1 сентября 2021 года по 10 августа 2025 года по направлению 03.06.01 “Физика и астрономия”, специальность 1.3.1 “Физика космоса, астрономия”. Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана 24 апреля 2025 года Московским физико-техническим институтом. В настоящее время соискатель работает высококвалифицированным младшим научным сотрудником в Астрокосмическом Центре Физического института имени Лебедева Российской Академии Наук. Я закончила оглашать выдержки из представленных документов и сведений, Игорь Дмитриевич.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Значит, теперь нам предоставить слово диссертанту. Пожалуйста, Артем Олегович.

ДОКЛАД СОИСКАТЕЛЯ

Доклад сопровождается демонстрацией слайдов презентации на экране. Слайды находятся в Приложении №1 к стенограмме заседания.

СОИСКАТЕЛЬ: Меня уже представили. Сейчас откроется презентация.

Слайды 1-2

Диссертация состоит из трёх глав и заключения. Целями данной работы являлось исследование особенностей частотного спектра реликтового излучения, исследование малых искажений спектра реликтового излучения, также уделялось внимание методам по их выделению из сигнала, загрязненного плохо определяемыми фонами. Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены три основные задачи, каждая из которых пришлась на каждую из глав. В первой главе уделяется внимание исследованию спектральных искажений параметров Стокса реликтового излучения, во второй главе... вторая глава отводится разработке алгоритма обработки данных, который мы назвали методом наименьшего отклика, и в третьей главе этот алгоритм сравнивается с актуальными методами по обработке данных и также приводится оценка оптимальных параметров эксперимента.

Слайды 3-4

Начнем с первой главы. Спектральные искажения параметров Стокса из-за эффекта Сюняева-Зельдовича и независимая оценка малых мультиполей реликтового излучения. Геометрия задачи выглядит таким образом. Неполяризованное излучение рассеивается на горячей плазме в скоплении, которое находится в центре, в начале координат. Дальше оно приобретает поляризацию, естественно его спектр искажается, и оно идет в сторону наблюдателя.

Слайд 5

Взаимодействие излучения с плазмой можно описать уравнением Компанейца, которое здесь представлено в модифицированной форме с добавлением релятивистских поправок.

Слайд 6

Нас, в частности, будет интересовать его модифицированная форма, в которой еще учитывается поляризация, т.е. вектор J — это как раз три параметра Стокса, I , Q и U , рассматривается их эволюция. Соответственно, под интегралом стоит анизотропная часть излучения, а то, что снаружи, открытая часть, не что иное, как правая часть уравнения Компанейца, которая была представлена на предыдущем слайде.

Слайд 7

После упрощения это уравнение можно разделить на три характерных слагаемых. Первое из них представляет спектральное искажение такого вида. Не что иное, как Томсоновское... представляет собой Томсоновское рассеяние с некой поправкой в форме тета. Его спектральная форма, она совпадает со спектральной формой самой анизотропии реликтового излучения, поляризации, поэтому в нашем анализе оно бесполезно, так как, строго говоря, его сложно отличить от неполяризованного излучения, нерассеянного излучения. Дальше речь пойдет как раз об искажении в форме g_2 , так называемый... названный нами анизотропным эффектом Сюняева-Зельдовича. Он имеет характерную нечернотельную форму, ну и возникает ввиду рассеяния анизотропного излучения на скоплении галактик. Ну и третье, это обычный тепловой эффект Сюняева-Зельдовича, он искажает только — вот здесь не будет появляться искажение поляризации — то есть только интенсивность.

Слайд 8

Эти искажения достаточно малы, чтобы добраться до искажения интенсивности, нам еще нужно пройти через четыре релятивистские поправки, что делает их измерение достаточно затруднительным.

Слайд 9

Эти искажения, их можно в предыдущих слайдах представить через интеграл анизотропии. Саму анизотропию можно разложить по сферическим гармоникам. Дальше нас будет интересовать, какие, вообще говоря, мультиполи вносят вклад в этот эффект.

Слайд 10

После упрощения оказалось, что вносят вклад только в мультиполи с l равное 1, 2 и 3, то есть диполь, квадруполь и октуполь. Для чего все это нужно?

Слайд 11

Измеряя вот эти вот искажения, которые приходят к нам от скоплений, можно дифференцировать вклад от обычного эффекта Сакса-Вольфа и интегрального эффекта Сакса-Вольфа. Оба эти эффекта отражают вклад в изменение энергии фотона при его прохождении сквозь гравитационные поля. Обычный эффект Сакса-Вольфа связывает флуктуации температуры реликтового излучения на сфере последнего рассеяния с флуктуациями гравитационного потенциала там же. Интегральный эффект Сакса-Вольфа еще учитывает изменения гравитационного потенциала при прохождении фотона ... учитывает еще эволюцию Вселенной. Фотон пройдет от сферы последнего рассеяния к наблюдателю, и изменение гравитационного потенциала за это время будет отражаться на анизотропии реликта.

Слайд 12

Да, так как в этот эффект вносят вклад только мультиполи с $l = 1, 2$ и 3 , то есть для каждого l у нас еще будет $2l + 1$ “эмок”, то есть всего 15 нам нужно измерить коэффициентов, 3 для диполя, 5 для квадруполя и 9 для октуполя,

всего их 15. Таким образом, минимальное количество, чтобы получить результат, 15 скоплений. Конечно же, этого недостаточно.

