

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

СТЕНОГРАММА
ЗАСЕДАНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
Д002.023.01

9 июня 2021 года

Защита диссертации
Ларченковой Татьяны Ивановны
на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук
по специальности 01.03.02 “Астрофизика и звездная астрономия”
*“Влияние неоднородностей гравитационных полей на наблюдаемые
характеристики астрономических объектов”*

Присутствовали члены диссертационного совета:

Новиков И.Д., д.ф.-м.н., член-корр. РАН, 01.03.02, физ.-мат. науки

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

Шахворостова Н.Н., к.ф.-м.н., 01.03.02, техн. науки

Бочкарев Н.Г., 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

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

Ковалев Ю.А., д.ф.-м.н., 01.03.02, техн. науки

Ларионов М.Г., д.ф.-м.н., 01.03.02, техн. науки

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

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

Попов М.В., д.ф.-м.н., 01.03.02, техн. науки

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

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

Чашей И.В., д.ф.-м.н., 01.03.02, техн. науки

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

Председатель заседания – доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, председатель диссертационного совета И.Д. Новиков.

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

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Дорогие коллеги, давайте начнем процедуру защиты докторской диссертации Ларченковой Татьяны Ивановны “Влияние неоднородностей гравитационных полей на наблюдаемые характеристики астрономических объектов” по специальности “Астрофизика и звездная астрономия”. Ведущая организация – Институт астрономии Российской академии наук, официальные оппоненты Бисноватый-Коган Геннадий Семенович, Долгов Александр Дмитриевич, Черепашук Анатолий Михайлович. Пожалуйста, огласите остальные данные.

СЕКРЕТАРЬ: Присутствуют 18 членов диссертационного совета: Новиков Игорь Дмитриевич, Ковалев Юрий Юрьевич, Шахворостова Надежда Николаевна, Бочкарев Николай Геннадьевич, Вибе Дмитрий Зигфридович, Дагкесаманский Рустам Давудович, Дорошкевич Андрей Георгиевич, Каленский Сергей Владимирович, Ковалев Юрий Андреевич, Ларионов Михаил Григорьевич, Лихачев Сергей Федорович, Лукаш Владимир Николаевич, Новиков Дмитрий Игоревич, Попов Михаил Васильевич, Троицкий Сергей Вадимович, Тюльбашев Сергей Анатольевич, Чашей Игорь Владимирович, Щекинов Юрий Андреевич. Присутствуют очно – 9 человек, удаленно – 9 человек. Всего 18 из 22 человек списочного состава, кворум есть.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Так, пожалуйста, зачитайте основные выдержки из документов, которые необходимы.

СЕКРЕТАРЬ: Соискатель Татьяна Ивановна Ларченкова представила в диссертационный совет следующие документы: заявление о принятии к рассмотрению и защите диссертации, заверенную копию диплома о присуждении степени кандидата физико-математических наук. Диссертация защищалась в Физическом институте имени Лебедева. Также было представлено заключение организации, в которой была выполнена диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, заключение федерального государственного учреждения науки Физический институт им. Лебедева. Заключение положительное. Что еще я должна зачитать?

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Есть у нас еще какие-то документы, отзывы, положительные, неположительные?

СЕКРЕТАРЬ: Отзывы оглашаются после доклада.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ: Тогда, пожалуйста, Татьяна Ивановна. Вам слово.

ДОКЛАД СОИСКАТЕЛЯ

СОИСКАТЕЛЬ: *(выступает с докладом. В докладе демонстрирует и комментирует слайды 1-58, номера которых даны в начале соответствующих строк ниже). Слайды к докладу приведены в Приложении к стенограмме, а также приложены к аттестационному делу в бумажной и электронной форме.*

Слайд 1. Название диссертации. Добрый день, уважаемые коллеги. В сегодняшнем докладе я представлю основные результаты, полученные в диссертационной работе, посвященной изучению влияния неоднородностей гравитационных полей на наблюдаемые характеристики астрономических объектов. При исследовании астрономических объектов наблюдателям доступны три основных вида информации. Это информация о пространственных свойствах объекта наблюдения, временных и спектральных.

Слайд 2. При распространении сигнала к наблюдателю возможно возникновение характеристик исследуемого объекта. В частности, если вблизи луча зрения находится массивное тело, то наблюдается изменение видимого положения источника. Также может наблюдаться запаздывание времени прихода сигнала, как в случае, например, радиолокации Меркурия и Венеры. В случае наблюдения периодических сигналов, например, от пульсаров, в остаточных отклонениях моментов прихода их импульсов наблюдаются также шумы хронометрирования.

Слайд 3. Если на луче зрения оказывается, например, галактика, мы наблюдаем далекий квазар, то в спектрах возникают линии поглощения, связанные с наличием газа в этой галактике, например, линии водорода или линии металлов.

Слайд 4. И, наконец, в случае событий сильного гравитационного линзирования наблюдаются все вышеперечисленные виды искажения, появляются множественные изображения источника. Между этими изображениями существует временное запаздывание. Мы наблюдаем усиление наблюдаемого потока. В спектрах источников могут возникать линии линзирующего объекта, и в случае линзирования протяженных объектов может наблюдаться пространственная деформация, как например, в случае источника PKS1830 и B0218, в которых наблюдаются яркие протяженные дуги.

Слайд 5. Таким образом, доступная в измерениях информация содержит не только сведения непосредственно о самом изучаемом объекте или явлении, но и о среде, в которой распространяется его излучение. Отсюда вытекают две цели диссертации. Во-первых, расчет и моделирование искажений наблюдаемых пространственных, временных и спектральных характеристик излучения космических объектов и явлений, возникающих вследствие неоднородностей

гравитационных полей, вызываемых расположенными на луче зрения или вблизи него массивными объектами. И во-вторых, разработка методов поиска, определения физических характеристик и установления природы скрытого вещества и объектов, не излучающих или слабо излучающих в электромагнитном диапазоне, но проявляющих себя посредством гравитационного взаимодействия.

Слайд 6. Уровень современной техники в точности измерения пространственных, временных и спектральных характеристик очень высокий в настоящий момент. Вот здесь показаны основные инструменты передовые, которые работают в разных областях электромагнитного спектра. Решетка интерферометрическая ALMA, которая работает в субмиллиметрах и миллиметрах, в миллиметрах - телескоп горизонта событий, в радиодиапазоне – замечательный наш спутник РадиоАстрон, в оптике – уникальная обсерватория GAIA, будущее наше в далеком инфракрасном и субмиллиметровом диапазоне - Миллиметрон. Дальше я скажу о точностях, которые достигнуты в пульсарном тайминге и в измерении спектральных характеристик.

Слайд 7. На сегодняшний день в радиодиапазоне точность определения координат достигает 30 микросекунд дуги, например для источников из каталога небесной системы третьей реализации. Точность GAIA в определении положений достигает уже 10-20 микросекунд дуги для наиболее ярких источников. А РадиоАстрон, как мы знаем, показал рекордное угловое разрешение 8 микросекунд дуги для наблюдений мегамазера воды. В пульсарном тайминге на больших временах наблюдений больше 10 лет точность определения момента прихода импульсов достигает 50 наносекунд. В случае наблюдений экзопланет точность измерения лучевых скоростей приближается к метру в секунду. Такие точности говорят нам о том, что мы уже находимся на пороге эры микросекундной астрономии, а микросекундная астрономия предъявляет дополнительные требования к учету довольно слабых эффектов, на которые еще 20-30 лет назад мы бы не обращали никакого внимания. Собственно, этим и обусловлена актуальность представленной диссертации.

Слайд 8. Начну я с влияния неоднородностей Галактики на позиционную точность внегалактических источников излучения.

Слайд 9. Где это важно? Понятно, где нам нужны точности. Это важно при реализации небесной системы координат. В радиодиапазоне это международная небесная система координат, которая включает в себя четыре с половиной тысячи источников, из них для пятисот с лишним источников точность определения положений составляет 30-60 микросекунд дуги. Понятно, что все измерения мы проводим относительно этой системы отсчета и если у нас неустойчивое положение опорных источников, то нужно учитывать и делать соответствующие поправки.

Слайд 10. Мы находимся в Галактике и все наши наблюдения внегалактических источников проходят сквозь галактику. Это данность, которую мы должны учитывать, от галактики мы никуда деться не можем, от ее влияния. В галактике движутся звезды, остатки звездной эволюции, коричневые карлики, релятивистские компактные объекты. В результате луч, который распространяется от внегалактического источника к наблюдателю проходит в этом флуктуирующем гравитационном поле. Это может приводить к тому, что положения источников во времени могут меняться. Важно понять, какова величина этих дрожаний. Надо сказать, что впервые эта проблема, здесь можно с гордостью сказать, на постсоветском пространстве, это работа Жданова и Ждановой девяносто пятый год, работа Михаила Васильевича Сажина девяносто шестого года. Начиная с двухтысячного появились работы, посвященные проблеме астрометрического микролинзирования.

Слайд 11. Таким образом, мы будем считать, что угол отклонения света в гравитационном поле произвольно перемещающихся в пространстве тел является случайной функцией времени, положений и скоростей отклоняющихся тел. Понятно, что угол отклонения прямо пропорционален массе отклоняющего тела и обратно пропорционален прицельному параметру. Решить такую задачу не так просто, мы вынуждены прибегать к упрощающим предположениям, и дальше перечислено собственно то, что мы предполагаем. Мы предполагаем, что у нас есть локальные возмущения плотности галактики, при этом она стационарна на больших масштабах. Используем приближение непрерывной среды. И что для нас наиболее важно, мы считаем рассматриваемые параметры отклоняющихся тел, то есть их массу, скорость, пространственное распределение, не коррелированными между собой. Это позволяет нам представить функцию распределения по этим параметрам в виде независимых функций распределения.

Слайд 12. Таким образом, угол альфа описывает реализацию случайного процесса отклонения лучей света источника при распространении в галактике. Если первый момент у нас постоянный, тогда мы такой случайный процесс можем рассматривать как стационарный и использовать известные выражения для среднеквадратичного отклонения, автокорреляционной функции и спектральной плотности мощности.

Слайд 13. Нам также нужно иметь информацию об отклоняющихся телах. Распределение по скоростям. Мы используем предположение об усеченной функции Максвелла с разными значениями дисперсии для звезд диска и балджа и гало. Используем две модели галактики: современная многокомпонентная модель Дэнена-Бинни и классическая модель, которая нам нужна была для сравнения, немножко устаревшая, модель Бакала и Сонейры. Распределение по массам задавалось с помощью современной функции масс для разных компонент галактики с учетом коричневых карликов.

Слайд 14. В результате мы построили карту неба среднеквадратичного отклонения в микросекундах дуги. Здесь показана такая карта для модели Дэнена-Бинни. Видно, что если внегалактический источник находится в направлении на галактический центр, то величина эффекта может достигать пятидесяти микросекунд дуги. Если источник находится в направлении на галактические полюса, то величина этого эффекта на порядок меньше. Представленная здесь величина важна для оценки и понимания эффекта. Это некий предел сверху. Но в наблюдениях реальных нам нужно понимать, насколько могут уходить положения измеряемых координат внегалактических источников, например, через месяц, через год, через десять лет. Чтобы ответить на этот вопрос, нам нужно было вычислить автокорреляционную функцию, что мы собственно и сделали.

Слайд 15. Что мы собственно и сделали.

Слайд 16. Зная автокорреляционную функцию, мы тогда уже можем получить карты для соответствующих промежутков времени между наблюдениями. Здесь представлена карта среднеквадратичного отклонения в микросекундах дуги для времени наблюдения 10 лет. И опять же, в направлении на центр галактики величина эффекта порядка двадцати микросекунд и на порядок уменьшается в направлении на галактические полюса.

Слайд 17. Промежуточные выводы по этой главе. Как я уже сказала, мы построили карты распределения по небесной сфере среднеквадратичного угла отклонения для современных моделей галактики. Показали, что эта величина разная в разных направлениях, и она может достигать десятков микросекунд дуги в направлении на галактический центр и уменьшается до нескольких микросекунд дуги в направлении высоких галактических широт. Определили статистические свойства рассматриваемого процесса, вычислили автокорреляционные функции и спектральную плотность мощности. Спектральный индекс – минус два.

Слайд 18. Важный очень момент, можно ли этот эффект дрожания координат обнаружить современными инструментами и какая должна быть здесь методика наблюдений.

Слайд 19. Понятно, что помимо исследуемого эффекта на положения внегалактических источников оказывают влияние и другие эффекты. Здесь перечислены основные из них. Во-первых, связанные с наблюдениями, атмосферные эффекты, это тепловой шум, задержки в ионосфере, задержки в нейтральной атмосфере. Известно, что они растут с ростом углового расстояния между источниками. Забегая вперед, скажу, что мы будем пользоваться методом дифференциальной астрометрии, то есть использовать наблюдения пар источников. Дальше нельзя забывать про вспышечную активность активных

галактических ядер. В случае наличия компактного компонента в струе, она может достигать и миллисекунды дуги. Всем известный в этой аудитории эффект сдвига ядра, который к счастью зависит от частоты, ну и также рассеяние в межзвездной среде, которое тоже зависит от частоты. Соответственно, для того, чтобы минимизировать вышеперечисленные эффекты, методика наблюдений следующая. Мы должны наблюдать тесные пары, расстояние между которыми не превышает двух градусов, наблюдения надо проводить на высоких частотах. Нам нужны одновременные наблюдения на нескольких частотах, для того, чтобы учесть частотно зависимые эффекты, а исследуемый нами эффект является ахроматичным. Использовать две выборки источников. Мы будем сравнивать дисперсии измеренных расстояний в паре для целевой и контрольной выборки.

Слайд 20. Выбор двух групп источников – целевой и контрольной – естественным образом следует из полученных ранее результатов. Целевой группой будут источники, для которых эффект максимален, расположенные на центр Галактики. И контрольная группа, там где эффект минимален, с галактическими широтами больше тридцати.