Слайд 13

Чем больше скоплений в выборке будет задействовано, тем у нас будет меньше ошибок при измерении этих бет. На данном слайде показано, как эта ошибка будет выглядеть. Снизу вверх штриховыми линиями показан учет только неполяризованных сигналов, только параметра I Стокса. Сплошными линиями показан учет уже и параметров линейной поляризации. Таким образом, мы получаем значительное уменьшение ошибки, если будем учитывать еще и поляризацию.

Слайд 14

Переходим к выводам первой главы. Мы рассмотрели анизотропный эффект Сюняева-Зельдовича, выведенный нами в аналитическом виде. Этот вид искажений может быть отделен от других компонентов, использован для независимой оценки малых мультиполей и их ориентации. Также, наблюдая искаженное излучение от близлежащих кластеров, можно независимо оценить коэффициенты анизотропии реликтового излучения. Мы также предложили метод по разделению эффектов Сакса-Вольфа и интегрального эффекта Сакса-Вольфа.

Слайды 15-16

Теперь, когда мы определили этот вид спектральных искажений, перейдем к методологии, как можно их выделить из сигнала. Тут опять пойдет речь об уже двух других искажениях спектра реликтового излучения, которые являются решениями уравнения Компанейца.

Слайд 17

Оба эти искажения – μ искажения и u искажения – очень малы. Достаточно проблематично выделить из фонов, которые на много порядков по амплитуде превышают искомые искажения.

Слайд 18

Поэтому нами был разработан метод, который помогает решить эту задачу. В частности, нами были выделены следующие предположения. Если представить фон в таком виде, где, a это амплитуда, f – это какая-то форма спектра, зависящая от параметров, в целом фон представляет интеграл по набору параметров, то мы выделяем область, в которой эти параметры для каждого фона могут меняться, накладываем сверху на них заранее оцененную амплитуду, больше которой... то есть амплитуда для этих фонов, она вне выделенной области ω , будет равна 0. И также второе предположение, что фоны у нас между собой не коррелируют.

Слайд 19

Сигнал дискретизируется следующим образом, основная цель алгоритма — найти вектор весов ω , который при сворачивании с сигналом будет выдавать нам амплитуду искомого искажения. Это μ , это в данном случае, искомое искажение. Ну и сама вот эта свертка названа откликом на сигнал, то есть такой линейный оператор. Дальше задача будет состоять в минимизации вот этой вот части, то есть отклика на шум и отклика на фон.

Слайд 20

То есть по умолчанию мы считаем, что отклик на наш искомый сигнал равен единицы, дальше мы, используя ограничения на амплитуду, составляем

квадратичную форму и дальше занимаемся решением этой системы уравнений.

Слайд 21

Ну и применительно к двум фонам, в частности это вот пыль и космический инфракрасный фон, можно видеть, как будут выглядеть наборы весов в случае, когда частотный диапазон не разделён на какие-то поддиапазоны, и вот в случае, когда диапазон частот мы разделили на пять частей с целью улучшить чувствительность. На этой картинке видно, что в случае деления единого диапазона на пять частей можно выиграть в чувствительности. Снизу показаны области ω для двух различных фонов, температура по горизонтальной оси и по вертикальной оси наклон спектра. И вот здесь белым цветом для обоих случаев, для обоих разбиений диапазона указано белым цветом... чем светлее цвет, тем будет меньше отклик на фон плюс шум. Как видим, можно внутри этих выделенных областей полностью избавиться от вклада шума и фона.

Слайд 22

Таким образом, во второй главе был представлен способ избавления от фонов с плохо определенными спектральными характеристиками при измерении μ искажения. Основой этого подхода является алгоритм поиска специальных весов для частотных каналов. Сумма измерений сигнала с этими весами, которую мы называли откликом, она слабо чувствительная к наличию фонов с параметрами, лежащими в диапазоне ω , и отклик на фоны становится пренебрежимо малым по сравнению с откликом на сигнал.

Слайды 23-24

В третьей главе эта идея развивается и сравнивается уже наш метод с актуальным на данный момент методом внутренней линейной комбинации

с использованием моментов. В одном случае представлено слева на этом слайде, то есть... метод MILC является естественным продолжением изначального метода внутренней линейной комбинации. Тот метод был слепым, то есть не учитывал никак спектральные формы фонов, выдавал достаточно плохой результат, так как все, что не было известно, то есть спектр искомого искажения, оно записывалось в немоделируемый шум, и соответственно было сложно минимизировать. В данном случае в MILC уже эта проблема решается учетом и самих спектров фонов, и также их производных вокруг какой-то заранее выбранной точки, вокруг некоторых параметров раскладываются фоны. N — это число моментов, число учитываемых производных. Таким образом, давайте минимизировать вклад от фонов, но опять же, чем больше мы будем этих производных добавлять в нашу задачу, тем у нас будет больше расти отклик на шум.

Слайд 25

На данном слайде показано, как в принципе ведет себя отклик в зависимости от чувствительности. Наша задача — завести эти кривые под горизонтальную прямую для как можно, получается, большего значения чувствительности, чтобы даже для посредственного эксперимента мы смогли... условия эксперимента достаточно хорошие, чувствительность телескопа небольшая, но в любом случае смогли бы получить маленькие отклики.

Слайд 26

На этой картинке в цвете показаны отклики для нашего метода в случае, когда только два фона, то есть это пыль, опять же, и инфракрасный фон.

Слайд 27

На вот этом слайде показаны уже отклики для метода моментов. Для двух, трех и четырех моментов, как можно видеть, с увеличением числа моментов

отклик на фон, конечно же, будет уменьшаться, но при этом отклики на шум будут расти.

Слайд 28

Это здесь отображено, существует оптимальное число моментов, после которого у нас будет наблюдаться уже рост отклика на шум значительный. В нашем случае это составило три момента.

Слайд 29

Дальше мы последовательно добавляли в задачу, следовательно, учитывали уже другие фоны, то есть слева, направо, внизу представлены. Учитывали сначала пыль и инфракрасный фон, анизотропию реликта, дальше эффект Сюняева-Зельдовича, его поправки, синхротрон, свободно-свободные переходы, оптику, и при каждом добавлении каждого фона, у нас, в данном случае, отклик нашего алгоритма был меньше значительно, чем отклик метода моментов.

Слайд 30

Здесь отображена зависимость отклика от чувствительности для всех фонов.

Слайд 31

Ту же самую процедуру можно проделать и для u -искажений, результат будет примерно таким же, наш метод даёт выигрыш в отклике.

Слайд 32

И, наконец, переходим к еще одному важному результату, полученному в ходе работы — это установление оптимальной температуры зеркала для измерения μ искажения. В этом случае так вышло, что нельзя очень сильно охлаждать телескоп, до температуры реликта, то есть 2.7 Кельвина. То есть если

мы будем стараться приблизиться к этой температуре, у нас есть вероятность измерить шумы и фоны, которые будут мимикрировать под исследуемый сигнал. То есть оптимальная температура в данном случае около 9 Кельвинов плюс минус 1 Кельвин. Это здесь отражено в зависимости от излучательной способности телескопа, как это будет выглядеть.

Слайд 33

Переходим к выводам третьей главы. Для изучения спектральных искажений нами был разработан алгоритм метода наименьшего отклика. Он был в свою очередь сравнен с методом моментов для внутренней линейной комбинации. Из этого можно сделать вывод, что добавление большого количества компонент будет увеличивать отклик для обоих методов. Но в случае с методом моментов, при увеличении числа фонов будет расти еще отклик на шум, что нас не удовлетворяет. Ну и также мы установили наличие оптимальной температуры для любого эксперимента, в котором измеряется монополярная часть μ искажений.

Слайд 34

В заключение основные положения, выносимые на защиту. Я их зачитываю. Выведен особый вид спектральных искажений в параметрах Стокса и реликтового излучения, рассеянного на скоплениях, названный анизотропным эффектом Сюняева-Зельдовича. С помощью этого эффекта можно, наблюдая близкие и удаленные скопления галактик, независимо оценить амплитуды и ориентации диполя, квадруполя и октуполя, а также разделить вклад в анизотропию от эффектов Сакса-Вольфа и интегрального эффекта Сакса-Вольфа. Далее, разработанный новый метод наименьшего отклика позволяет отделить искомые спектральные искажения типа μ

и у от вкладов в фонов галактического и внегалактического происхождения, включая вклад от оптики телескопа.

Этот алгоритм создан для отделения фонов с плохо определенной формой спектров от искомого сигнала. Он одновременно минимизирует вклад от фотонного шума и фонов со спектральными параметрами, которые лежат внутри заранее определенной области их возможных изменений. Математически такой метод является оптимальным и работает лучше других актуальных перечисленных методов.

А также была найдена оптимальная температура оптической схемы телескопа для любого эксперимента по измерению монополярной части μ искажения реликтового излучения. Её значение составило от 8 до 10 Кельвинов.

Слайд 35

На данном слайде представлен список работ, опубликованных по теме диссертации, три статьи в журнале из Phys. Rev. D, ну и еще две, которые имеют отношение к диссертации.

Слайды 36-37

Здесь представлен список конференций, на которых работа была апробирована. И на этом, я думаю, все. Спасибо за внимание, надеюсь, я уложился в регламент.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Какие будут вопросы к соискателю? Да, пожалуйста.

ЗАНИН К.А.: У меня вопрос просто для моего понимания. Как я понимаю, вы исследовали теорию образования этих искажений с использованием интегральных уравнений, а потом создали некий адаптивный фильтр,

имеющий свёрточную составляющую, которая может из всего сигнала выделять нужные компоненты.

СОИСКАТЕЛЬ: Линейный фильтр?

ЗАНИН К.А.: Линейная свёрка. А тогда вторая часть вопроса. Вы сравнивали... в общем, теория сигналов очень обширна. Там очень много разных способов построения фильтров, кроме линейного. Там есть статистические критерии и так далее.

СОИСКАТЕЛЬ: Мы сравнивали только с другим линейным фильтром ILC, который мы анализируем. Здесь только линейный фильтр. Здесь нахождение весов, сворачивание сигнала.

ЗАНИН К.А.: Ядро вашей свертки намного отличается от того, что до вас было? Сам вид этого ядра свертки уникален чем-то?