Слайд 21. Для того, чтобы убедиться в правильности нашего моделирования, мы сравнили дисперсии в двух парах для двух выборок, когда у нас чистый сигнал, т.е. нет никаких других видов шумов. Здесь показан корень из дисперсии в микросекундах дуги в зависимости от времени в месяцах. Слева направо – измерения каждые два, четыре, шесть месяцев. Красным показана целевая выборка, а серым показана контрольная. После нескольких измерений мы уверенно начинаем различать дисперсии этих двух выборок.

Слайд 22. Присутствуют, естественно, шумы. Они могут быть совершенно разной природы. Мы моделируем эти шумы: белый, фликер, всевозможные виды красных шумов. Здесь в качестве примера показана реализация шумов. На верхней картинке – амплитуда шума в микросекундах в зависимости от времени, а внизу соответствующий спектр мощности.

Слайд 23. Теперь для зашумленного сигнала. Здесь нам важна точность дифференциальной астрометрии. На сегодняшний день эта величина соответствует тридцати микросекундам дуги. Не исключено, что в ближайшее время точность будет достигать десяти микросекунд дуги. Слева показан оптимистичный вариант, т.е. когда уровень шума находится на уровне десяти микросекунд. А справа – реалистичный на сегодняшний день на уровне тридцати микросекунд дуги. По-прежнему, красным цветом – это реализация целевой выборки, а серым цветом – контрольная. Штриховая линия показывает уровень значимости различий двух выборок на уровне трех сигма. Видно, что в первом случае уровень три сигма достигается приблизительно через два года наблюдений, а во втором случае за десять лет наблюдений мы выходим на уровень значимости различий две с половиной сигма.

Слайд 24. Основные надежды связаны с двумя существующими инструментами, которые будут введены в строй. Это корейская интерферометрическая сеть, которая позволяет с хорошей точностью проводить измерения на нескольких частотах одновременно. И планируемая новая генерация интерферометрической решетки VLA.

Слайд 25. Теперь перейдем ко второй части, которая посвящена рассмотрению влияния неоднородностей Галактики на временную модуляцию. Мы будем использовать источники периодического излучения – пульсары.

Слайд 26. Главным образом нас будут интересовать пульсары, находящиеся в шаровых скоплениях. Почему именно эти пульсары? Причин здесь несколько. Во-первых, в тридцати шаровых скоплениях известны сто пятьдесят семь пульсаров. Рекордсменами среди них являются низкоширотное скопление Tez 5, в котором известно тридцать восемь пульсаров, и высокоширотное скопление 47 Тукана, в котором известно 25 пульсаров. Шаровые скопления, по всей видимости, являются областями в Галактике, наиболее густо населенными звездами. И еще одна причина – есть серьезные подозрения, что в некоторых шаровых скоплениях в центрах галактик могут находиться черные дыры промежуточных масс.

Слайд 27. Мы будем использовать здесь эффект Шапиро. Я напомним, что это запаздывание сигнала в гравитационном поле массивного объекта. Этот эффект был измерен при радиолокации Венеры и Меркурия. Также этот эффект наблюдается в двойных системах с пульсарами, он позволяет измерять с хорошей точностью массу компаньона, которую другими способами проблематично и увидеть, и измерить. Таким образом, этот эффект можно использовать для обнаружения невидимых объектов.

Слайд 28. Сначала мы смотрели статистический эффект Шапиро, т.е. эффект Шапиро, связанный с пролетами звезд скопления вблизи луча зрения. Статистический эффект – это случайный разброс времени прохождения сигнала до наблюдателя. Этот эффект будет вызывать низкочастотный шум в хронометрировании пульсаров. Наша задача – определить статистические параметры этого шума, для того, чтобы в наблюдениях мы могли его выделять и отличать от других видов шумов. Для этого была получена вот такая формула.

Слайд 29. Я не буду на ней останавливаться. Напомним, что в хронометрировании пульсаров мы исследуем остаточные отклонения в моментах прихода импульсов. Это разница между наблюдаемой фазой пульсара и предсказанной фазой пульсара с помощью моделей. В модель закладывается практически все, что мы знаем об эффектах, которые могут влиять на фазу вращения пульсара. Характеристикой стабильности пульсара является так называемая z статистика, которая в свою очередь зависит от члена матрицы

информации, а матрица информации зависит от автокорреляционной функции. Поэтому первая наша и основная задача – это вычислить автокорреляционную функцию этого процесса.

Слайд 30. Что и было сделано. Были использованы численные расчеты, модель Кинга и модель изотермической сферы. Здесь показаны результаты. Корреляционная функция для больших значений прицельных параметров и для малых значений. Спектральный индекс равен минус один и восемь. Степень минус один и пять.

Слайд 31. В то время, когда мы занимались этой проблематикой, она была не очень актуальна с точки зрения наблюдений. За последние десять лет ситуация резко изменилась благодаря постановкам экспериментов, связанным с регистрацией гравитационных волн от сливающихся сверхмассивных черных дыр. Такие эксперименты были поставлены чуть больше десяти лет назад. Был организован регулярный мониторинг порядка пятидесяти миллисекундных пульсаров. Здесь показаны результаты из последней работы двадцать первого года. Это результаты для тринадцати пульсаров, в которых зарегистрирован низкочастотный шум. Здесь с правой стороны показан спектральный индекс этого шума. Видно, что ошибки достаточно большие. Вертикальной линией показан шум от слияния сверхмассивных черных дыр, а вот в этой области находился бы спектральный индекс нашего эффекта. К сожалению, среди этих пульсаров пока нет пульсаров, которые находятся в шаровых скоплениях, но понятно, что в ближайшее время появятся данные и по пульсарам в шаровых скоплениях.

Слайд 32. Следующий вопрос. Можем ли мы помимо стохастического эффекта наблюдать единичные события? Какова будет частота, вероятность и сколько таких событий мы можем зарегистрировать. И для чего это нужно? Это нужно для поиска темных тел, которые могут быть в шаровых скоплениях. Существуют свидетельства, что существуют черные дыры промежуточных масс в шаровых скоплениях. Этому посвящено много работ, начиная с ранних работ Геннадия Семеновича Бисноватого-Когана. И из последних работ – работы Долгова и Постнова. Здесь показано, что такие указания есть. Можем ли мы этот эффект использовать для того, чтобы детектировать такие черные дыры?

Слайд 33. Нам нужно определить вероятности, частоту событий, количество событий. Точность определения моментов прихода импульсов составляет пятьдесят наносекунд, а события мы будем регистрировать на уровне значимости десять сигма. Время наблюдений пять лет.

Слайд 34. Здесь приведена частота событий в год для трех скоплений M15, 47 Tuc и Ter 5. Это на звездах скопления и на звездах галактики. На скоплении это в два раза больше. А вот это – ожидаемое число событий за пять лет. Т.е. это около трех событий, уже есть о чем говорить.

Слайд 35. Теперь по поводу возможности регистрации черных дыр промежуточных масс в центре шаровых скоплений. Для этого мы выбрали семь пульсаров, которые находятся на минимальном угловом расстоянии от центра скопления. И рассмотрели два случая, когда масса черной дыры это тысяча масс Солнца и масса черной дыры – десять тысяч масс Солнца. Последняя колонка показывает величину ожидаемого эффекта. Видно, что для нескольких пульсаров на уровне семь сигма при должной постановке эксперимента, т.е. мониторинга, такие черные дыры могут быть зарегистрированы.

Слайд 36. Есть ли что-либо похожее на модуляцию, вызываемую эффектом Шапиро, в современных наблюдениях? Здесь можно привести такой пример для пульсара B0525, он не связан с шаровым скоплением. Здесь показаны остаточные модуляции моментов прихода импульсов в зависимости от времени. И если действительно эта модуляция объясняется пролетом массивного тела вблизи луча зрения, то масса такого тела будет порядка триста масс солнца. Лет двадцать назад такие объекты казались очень экзотичными, но поскольку сейчас мы знаем результаты LIGO VIRGO, которые регистрируют слияние черных дыр с массой сто шестьдесят масс солнца, это уже не кажется такой экзотикой.

Слайд 37. Промежуточные выводы. Мы определили статистические свойства стохастического эффекта Шапиро в шаровых скоплениях, автокорреляционные функции, спектральный индекс. Показали принципиальную возможность использования хронометрирования миллисекундных пульсаров в шаровых скоплениях для обнаружения невидимых тел как в галактике, так и в шаровых скоплениях, в том числе и для черных дыр промежуточных масс с массой больше чем десять в четвертой. Ну и возможно, первая потенциальная регистрация такого массивного объекта.

Слайд 38. Теперь я перехожу к влиянию крупномасштабных неоднородностей уже на спектральные характеристики, в данном случае квазаров. Мы рассмотрели пространственные, временные, теперь переходим к спектральным.

Слайд 39. Как я уже говорила, если на луче зрения на квазар у нас находится какой-то резервуар с газом, то вполне возможно мы будем наблюдать в спектрах квазаров линии поглощения или даже системы линий поглощения.

Слайд 40. Цель – это разработка такого способа, который позволил бы нам связать наблюдаемые характеристики этих спектров поглощения квазаров непосредственно с физическими параметрами объектов – поглотителей. Это важно для определения параметров гало, которые содержат мало барионов, и по каким-то причинам звезды там не загорелись. Другими способами мы об этих гало ничего узнать не можем. Были проанализированы три каталога систем поглощения линий металлов и линий лайман-альфа для разных красных

смещений. Важное пояснение. Могут наблюдаться отдельные линии поглощения, а могут наблюдаться системы линий, то есть когда линии очень близко расположены. И в этом случае мы можем считать, что эта система линий образовалась в одном объекте – поглотителе. Например, в спектре квазаров таких систем может быть несколько, и они могут быть разнесены на большие расстояния. В этом случае логично предположить, что каждая система относится к своему поглотителю. Можно назвать это гало или, в случае если линии расположены близко, то это мини гало, например.

Слайд 41. Что у нас получилось? При анализе линий металлов, у которых среднее красное смещение тройка, получилось что средняя вириальная масса такого объекта составляет десять в двенадцатой масс солнца, а его размер порядка сто килопарсек. Это очень похоже на нормальную галактику, что кажется логичным. Потому что металлы образуются там, где звезды, а звезды образуются в галактиках. Совсем другая ситуация с линиями лайман-альфа. Что для больших красных смещений, что для малых красных смещений, вириальная масса объектов оказывается существенно меньше, то есть это несколько на десять в восьмой. Вириальный радиус порядка десятка килопарсек.

Слайд 42. Таким образом, мы имеем указание на существование двух типов объектов с разными свойствами. То есть параметры поглощающих объектов для линий металлов близки к параметрам галактик, а системы с линиями лайман-альфа отличаются от галактических, но по всей видимости они близки к большому числу гало, которые получаются в численных моделях. Вероятно, последние представляют собой значительную популяцию невидимых и малоизлучающих объектов Вселенной, в которых находится основное количество темной материи.

Слайд 43. Заключительная часть. Влияние сильного гравитационного линзирования на наблюдаемые характеристики активных ядер галактик.

Слайд 44. Я остановлюсь на одном конкретном объекте. Это линзированный квазар B0218, у него есть два изображения компактного ядра, протяженный джет и яркие кольца наблюдаются. Нечто похожее наблюдается для PKS1830.

Слайд 45. Чем нам интересен этот объект? У него есть протяженная крупномасштабная струя, которая не линзирована на далеких расстояниях от центра. Этот источник удален от других внегалактических источников. С хорошей точностью измерено временное запаздывание между изображениями компактного ядра. Известны красное смещение источника, красное смещение линзы. Но поскольку линзой является маломассивная спиральная галактика, то понятно, что угловое расстояние между изображениями достаточно мало. Ноль три угловых секунды. Оптические наблюдения в этом случае проблематичны, в ИК у нас нет инструментов с необходимым разрешением, то есть мы точно не знаем относительное положение источника и линзы. Поэтому необходимо

моделирование. Этот источник по всем признакам очень хорош для того, чтобы его использовать для определения постоянной Хаббла. Когда мы только занялись этой проблемой, нам казалось, что мы сейчас промоделируем линзу, которая спиральная галактика, учтем, что она многокомпонентная, и получим с лучшей точностью постоянную Хаббла. Но жизнь расставила все на свои места.

Слайд 46. Вот здесь показаны использованные модели. Там моделировали разные компоненты изотермическим эллипсоидом и так далее. Не буду на этом подробно останавливаться.

Слайд 47. Здесь покажу, что можно получить такие очень яркие дуги. Вот эта линия – это джет, а цветом показано, что с ним происходит в случае линзирования. То есть из прямого он превращается в такие яркие дуги, а цвет соответствует усилению. Красный, желтый – это яркие. Для появления таких ярких дуг нам нужно, чтобы струя пересекала тангенциальную каустику практически по касательной к ее каспам.

Слайд 48. Мы восстановили крупномасштабную структуру этого источника, получили соотношение потоков, расстояние, угол наклона, кольцевую структуру. Но каждый набор параметров нам дал разное значение постоянной Хаббла.

Слайд 49. Здесь это проиллюстрировано.

Слайд 50. Есть вырождение по параметрам. И было предложено введение дополнительного параметра, который позволит ограничить круг моделей, а именно, необходимо близко к ядру источника измерить позиционный угол линзированных изображений.

Слайд 51. Промежуточные выводы. Проведено моделирование изображений релятивистской струи, возникающей в результате гравитационного линзирования на галактиках позднего и раннего типов. Я рассказала только об одном позднем. Получены условия формирования крупномасштабных кольцевых структур, которые наблюдаются для ряда объектов, в том числе и для B0218. Показано, что в этом случае оценки постоянной Хаббла для гравитационно-линзированной системы модельнозависимы. И предложен дополнительный параметр моделирования, позволяющий ограничить круг моделей.