СОИСКАТЕЛЬ: Это квадратичная форма, которую мы здесь используем (*показывает слайды 19-20*). Из-за того, что мы накладываем определенные ограничения на амплитуды, интеграл получается функцией амплитуд для каждого из фонов по параметрам, мы сверху ограничиваем заранее оценённым значением, заранее оценённой амплитудой A_m . Дальше мы от этого вставляем нашу квадратичную форму и уже её минимизируем. Естественно, в методе MILC там, если я помню, ищутся пространственные корреляции по пикселям, можно переходить в пространство гармонических функций.

ЗАНИН К.А.: Дополнительная информация. Спасибо.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо еще. Вопросы? Как на онлайн? Есть вопросы? Нету, да? Да, пожалуйста.

ВАСИЛЬЕВ Е.О.: У меня вопрос простой, а до какого мультиполя можно наблюдать? Там у вас был второй, третий, четвертый, первый, второй, третий, а дальше сигнал просто падает от μ искажения? Спектр представлен, картинка спектра, там мультиполи до какого?

СОИСКАТЕЛЬ: Здесь представлен классический эффект Сюняева-Зельдовича и релятивистские поправки к этому эффекту.

ВАСИЛЬЕВ Е.О.: Почему не рассматривается большее мультиполей?

СОИСКАТЕЛЬ: Не рассматривается больше поправок.

ВАСИЛЬЕВ Е.О.: А, понятно.

СОИСКАТЕЛЬ: *(показывает слайд 8)* Если будет кинематический эффект, мы его в работе не затрагиваем. Там тоже для него есть свои поправки. Но наш спектр... анизотропный эффект Сюняева-Зельдовича, он в принципе легко отделяется от кинематической части для интенсивности. Для поляризации я еще не смотрел. В принципе, я, наверное, все уже ответил.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Еще вопросы?

ЗАНИН К.А.: Какое характерное отношение сигнал-шум у вас предельное, чтобы обнаружить? Фильтр какой позволяет реализовать? Единица, меньше единицы?

СОИСКАТЕЛЬ: Отношение сигнал-шум у нас, естественно, меньше единицы. Это зависит от того, какое число каналов мы ещё берем. Во второй главе я рассматривал 128 частотных каналов. Результат достаточно неплохой, но если увеличить его до 384, как это было сделано уже в третьей части работы, там улучшается и отклик, он еще меньше становится.

ЗАНИН К.А.: Порядок мультиполя обнаруживаемый зависит от... То есть, чем больше у вас в отношении сигнал-шум в канале, тем более тонкие поправки вы, наверное, можете обнаружить.

СОИСКАТЕЛЬ: Чем больше у нас отношение сигнала к шуму, тем больше вероятность, что мы правильно измерим этот сигнал.

ЗАНИН К.А.: Все понятно, спасибо. Я про вероятность уже не буду спрашивать.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Еще вопросы? Нет больше вопросов? Тогда спасибо. Переходим теперь к выступлению научного руководителя Новикова Дмитрия Игоревича.

ВЫСТУПЛЕНИЕ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

НОВИКОВ Д.И.: Добрый день, коллеги! Я скажу пару слов о диссертации Артема Олеговича. Пункт первый. Вообще, ради чего всё это делается? Артем Олегович почему-то как бы упустил этот момент. Дело в том, что когда мы наблюдаем реликтовое излучение, мы видим некую картинку на небе, и то, что мы видим, выглядит, условно говоря, несколько неприлично, в том смысле, что мы не можем объяснить, в частности, например, соосности

квадруполь и октуполь реликтового излучения. Они очень соосно друг с другом расположены на небе, и это очень плохо вписывается в современную космологическую модель, в инфляционную теорию эволюции Вселенной, и, грубо говоря, еще к тому же, это крайне сложно объяснить с точки зрения гауссового случайного поля. Гауссового процесса, случайного процесса. Не может быть так, чтобы 12 чисел до такой степени совпали друг с другом на сфере последнего рассеяния, которое мы, собственно говоря, наблюдаем с помощью реликтового излучения. Беда еще заключается в том, что то, что мы видим на небе, вот эту картинку, это то, что нам дано раз и навсегда. Никакой другой картины реликтового излучения мы, к сожалению, не увидим, если будем наблюдать непосредственно реликтовое излучение, как есть. Это так называемый «cosmic variance». Мы видим одну единственную реализацию случайного процесса. Существует много всяких подходов, методов. Люди придумывают, начинают сочинять, выдумывать новые сущности, что, как правило, приводит только к путанице. Люди пытаются объяснить вот эту соосность разными экзотическими моделями. В диссертации Артёма Олеговича на самом деле предлагается простой способ. Давайте посмотрим независимо от того, на низкие мультиполи реликтового излучения, независимо от того, что создает вокруг нас весь этот «environment», наша галактика, Солнечная система и так дальше. То есть то, что нам, собственно говоря, мешает наблюдать реликтовое излучение. Давайте выйдем за пределы нашей галактики, посмотрим на эффект Сюняева-Зельдовича. И оказывается, эффект Сюняева-Зельдовича, если у вас есть анизотропное излучение, оно падает на скопление галактик. Оно рождает особый вид искажений, если мы будем наблюдать этот вид искажений, если мы сможем его наблюдать, мы таким образом, независимо, сможем измерить низкие мультиполи реликтового излучения. По крайней мере, диполь, квадруполь и октуполь. То есть те самые моменты анизотропии, с которыми у нас наибольшие, скажем так, проблемы.

Что касается диполя, мы его вообще увидеть не можем никак, потому что мы сами движемся относительно реликтового фона. Я имею в виду космологический диполь. Получен аналитический ответ, аналитический результат, что в наше время, вообще-то говоря, довольно редко бывает. Все уравнения давным-давно написаны, все формулы давно выведены людьми еще в середине прошлого века, по крайней мере, то, что касается уравнения Компанейца и эффекта Сюняева-Зельдовича. Но, как выясняется, оказывается, не все еще написано и не все выведено. Вот это вот как раз тот самый случай, редкий, с которым мы в данном случае при рассмотрении данной диссертации встречаемся. Второй момент, в этой диссертации не только выведен аналитически... получен этот эффект, но и показано как, собственно говоря, можно было бы этот эффект наблюдать, вернее сказать, каким наиболее правильным образом обрабатывать результаты наблюдений. Этот метод наименьшего отклика, вообще-то говоря, чисто математически наиболее оптимален из всех возможных методов линейной обработки данных, из всех возможных линейных фильтров, это просто самый лучший. Ну и, наконец, последнее. Я хочу обратить внимание на следующее. Получен достаточно важный результат, я бы даже сказал в каком смысле фундаментальный, по поводу выбора оптимальной температуры оптики телескопа, если вы хотите наблюдать монополюсно распределенный по небу сигнал, в данном случае в виде μ искажения. Это вот это вот число, 9 градусов Кельвина — это, на самом деле, такой фундаментальный результат для любого эксперимента, если вы пытаетесь наблюдать именно монополюсную часть. Он чем определяется? Он не определяется конфигурацией вашего прибора, он не определяется размерами, разрешениями или конфигурацией вашего телескопа. Он определяется, на самом деле, тремя очень простыми вещами. Это температура реликтового излучения, формой спектра, которую вы хотите измерить, в данном случае μ -искажение, ну и тем фактом, на самом деле, что

оптика телескопа это тоже черное тело. Идея здесь, на самом деле, очень простая. Реликтовое излучение имеет температуру 2,7 градусов Кельвина. Если вы свою оптику, с которой вы пытаетесь что-то измерить, будете по температуре приближать к температуре реликтового фона, то в какой-то момент вы столкнетесь с тем феноменом, что вы вместо того, чтобы изучать небо, изучать реликтовое излучение, начнете изучать собственный телескоп и собственную оптику. Если у вас, например, температура вашей оптики будет равна температуре реликтового излучения, ваша оптика просто неизбежно начнет сама создавать искажения, которые в точности будут имитировать искажения реликтового фона, и вы ничего хорошего в этом случае не получите. Значит, у вас оптика должна быть все-таки теплее, чем реликтовый фон, но она не должна быть слишком теплой, потому что если она слишком теплая, она начинает излучать фотонный шум, который вам всё зашумляет. Тут найдена оптимальная температура. Этот график, он может немножко изменяться в зависимости от того, какая у вас конфигурация, каким именно инструментом вы собираетесь измерять вот этот вот монополярный сигнал. Но качественно этот график не изменится, чтобы вы ни делали.

Я считаю диссертация качественная, там есть, конечно, небрежно написанное введение, может быть, пропущены некоторые важные обстоятельства, но в целом я хочу сказать что это очень хорошая кандидатская диссертация, по моему мнению, я призываю вас голосовать за то, чтобы присудить Артему Михальченко звание кандидата физико-математических наук. Спасибо.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Какие вопросы будут к научному руководителю? Нет вопросов? Спасибо. Тогда слово ученому секретарю для зачитания отзывов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ, В КОТОРОЙ ВЫПОЛНЕНА РАБОТА

СЕКРЕТАРЬ: Спасибо. Вначале я зачитаю заключение организации, где выполнена работа.

Зачитывает заключение организации – Физического института имени П.Н. Лебедева РАН. Заключение положительное, прилагается.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

СЕКРЕТАРЬ: Так, следующий отзыв, который мне необходимо зачитать, это отзыв ведущей организации.

Зачитывает отзыв ведущей организации – Государственного института имени П.К. Штернберга Московского государственного университета. Отзыв положительный, прилагается.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Так, теперь, Артем Олегович, Вы будете сразу отвечать или в конце на все отзывы?

СОИСКАТЕЛЬ: Если вы не против, то я в конце отвечу на претензии оппонентов и, соответственно, членов ведущей организации.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Хорошо, спасибо. В таком случае мы переходим к выступлению официальных оппонентов. Первый оппонент Иванчик Александр Владимирович. Пожалуйста.

СЕКРЕТАРЬ: Александр Владимирович, Вас сейчас не слышно. Попробуйте еще раз сказать. Нет. Очень тихо? Да, может быть громкость? Так, звука пока нет.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Мне кажется, нужно объявить перерыв и восстановить звук. Давайте... объявляем технический перерыв, выясняем ситуацию.