Слайд 52. Что дальше? Планируется к запуску обсерватория “Миллиметрон”. Я напомним, что это криогенная миссия. Нам важно здесь, что поле зрения – шесть на шесть минут. Чувствительность широкополосной фотометрии до десяти микроЯнских в диапазоне длин волн от пятидесяти до четырехсот микрометров.

Слайд 53. Вопрос. Будут ли обнаружены события сильного гравитационного линзирования? У Миллиметрона предполагается, что будет возможность проводить обзоры. Небольшие обзоры небольших площадок. Благодаря высокой чувствительности Миллиметрона такие обзоры можно проводить достаточно быстро. Например, обзор площадки два квадратных градуса можно проводить за семь часов на длине волны семьдесят микрон. И на порядок быстрее на ста пятидесяти – двухсот микронах. Сколько мы можем обнаружить сильно линзированных источников? Если будем проводить обзор двух квадратных градусов, то можем обнаружить до двух тысяч сильно линзированных источников с коэффициентом линзирования больше двойки. Это на порядок больше, чем обнаружил Гершель (Herschel) за все время наблюдений. Здесь показана зависимость числа таких линзированных объектов от потока для разных длин волн наблюдений.

Слайд 54. Где это можно использовать? Сильно линзированные системы можно использовать для разных задач, в том числе для независимого определения постоянной Хаббла. Я не буду останавливаться подробно на этой проблеме, она сейчас у всех на слуху. По всей видимости различается постоянная Хаббла в ранней Вселенной и в поздней Вселенной. Еще в 1964 году был предложен метод измерения постоянной Хаббла, используя наблюдения сильно линзированных квазаров. Это могут быть и линзированные сверхновые. На сегодняшний день по анализу линзированных квазаров получена вот эта красная величина постоянной Хаббла. Она ближе к величинам, полученным для поздней Вселенной, точность определения 2.4 процента. Нужна точность один процент. Для этого нужно проанализировать сорок сильно линзированных систем.

Слайд 55. Таким образом, с введением в строй оптических обзорных миссий, наверное, появятся новые подходящие кандидаты в оптике. Но и Миллиметрон в дальнем ИК и субмиллиметрах при обзорах небольших площадок сможет обнаруживать не только линзированные галактики с большим количеством пыли, которые активно светят в инфракрасном диапазоне и субмиллиметрах, но и также линзированные активные ядра галактик. В обзоре двух квадратных градусов мы ожидаем обнаружить сорок таких объектов.

Слайд 56. Я закончила основную часть доклада. Теперь положения, выносимые на защиту. Я их зачитаю, Игорь Дмитриевич?

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Мы можем посмотреть. Можно не читать. Вот эти два, или у Вас еще?

СОИСКАТЕЛЬ. Нет, еще три слайда. Вот это два..

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Подождите, дайте взглянуть на первые два (положения). Есть пожелание прочесть. Читайте тогда.

СОИСКАТЕЛЬ. Построены карты неба, показывающие, что локальные флуктуации гравитационного поля Галактики ограничивают точность определения координат внегалактических источников на уровне микросекунд – десятков микросекунд дуги в зависимости от направления на небе. Определены основные статистические и спектральные характеристики гравитационного шума, обусловленного такими флуктуациями. Предложена методика проведения эксперимента для регистрации эффекта гравитационного шума, вызываемого неоднородностями гравитационного поля Галактики. Показано, что современные интерферометры могут обнаружить этот эффект на масштабе нескольких лет.

Слайд 57. Определены спектральные характеристики низкочастотного шума хронометрирования миллисекундных пульсаров, вызываемого движением звезд в шаровых скоплениях. Для пульсаров в нескольких шаровых скоплениях рассчитаны вероятность и частота событий релятивистского временного запаздывания моментов прихода импульсов, вызываемых пролетом вблизи луча зрения массивных тел. Предложен способ обнаружения массивных темных объектов, в том числе, черных дыр промежуточных масс, по регистрации запаздывания моментов прихода импульсов миллисекундных пульсаров. Для пульсара PSR B0525+21 обнаружена модуляция временного запаздывания моментов прихода импульсов, предположительно связанная с близким к лучу зрения пролетом массивного темного тела.

Слайд 58. Предложен оригинальный метод анализа наблюдаемого леса линий поглощения Лайман-альфа и линий металлов в спектрах квазаров для определения физических параметров поглощающих объектов. Показано, что эти объекты представляют две разные популяции: с параметрами типичных галактик с массой десять в одиннадцатой – десять в двенадцатой масс солнца и маломассивные темные гало с массой десять в восьмой масс солнца. Показано, что крупномасштабные кольцевые структуры в изображениях активных ядер галактик могут возникать из-за сильного гравитационного линзирования релятивистских струй на галактиках. Предложено использовать угол выхода струи для линзированных изображений на сверхмалых угловых масштабах и скорость движения сгустков струи в качестве дополнительных параметров для независимого определения постоянной Хаббла. Для космической обсерватории «Миллиметр» проведен подсчет ожидаемых сильно линзированных источников, получены их распределения по красным смещениям и коэффициентам усиления. Получена оценка числа гравитационно-линзированных активных ядер галактик, подходящих для определения постоянной Хаббла. Все.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Спасибо. Какие вопросы будут к диссертанту?

ВОПРОСЫ ПОСЛЕ ДОКЛАДА.

ЩЕКИНОВ Ю.А. Можно простой уточняющий вопрос?

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Микрофон, Юрий Андреевич.

ЩЕКИНОВ Ю.А. Все, спасибо. Вопрос такой. Вот Вы говорите о разных линиях поглощения, с разными характеристиками. Там два типа – для массивных гало и для маломассивных гало. Имеются в виду оптически тонкие линии поглощения? На линейной части кривой роста? Правильно? То есть ненасыщенные? Лайман-альфа лес, да? Допплеровский контур.

СОИСКАТЕЛЬ: Да.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Еще вопросы. Пожалуйста, Юрий Юрьевич.

КОВАЛЕВ Ю.Ю. Спасибо. У меня вопрос по положению, выносимому на защиту номер два. По методике проведения эксперимента по регистрации гравитационного шума, вызываемого неоднородностями гравитационного поля галактики. В диссертации обсуждаются эффекты, которые будут мешать или даже усложнять решение этой задачи. И у меня вопрос про эффекты связанные со структурой далеких объектов. Так как эффект очень тонкий, то даже то, что происходит на масштабах субмиллисекунд дуги, взрывные процессы в ядрах галактик, они потенциально могут мешать. Будет интересно услышать подробнее, каким способом вы с этим эффектом сможете побороться для того, чтобы достигнуть необходимой вам точности.

СОИСКАТЕЛЬ. Для этого нужен мониторинг. И нужно использовать те объекты, которые имеют достаточный период наблюдений. Это те опорные источники, которые входят в последнюю реализацию системы отсчета ICRF. Дальше, есть прогнозируемая переменность, а есть неожиданные вспышечные явления. Но, как я понимаю, есть объекты, подверженные достаточно частым вспышкам, а есть объекты более спокойные. И в данном случае нужно выбирать те объекты, которые более спокойные. Но не исключено, что в какой-то момент наблюдений будет вспышка, и она нам все, условно говоря, замажет. Но для этого мы наблюдаем несколько пар источников, чем больше будем наблюдать, тем лучше. Оптимально тридцать пар.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Спасибо. Еще вопросы.

КОВАЛЕВ Ю.А. Игорь Дмитриевич, есть вопрос.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Да, пожалуйста.

КОВАЛЕВ Ю.А. Ковалев Юрий Андреевич. Татьяна Ивановна, Вы показывали источник В0218+357, карту я имею в виду. Правильно ли я понял, что Вы его показывали не просто как источник, в котором можно ожидать линзирование, но как пример конкретного линзированного изображения? И если это так, то нельзя ли показать, где там конкретно линзированное изображение?

СОИСКАТЕЛЬ. Да, это совершенно конкретный источник. На этой картинке лучше всего видно. *(Демонстрируется слайд 44)*. Это два изображения ядра. А вот это дуги, это линзированный джет. А если мы посмотрим сюда, то вот это уже не линзированный джет. А все, что находится в этой области, оно линзировано, то есть это область сильного линзирования.

КОВАЛЕВ Ю.А. А по какому критерию вы это узнаете? Можно понять?

СОИСКАТЕЛЬ. Критерий, что это линзированный или не линзированный?

КОВАЛЕВ Ю.А. Да, да. Вы правильно меня поняли.

СОИСКАТЕЛЬ. Это узнается следующим образом. Это изображения одного и того же источника. Соответственно, кривая блеска для одного и для другого будет подобна. Только будет смещена во времени. Конкретно для данного источника это смещение будет порядка десяти дней. То есть вы берете, сравниваете кривые блеска. Ну и помимо этого красное смещение у них должно быть идентично. То есть первый критерий – это красное смещение. Затем строятся кривые блеска, видно что они идентичны, только смещены.

КОВАЛЕВ Ю.А. Вы здесь это получили? Или это было бы, если бы в соответствующие даты были соответствующие наблюдения?

СОИСКАТЕЛЬ. Нет-нет, наблюдения для этого источника есть, достаточно много. Этот источник хорошо наблюдается, не только в радиодиапазоне, и в жестких лучах он наблюдается. И везде приблизительно видна характерная переменность. И по этой характерной переменности определяют с хорошей точностью временное запаздывание между изображениями. То есть здесь никаких сомнений в том, что это линза, нет.

КОВАЛЕВ Ю.А. Понял, спасибо.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Спасибо! Еще вопросы. Нет. Спасибо. Тогда, пожалуйста, зачитайте нам требуемые отзывы.

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

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Спасибо! Татьяна Ивановна, Вы будете отвечать на замечания или может быть потом сразу на все замечания, которые высказаны в других отзывах?

СОИСКАТЕЛЬ. Я на все замечания отвечу в конце.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Юрий Юрьевич, нам обязательно зачитывать все отзывы, как сейчас?

КОВАЛЕВ Ю.Ю. Отзывы ведущей организации, организации, где выполнена работа, зачитываются полностью. Другие отзывы (на авторефераты) в соответствии с Вашим решением. Вы можете попросить ученого секретаря суммировать все отзывы.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Просто много повторений.

КОВАЛЕВ Ю.Ю. Давайте тогда так, коллеги. Мы в нашем диссовете всегда просим секретаря зачитать все негативные отзывы, если они были.

КОВАЛЕВ Ю.А. Положение гласит, что при наличии большого количества отзывов по решению диссовета можно читать их обзор, но при этом обязательно зачитывать целиком отрицательные замечания.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Спасибо.

СЕКРЕТАРЬ. *(Зачитывает Отзыв ведущей организации (ИНАСАН). Отзыв положительный, прилагается. В ходе оглашения Отзыва ведущей организации был сделан технический перерыв на восстановление связи с одним из членов диссовета, присутствующем на заседании удаленно.)*

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Объявляется технический перерыв (10 минут). *(Во время перерыва была восстановлена связь с одним из присутствующих удаленно членов диссовета.)*

СЕКРЕТАРЬ. *(Продолжает оглашать Отзыв ведущей организации с места, на котором был сделан технический перерыв.)*

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Спасибо.

СЕКРЕТАРЬ. Помимо отзыва ведущей организации поступило два дополнительных отзыва на автореферат.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Пожалуйста, сформулируйте содержание коротко и если есть замечания какие-то.

СЕКРЕТАРЬ. *(Оглашает краткое содержание двух дополнительных отзывов на автореферат. Оба отзыва положительные. Прилагаются.)*

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Переходим к отзывам оппонентов. Пожалуйста, Геннадий Семенович.

БИСНОВАТЫЙ-КОГАН Г.С. *(Официальный оппонент, выступает. Отзыв положительный, прилагается.)*

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Спасибо. Долгов отсутствует (по уважительной причине). Пожалуйста, зачитайте полностью отзыв.

СЕКРЕТАРЬ. *(Зачитывает отзыв официального оппонента Долгова А.А. Отзыв положительный. Прилагается.)*

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Спасибо. Анатолий Михайлович, пожалуйста.

ЧЕРЕПАЩУК А.М. *(Официальный оппонент, выступает. Отзыв положительный, прилагается.)*

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Вопросы? Если нет вопросов, Татьяна Ивановна, пожалуйста, отвечайте оппонентам.

ОТВЕТЫ СОИСКАТЕЛЯ НА ЗАМЕЧАНИЯ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ И ОФИЦИАЛЬНЫХ ОППОНЕНТОВ.

СОИСКАТЕЛЬ. Я постараюсь кратко напоминать, о чем были вопросы. Начну с ведущей организации. *(Во время ответа соискателя для удобства всех присутствующих на заседании как удаленно, так и очно, на экране демонстрируется текст отзывов в части замечаний.)*

– Вопрос был, что сделает Джеймс Вебб (*прим.* телескоп) в тех космологических задачах, которые обсуждались в диссертации, и является ли Джеймс Вебб конкурентом Миллиметрону.

Ответ: Мы все знаем, что Миллиметрон и Джеймс Вебб работают в разных диапазонах длин волн, поэтому те результаты, которые будут получены, будут взаимно дополняющими. Для изучения галактик на больших красных смещениях необходимы наблюдения во всех доступных диапазонах длин волн. На телескопе Хаббл большая программа по обнаружению ранних галактик, в основном это предполагается делать в ультрафиолетовом диапазоне. Предполагается, что будут работать приборы в среднем инфракрасном и ближнем инфракрасном, то есть они дадут некую информацию о состоянии пыли в далеких галактиках. Тем не менее, до самых далеких галактик

дотянуться они не смогут. Здесь все надежды на Миллиметрон. Второй аспект, что Джеймс Вебб не сможет, за исключением небольшого диапазона, связанного со средним ИК, наблюдать источники, которые закрыты пылью. Здесь тоже преимущество у Миллиметрона. И еще важный аспект. Миллиметрон способен будет делать обзоры. А телескоп Джеймса Вебба будет смотреть долго в определенные места, т.е. это не обзорная миссия. Хотя, Миллиметрон тоже не обзорная миссия, но как я уже показывала, наблюдения одного квадратного градуса позволят нам наблюдать значительное количество сильно линзированных объектов, а усиление позволит нам наблюдать и далекие объекты.