Председатель объявляет технический перерыв 5 минут для восстановления аудиовидеосвязи с оппонентом Иванчиком А.В.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Заканчиваем технический перерыв и приступаем к продолжению защиты.

ВЫСТУПЛЕНИЕ ПЕРВОГО ОППОНЕНТА

Оппонент А.В. Иванчик: Добрый день, уважаемые коллеги, сейчас слышно, да, хорошо? Прошу прощения за заминку с микрофоном.

Официальный оппонент Иванчик А.В. присутствует на заседании в удаленном интерактивном режиме. Выступает с отзывом. Отзыв положительный, прилагается.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо большое. Ну, я понял, вы будете отвечать на все замечания в конце? Хорошо, спасибо. Тогда мы переходим к выступлению второго оппонента. Столяров Владимир Александрович... Владислав Александрович. Извините.

ВЫСТУПЛЕНИЕ ВТОРОГО ОППОНЕНТА

Оппонент В.А. Столяров: Прошу прощения за такой формат участия, но я нахожусь на конференции, здесь сейчас объявят кофе-брейк, поэтому я буду достаточно краток.

Официальный оппонент В.А. Столяров присутствует на заседании в удаленном интерактивном режиме. Выступает с отзывом. Отзыв положительный, прилагается.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Слово представляется соискателю для ответа на все замечания. Артем, погромче, пожалуйста. И в микрофон, пожалуйста, говорите.

СОИСКАТЕЛЬ: *(Представляет ответы на замечания из отзыва ведущей организации. Демонстрируются слайды с ответами на замечания, см. приложение 1 к стенограмме).*

Начну я с ответов на замечания ведущей организации ГАИШ МГУ. Те вопросы, на которые, кроме как «согласен», или стилистические замечания, я решил оставить их за кадром, там все понятно. Вот те вопросы, на которые мне есть что более подробно ответить, приведены в этом слайде. Первый вопрос: достаточно ли ожидаемой инструментальной чувствительности «Миллиметра» при реалистичной программе наблюдений для детектирования спектральных искажений. Вообще говоря, во Введении урывками были приведены... пару абзацев этому уделено было. Оценочные характеристики для «Миллиметра», на страницах 13-14. Но это стоило отдельно как-то более чётко обговорить применительно к «Миллиметру».

Седьмой вопрос: не очень удачно сформулировано.. сложно понять, как в итоге полный диапазон делится на каналы на стр. 59. Имеется в виду, что у нас рассматриваются две конфигурации Фурье-спектрометра, то есть когда 128 каналов разделены в одном случае на 5 частотных поддиапазонов, а в втором случае, собственно, нет. И вот в случае деления на 5 этих диапазонов удастся достичь лучшей чувствительности. Восьмой пункт: не

объясняется, почему недостаточно учитывать только то, что мы наблюдаем, а именно спектральные вариации в зависимости от направления, нужно еще как-то оценивать вариации вдоль луча зрения.

Параметры плохо определяемых фонов, они меняются вдоль луча зрения, то есть таким образом, что наблюдаемый от них спектр есть не что иное, как суперпозиция неизвестных нам фонов. И суть метода как раз заключается именно в том, чтобы уничтожить вклад плохо определенного суммарного спектра фонов в общий сигнал.

Девятый вопрос: на странице 67 было бы полезнее привести примеры описания фона с реалистичным спектром, например синхротронного со степенным, а не дельта-функцией. Ну, под дельта-функции тут имеется в виду четко определенное значение параметра, определяющего форму спектра, например, температура черного тела. Таким образом, описываемый спектр реалистичный. Вообще говоря, спектр синхронного излучения в третьей главе рассматривается как один из фонов.

СОИСКАТЕЛЬ: *(Представляет ответы на замечания оппонента Александра Владимировича Иванчика. Демонстрируются слайды с ответами на замечания, см. приложение 1 к стенограмме).* Далее переходим к ответам на замечания оппонента. Первое, достаточно обширный вопрос, состоящий из двух частей.

Вот первая часть, соответственно, первого замечания. Да, до рассеяния падающее излучение действительно частично поляризовано, которое приходится от последнего рассеяния, однако параметры Стокса этого поляризованного излучения отличаются от чернотельного, известного спектральным возмущением в форме первой производной черного тела по температуре. На слайде 7 это было показано как искажение в форме g_1 ,

поэтому изначальная поляризация не мешает нам обнаружить спектральные искажения параметров Стокса, так как они имеют другую спектральную форму, нежели изначальное поляризованное излучение. Основная идея раз первой главы. И второе, да, кинематический эффект Сюняева-Зельдовича не учитывался, это тоже там обговаривалось в одном моменте. В дальнейших исследованиях необходимо учитывать релятивистские поправки с тем, чтобы отличить его от анизотропного эффекта при рассмотрении всех трех параметров Стокса. На данный момент отдельно уже от диссертации мной было подтверждено, что это только для параметра I , что они отличаются, но для Q и U еще это предстоит сделать.