– Следующий вопрос, что в шестой главе отсутствует описание процедуры анализа наблюдательных данных.

Ответ. Действительно, в этой главе основное внимание было уделено основному результату и его возможной интерпретации. Описание анализа данных было приведено в виде ссылок на соответствующие стандартные пакеты и процедуры обработки. Судя по тому, что это замечание встречается дважды, в том числе и в отзыве на автореферат Валерия Сулейманова, то наверное стоило бы описать это более детально.

– Следующий вопрос касался поведения моментов прихода импульсов пульсаров, схожее с поведением для B0525. Просьба была обсудить этот вопрос.

Ответ. Действительно, программы наблюдений сейчас включают мониторинг большого количества пульсаров, по результатам которого наблюдается значительное разнообразие модуляций остаточных уклонений моментов прихода импульсов, в том числе там можно найти и похожие на характер модуляций пульсара B0525. Некоторые примеры приведены в диссертации, но возможно, стоило больше внимания уделить сравнительному анализу.

– Вопрос про таблицу 7.1. Спрашивается, на каком уровне статистической значимости приведены ошибки для вычисленных значений.

Ответ: Ошибки приведены на уровне 90%.

Теперь вопросы Александра Дмитриевича Долгова (официального оппонента).

– почему при эффекте дрожания основное внимание уделено звездам, которые находятся в нашей галактике, и при этом ничего не говорится о звездах хозяйской галактики.

Ответ: если мы рассматриваем обычное фотометрическое линзирование, то вероятность событий выше, когда линза находится приблизительно посередине между источником и наблюдателем. В случае астрометрического микролинзирования ситуация противоположная. Т.е. вероятность существенно выше, когда линза находится вблизи наблюдателя. Что и было сделано. А это звезды нашей галактики.

– Вопрос два. Об учете флуктуаций от гравитационных волн, которые возникают при слиянии черных дыр. Что этот эффект, возможно, следует учитывать при постановке эксперимента.

Ответ: Это очень важный и интересный вопрос. Действительно, из общих соображений понятно, что гравитационная волна, распространяясь, будет дергать как галактические, так и внегалактические источники. Вопрос влияния стохастического фона гравитационных волн, которые возникают при слиянии черных дыр, обсуждается достаточно давно в литературе. Об этом уже шла речь в докладе. Приблизительные оценки этого влияния на пространственные положения источников были сделаны, например, Дэвидом Зипой. И показано было, что величина смещения – несколько микросекунд дуги. Похожие оценки были сделаны в работе Александра Васильевича Тутукова, когда он рассматривал конечную эволюцию двойных звезд. Этот вопрос заслуживает отдельного внимательного рассмотрения. Но можно использовать оценки, что это будет где-то на уровне микросекунды. Это верхняя оценка, может быть и меньше.

– Теперь вопрос про большое количество пульсаров, которые мониторятся телескопами. Наверняка среди них есть пульсары в шаровых звездных скоплениях. Анализировались ли такие данные на предмет поиска уклонений моментов прихода импульсов, связанных с гравитационным влиянием черной дыры в центре шарового скопления?

Ответ: Систематический мониторинг таких пульсаров только начинается, уже запущены или вскоре начнут реализовываться такие программы на новых установках типа FAST и MeerKAT.

– Следующий вопрос. В диссертации только вскользь упомянута программа мониторинга пульсаров с целью обнаружения характерного шума хронометрирования, обусловленного слиянием сверхмассивных черных дыр.

Ответ: В диссертации такая программа упомянута, но непосредственно к задачам диссертации эта проблема прямого отношения не имеет. Поэтому она была только упомянута в качестве примера по регистрации низкочастотных шумов.

– Заключительный вопрос оппонента. Есть ли еще подобные системы, как B0218? И нельзя ли сравнить с результатом моделирования этой системы и возможных других?

Ответ: Есть несколько похожих систем, в которых наблюдаются кольцеобразные структуры, например PKS1830. Но для того, чтобы все четко моделировать, надо знать много параметров. Для PKS1830, например, не наблюдается нелинзированный крупномасштабный джет. Для него непонятно, одна там галактика на луче зрения или две. В общем, много вопросов, которые затрудняют моделирование. Поэтому такой сравнительный анализ в диссертации не был сделан ввиду недостаточной информации о параметрах системы.

Теперь замечания Анатолия Михайловича Черепашука (официального оппонента).

– По поводу максвелловского распределения и использования эллипсоида скоростей.

Ответ: Я полностью согласна с этим замечанием. Понятно, что максвелловское распределение характерно для полностью прорелаксировавших систем. Мы использовали в первой главе диссертации максвелловское распределение с конкретными данными полной дисперсии, для того, чтобы просто упростить свою задачу. Когда мы моделировали эксперимент, мы учитывали не только эффекты, которые могут влиять на положения и смещения координат, но мы также рассчитывали неопределенности наших моделей, т.е. насколько мы ошибаемся. Мы рассмотрели, что дисперсии разные в разных направлениях и посмотрели, какая будет ошибка от этого эффекта в наших расчетах. Она составила порядка пяти процентов. Что касается регулярных скоростей, то здесь Вы совершенно правы. Это очень сложная задача, задача на будущее.

– Замечание по поводу учета микролинзирования.

Ответ: я целиком и полностью согласна, спасибо за идею о том, что это нужно использовать в наших дальнейших вычислениях, в том числе моделировании событий микролинзирования. Это будет следующий этап.

С мелкими опечатками я согласна. Еще замечание по поводу ссылки на монографию. Я его опускаю.

Теперь замечания Геннадия Семеновича (Бисноватого-Когана, официального оппонента).

– По поводу учета стохастического фона гравитационных волн.

Ответ: На этот вопрос я уже ответила. Это был очень популярный вопрос, у меня все время про него спрашивают. Это понятно, потому что это связано с результатами LIGO-VIRGO. Все понимают, что такой фон есть и нужно уметь его учитывать.

– Вопрос про флуктуации часов измерителя.

Ответ: Понятно, что флуктуации гравитационного поля влияют не только на излучение, но и также на приборы, которые принимают это излучение. Я с этим целиком и полностью согласна. Влияние на ход часов в наземных и космических экспериментах связано со всевозможными внешними факторами, но основное влияние оказывает солнечная система и тела солнечной системы. В пульсарном тайминге это хорошо умеют учитывать, а все, что касается влияния более далеких объектов, таких как звезды, или гравитационные волны от сливающихся черных дыр, то эти эффекты малы по сравнению с влиянием объектов солнечной системы.

– С третьим замечанием я полностью согласна. Это даже не замечание, а пояснение к тому, что было получено.

– Теперь по поводу квадратичного эффекта Допплера.

Ответ: Когда анализируются моменты прихода импульсов, то анализируются все возможные эффекты, связанные как с орбитальными движениями, так и с эффектами пролета близких тел. Квадратичный эффект Допплера порядка v^2/c^2 будет влиять на фазу, на частоту пульсара. Все эти эффекты хорошо известны в тайминге пульсаров и могут быть хорошо промоделированы. Форма их известна. Они представляют собой некую подложку. Что касается рассмотренного эффекта Шапиро, то он имеет очень характерную форму, он будет выглядеть просто как пик на этой подложке, поэтому эффект Шапиро при достаточной точности легко выделить.

– На вопрос про описание алгоритмов я уже отвечала, что нужно было его включить, я согласна. Про кружки я тоже согласна. Вот, собственно все.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Спасибо. Открываем общую дискуссию. Кто хотел бы выступить или задать вопрос? Есть желающие?

ОБЩАЯ ДИСКУССИЯ.

ЛУКАШ В.Н. Я, наверное, не услышал. Отвечая на вопрос Бисноватого, Вы сказали, что гравитационные волны важны. В какой степени они важны? Если они меньше, чем гравитационные волны от источников, то в какой степени они меньше?

СОИСКАТЕЛЬ. По оценкам, которые есть сейчас, их влияние на порядок меньше.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Спасибо. Еще вопросы. Желающие выступить? Нет больше? Пожалуйста, Юрий Андреевич.

ЩЕКИНОВ Ю.А. У меня скорее высказывание. Я поделюсь впечатлением. Мне кажется, что та работа, которую представила Татьяна Ивановна, это работа, которая выполнена в нужное время и в нужном месте. По поводу нужного времени, понятно, что в связи с явно возросшим запросом астрофизики, успехи прецизионной астрометрии в каком-то смысле революционные. Достаточно сравнить результаты тридцатилетней давности Hipparcos и последние результаты Gaia. И в этом смысле, то, что представила здесь Татьяна Ивановна, те методы и аспекты, которые она освещала, они будут работать на следующем этапе повышения точности в астрометрии. Особенно это связано с гравитационно-волновой астрономией и с релятивистскими объектами. В том

числе и такие аспекты, как тайминг массивов пульсаров для низкочастотной гравитационно-волновой астрономии, где частоты на уровне наногерц. Те аспекты, которые составляют основные положения диссертации, они явно будут работать и будут востребованы. Эта задача связана с ключевыми задачами Миллиметра, который разрабатывается здесь в АКЦ. Задачи, связанные как с космологическими проблемами, так и с высоким разрешением, требуемым для исследования окрестностей черных дыр, в частности черной дыры в центре галактики. В направлении на центр Галактики количество возмущающих источников велико, они дают эффект микролинзирования и будут влиять на исследования этого источника (эффект дрожания изображения). Результаты диссертации – это выделение направления, связанного с линзированием на всех масштабах, это явно новое направление в астрофизических исследованиях, связанных с прецизионной астрометрией. Спасибо.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Кто еще хочет выступить?

КОВАЛЕВ Ю.Ю. Я продолжу слова Юрия Андреевича, однако в другом направлении. Что касается улучшения астрометрических результатов мире. То с этим у нас все очень хорошо и мы об этом великолепно знаем. Но в сообществе, которое занимается высокоточной астрометрией с использованием радиометодов в последние годы я наблюдаю некую стагнацию, связанную с тем, что не совсем понятно, зачем это делать. Потому что достигнутые точности на уровне одной десятой миллисекунды дуги – это хорошо, а вот куда двигаться дальше? Все развитие сфокусировано главным образом на задачах геофизики, а не на высокоточной астрометрии. В этом смысле результаты, которые были сегодня продемонстрированы, они фактически льют воду на мельницу того, что у высокоточной радиоастрометрии есть очень серьезное будущее, связанное с принципиально новыми задачами, например, по гравитационному шуму Галактики. И для их решения людям, которые этим занимаются, необходимо приложить несравнимо больше усилий, чем сейчас. Нам нужно увеличить точность на порядок, какие бы эксперименты ни проводились, по абсолютной астрометрии или по относительной астрометрии, о которой сегодня рассказывалось. Потому что учет эффектов, связанных со свойствами самих объектов, необходим для того, чтобы решить те задачи, о которых сегодня было сказано. Есть большая надежда на то, что это собственно и приведет к тому, что сообщество, занимающееся высокоточной радиоастрометрией наконец-то сделает прорыв. Это новая цель, связанная с задачами по гравитации. Она действительно очень важна. По самой диссертации – я конечно ее поддерживаю и призываю диссертационный совет голосовать за. Спасибо!

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Спасибо. Еще желающие? Нет больше. Тогда мы закрываем общую дискуссию и приступаем к заключительной части. Пожалуйста, Татьяна Ивановна, заключительное слово.

СОИСКАТЕЛЬ. Я благодарна своим замечательным коллегам, благодаря которым и состоялась эта диссертация. Без обсуждения и полезных замечаний, наверное, ее бы и не было. Во всяком случае, в том виде, в котором она написана сегодня. Огромная благодарность моим старшим коллегам Игорю Дмитриевичу Новикову, Андрею Георгиевичу Дорошкевичу, Владимиру Николаевичу Лукашу, Сергею Федоровичу Лихачеву. Огромное спасибо представителям ведущей организации и оппонентам, которые нашли время и потратили свои усилия, чтобы ознакомиться с диссертацией. Спасибо всем присутствующим за интересные вопросы, приятные комментарии. Спасибо!

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Спасибо! У нас предстоит открытое голосование, нам не нужна комиссия. Приступаем к голосованию. Мы сейчас проголосуем кто за, кто против, кто воздержался. (*Секретарю*) Мы попросим Вас подсчитать голоса и здесь, и онлайн. И подытожим нашу работу. Приступаем к голосованию. Кто за то, чтобы присудить соискателю искомую степень. Прошу голосовать поднятием руки.

Все присутствующие голосуют поднятием руки. Секретарь производит подсчет голосов “за”.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Кто против? Нет. Кто воздержался? Нет. Тогда просим объявить результаты голосования.

СЕКРЕТАРЬ. Результаты голосования: ЗА – восемнадцать членов диссертационного совета. ПРОТИВ – ноль. ВОЗДЕРЖАВШИХСЯ – ноль. Единогласно ЗА.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Кто за то, чтобы утвердить результаты голосования?

Все присутствующие голосуют поднятием руки.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Единогласно, как я понимаю. Есть против? Нет. Воздержавшихся тоже нет. Тогда результаты голосования утверждаются и теперь давайте поздравим.

Аплодисменты.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Теперь мы переходим к заключению. Нам нужно принять заключение диссовета по диссертации. Все посмотрели заключение? Есть ли замечания?

КОВАЛЕВ Ю.Ю. У меня есть некоторые правки, я отдам секретарю.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Спасибо. Еще какие-нибудь замечания есть? Тогда нам предстоит утвердить заключение диссовета по диссертации. Кто за то, чтобы утвердить это заключение?

Все голосуют поднятием руки.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ. Подсчитали? Кто против? Нет. Воздержались? Нет. *Единогласно.* Тогда утверждаем. На этом защиту закрываем.

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

И.Д. Новиков

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат физико-математических наук

Н.Н. Шахворостова

9 июня 2021 года.