Дальше второе замечание, которое здесь под пунктом 3 стоит. При обсуждении спектральных искажений реликтового излучения упомянуты почти все важные искажения, однако ничего не говорится о рекомбинационных линиях, которые неизбежно возникают в процессе первичной рекомбинации плазмы, на фоне которой и формируются анизотропия реликтового излучения. Да, пока что их не удалось детектировать, но они точно есть, и их величина хорошо известна, в отличие, например, от обсуждаемого μ искажения, величина которого может быть сколь угодно мала. Безусловно, надо учитывать все, однако все факторы одновременно учесть достаточно проблематично. Заметим, что здесь μ не может быть сколь угодно малым, то есть механизм Силковского затухания дает нам оценку снизу для μ . Мы не знаем пока о других механизмах, но вот Силковское затухание известно. Рекомбинационные линии же по своей амплитуде ожидаются меньше, чем минимальное μ , поэтому их рассмотрением пришлось пока пренебречь. Аналогично рекомбинационными линиями пренебрегали при исследовании искажений и другие авторы, в частности, Йенс Хлуба и его коллектив. Но да, это замечание по делу.

СОИСКАТЕЛЬ: *(Представляет ответы на замечания оппонента Владислава Александровича Столярова. Демонстрируются слайды с ответами на замечания, см. приложение 1 к стенограмме).* В первой главе стоило подробнее обсудить потенциальные ограничения метода оценки мультиполей с помощью анизотропного эффекта Сюняева-Зельдовича, особенно в случае наличия эффектов, связанных с пекулярным движением скопления или вариацией температуры плазмы. В дальнейшем, необходимо учитывать релятивистские поправки к кинематическому эффекту Сюняева-Зельдовича, то есть пекулярные движения. Что касается вариации температуры плазмы, то, как раз ценность нашего исследования заключается и в том, что отношение амплитуды анизотропного эффекта Сюняева-Зельдовича к обычному тепловому эффекту Сюняева-Зельдовича не зависит от свойств рассеивающей среды, температуры и плотности. Это вот в первой главе, которые на слайдах были показаны, коэффициенты бета, они уже получены после деления на амплитуду тепловой эффекта Сюняева-Зельдовича. Там уже не учитывается свойство рассеивающей среды.

Второе, желательно было бы подробнее обсудить устойчивость метода при вариациях границ областей и определения параметров, то есть чем больше область возможных изменений параметров для фонов, тем сложнее измерять искомый сигнал. Тем не менее, метод устойчив и даже допускает пересечение в области изменения параметров нескольких различных фонов, например, пыли и инфракрасного фона. Хотелось бы более подробно увидеть, как LRM может быть усовершенствован при использовании традиционного подхода. Этот момент затрагивался только вскользь в заключении, в третьей главе, а в полной мере он был реализован недавно в отдельной статье, которая еще находится на стадии рецензирования.

Четвертое, в работе предполагается, что фоновые компоненты, например, пыль и синхротрон, не коррелируют между собой, однако в реальных наблюдениях такие корреляции неизбежны. Их учет необходим при обработке реальных наблюдений. Тут я согласен, во второй главе было сделано такое допущение, что фоны не коррелируют. В третьей главе на странице 72 в частности вводится параметр m , допускающий учет корреляции. Но, опять же, учет отпущается, но там для простоты модель используется не коррелирующих фонов. Пятое. Желательно исследовать, как оптимальная температура зависит от других параметров. Это уже было сказано, что оптимальная температура, она не зависит от конфигурации прибора и излучающих способностей зеркал. Это универсальная константа, определяемая всего двумя вещами: температурой изучения и формой спектра самих искажений. В этом и стоит ценность данного результата.

И шестое, было бы уместно оценить производительность предложенного алгоритма в зависимости от резона входных данных. Сложность такого рода алгоритмов упирается в оборот матриц решения системы линейных уравнений, поэтому там это в диссертации указано не было, но в зависимости от числа каналов используемых, то есть как J в третьей степени, это достаточно примитивная оценка. Более подробно ничего сделано не было. Так, на этом я посчитал, что все. Если еще есть какие-то вопросы, я готов ответить.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Тогда спасибо еще раз всем оппонентам и всем, кто сделал замечания. Диссертация теперь открывается для общей дискуссии. Пожалуйста, у кого какие есть вопросы, замечания, высказывания.

ВАСИЛЬЕВ Е.О.: Сама диссертация производит очень хорошее впечатление. И хотелось бы обратить внимание по поводу результата о температуре зеркала. Традиционно считается почему-то, что чем меньше температура, тем лучше.

Но вот здесь показаны достаточно неочевидные факты, и он оказывается очень фундаментальным результатом, вот это хотелось бы отметить. Ну и, собственно, я призываю голосовать за присуждение. Спасибо.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Еще кто хочет выступить?

СЕКРЕТАРЬ: Я бы тоже хотела поддержать эту работу. Мне кажется, она имеет очень... В ней получены очень значимые результаты. Дело в том, что больше 20 лет назад я тоже занималась спектральными искажениями реликтового излучения вместе с Виктором Константиновичем Дубровичем, которого, наверное, многие знают. Но мы занимались рекомбинационными искажениями, то есть рекомбинационными линиями. И тогда эта работа носила все время сугубо теоретический характер. И как все это можно померить, такой вопрос казался таким, ну не то что недостижимым, но достижимым в каком-то очень далеком будущем, и даже подходов к этому как-то не было видно. И вот в этой работе, хотя исследуются другие спектральные искажения, других типов, но это неважно, сделан, как мне кажется, большой шаг в этом направлении, создан алгоритм очистки от фонов такого сигнала, что является, в общем самой большой проблемой в будущем измерении такого вот сигнала. Так что я очень поддерживаю тоже эту работу и считаю, что Артем Олегович заслуживает присуждения ему искомой степени.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Еще желающие выступить? Нет больше, да, как на онлайн?

СЕКРЕТАРЬ: Нет. Может, ещё спросить, удовлетворены ли уважаемые оппоненты ответами на замечания?

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Я не понял?

СЕКРЕТАРЬ: Удовлетворены ли уважаемые оппоненты ответами на замечания?

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Это уж так они сами решат. Так, кто еще желает выступить? Нет больше желающих выступить. Тогда будем считать, что дискуссия закрыта. Слово предоставляется тогда соискателю, заключительное слово.

СОИСКАТЕЛЬ: Хотел бы выразить благодарность в первую очередь своему научному руководителю Дмитрию Игоревичу Новикову за руководство, за содействие. Без его руководства эта работа, наверное, не появилась бы на свет. Далее хотел бы выразить благодарность Надежде Николаевне Шахворостовой за помощь с оформлением, со всеми процедурами. Без нее бы тоже, скорее всего, вероятно всего, не осуществилась бы процедура. Большое спасибо Сергею Владимировичу Пилипенко за ценные советы, Татьяне Ивановне Ларченковой. Также я благодарен своим оппонентам Александру Владимировичу и Владиславу Александровичу. Также очень интересные были сделаны замечания. В целом членам этого совета и коллективу АКЦ тоже большое спасибо, что вы выслушали.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо. Тогда я объявляю о переходе к тайному голосованию. Слово секретарю.

СЕКРЕТАРЬ: Спасибо. Значит, ну, как мы уже все знаем, в соответствии с обновленным положением ВАК, поскольку у нас заседание в удаленном интерактивном режиме, то и голосование у нас тоже удаленно проводится

с использованием системы «КриптоВече». Сейчас на почту, которая указана в явочном листе, каждому члену совета придет ссылка индивидуальная на голосование. Чтобы проголосовать, можете либо пройти по ссылке из письма, либо просто зайти в свой личный кабинет на сайте «КриптоВече», нажать кнопку зарегистрироваться, после чего будет доступна повестка голосования. Повестка у нас – присудить степень кандидата физико-математических наук Артему Олеговичу Михальченко. Требуется выбрать один из вариантов за или против. Если будут выбраны оба варианта или не выбрано ни одного, то такой электронный бюллетень будет учтен как недействительный в системе. Вот, ну в общем, кто имеет доступ к личным устройствам для голосования, смартфоны, ноутбуки, компьютеры, пожалуйста, голосуйте с них. Если доступа к личным устройствам нет, то вот, пожалуйста, в вашем распоряжении компьютер здесь, в зале заседания, специально для голосования. Можно им воспользоваться, конфиденциальность гарантирована.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо, тогда объявляется перерыв для голосования 15 минут. Так положено.

ТАЙНОЕ ГОЛОСОВАНИЕ

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

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Заканчивается у нас перерыв. Пожалуйста, покажите на экране результаты голосования.

СЕКРЕТАРЬ: Результаты голосования. Показываю. Итак, у нас состоялось тайное голосование с использованием системы «КриптоВече». Повестка

голосования – присудить Артему Олеговичу Михальченко ученую степень кандидата физико-математических наук. Всего было роздано 16 бюллетеней, присутствовало 16 членов Совета, «за» проголосовало 16 человек, «против» – 0, недействительных бюллетеней – 0. Единогласно все проголосовали «за».

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Спасибо, давайте утвердим результаты голосования. Кто «за» утверждение?

Члены совета голосуют поднятием руки за утверждение результатов тайного голосования.

СЕКРЕТАРЬ: Так, все ли «за»? Александр Анатольевич, вы «за»?

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Кто «против»? Нет. Кто «воздержался»? Нет. Значит, утверждаются результаты голосования. Это еще не все, да? Результаты голосования. Так, теперь, значит, что нам еще нужно? Надо обсудить и принять заключение.

СЕКРЕТАРЬ: Да, заключение Диссовета по диссертации, его проект был разослан заранее, все имели возможность с ним ознакомиться, но здесь распечатанные версии лежат. Я получила комментарии от Дмитрия Зигфридовича. Спасибо большое, все внесла, так что, Игорь Дмитриевич, можно голосовать по тому заключению, которое есть.

Члены совета голосуют поднятием руки за утверждение заключения диссертационного совета.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: За заключение, кто «за» заключение, кто «против»? Нет. Воздержался? Нет. Единогласно тогда. Вот теперь надо утвердить это или ничего? Мы утвердили заключение. Хорошо, спасибо. Давайте поздравим

соискателя. Сложная диссертация, она математически действительно сложная. Я занимался этими вопросами и знаю насколько это все сложно. И хорошо, что все поняли значимость достигнутых результатов. Спасибо членам совета. Всё, тогда у нас заседание закрыто. Ещё раз поздравляем всех.

Председатель заседания,
председатель диссертационного совета,
д.ф.-м.н., член-корр. РАН

Новиков И.Д.

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

Шахворостова Н.Н.

17 сентября 2025 г.