

ОТЗЫВ

о диссертационной работе

Т.И.Ларченковой "Влияние неоднородностей гравитационных полей на наблюдаемые характеристики астрономических объектов",
представленной на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук.

Диссертация Т.И.Ларченковой посвящена актуальной проблеме. В последние годы, в связи с совершенствованием технологий астрономических наблюдений, точности измерений стали так высоки, что классические методы позиционных и частотных наблюдений уже требуют обобщения с учетом релятивистских эффектов. Успешная работа космических миссий Радиоастрон и Гайя позволила реализовать на практике определение положений небесных тел на микросекундном уровне точности. Опыт, накопленный в этих экспериментах, позволяет надеяться на успешную реализацию нового российского космического проекта "Миллиметрон", где ожидается еще более высокое угловое разрешение. Поэтому анализ искажений наблюдаемых пространственных, временных и спектральных характеристик излучения астрономических объектов с учетом переменности и неоднородности гравитационных полей Галактики, выполненный в диссертации Т.И.Ларченковой, представляет большой теоретический и практический интерес.

Диссертация состоит из Введения, десяти глав, Заключения и списка цитируемой литературы, 365 наименований.

В первой части диссертации, включающей две главы, проанализировано влияние локальных случайных неоднородностей гравитационного поля Галактики, обусловленных движением звезд и звездообразных объектов, на точность определения положений внегалактических источников, к которым привязываются современные астрометрические каталоги системы ICRF. При этом рассматривается коллективное влияние "далеких", по сравнению с радиусом Эйнштейна-Хвольсона, пролетов звезд на видимое положение внегалактического источника. Для вычисления математического ожидания искомого положения внегалактического источника, его среднеквадратичного отклонения и автокорреляционной функции используются формулы для гравитационного линзирования света источника, а также задаются распределения отклоняющих тел по массам и по скоростям. Также задается пространственное распределение отклоняющих тел в Галактике.

Для разных моделей распределения плотности вещества в Галактике построены карты распределения среднеквадратичной амплитуды "дрожания" внегалактических источников, которые составили от нескольких десятков угловых микросекунд в центральных частях Галактики до 4-6 микросекунд дуги на высоких галактических широтах. На основе исследования свойств автокорреляционной функции получена зависимость величины дрожания от времени наблюдений.

Проведено моделирование эксперимента по регистрации эффекта "дрожаний" координат внегалактических источников. Разработана соответствующая стратегия наблюдений. Результаты моделирования показали, что современные радиоинтерферометры могут обнаружить эффект "дрожания" на временном масштабе в

несколько лет. Этот результат представляет большой интерес для планирования будущих радиоинтерферометрических наблюдений и для оценки предельной точности таких наблюдений.

Вторая часть диссертации содержит четыре главы и посвящена учету влияния на хронометрирование пульсаров локальных неоднородностей гравитационного поля Галактики и шаровых звездных скоплений.

Получена формула для стохастического эффекта Шапиро для пульсара, находящегося в шаровом скоплении. Показано, что влияние этого эффекта проявляется в основном как низкочастотный шум в наблюдаемой частоте вращения пульсара со спектральным индексом -1.8 . Предложено использовать наблюдения релятивистской временной задержки Шапиро в пульсарах для обнаружения невидимых компактных объектов как в шаровых скоплениях, так и в Галактике. Этот метод также предложено использовать для изучения распределения объектов в шаровых скоплениях и различных компонентах населения Галактики. На примере трех скоплений (M15, 47Tuc, Terzan5) изучены частоты соответствующих событий и их ожидаемое число для пятилетнего цикла наблюдений. Также изучена возможность регистрации черных дыр промежуточных масс в шаровых скоплениях методом хронометрирования времен прихода импульсов известных миллисекундных пульсаров в шаровых скоплениях. Выполнен анализ результатов долговременного хронометрирования конкретного пульсара (B0525+21). По остаточным отклонениям получена оценка массы возможного переднего возмущающего объекта $(330 \pm 50)M_{\odot}$. Рассмотрены и другие модели, объясняющие наблюдаемые аномалии в результатах хронометрирования этого пульсара (глитч, наличие компаньона на сильно эллиптической орбите и т.п.). Отмечается, что точные РСДБ – измерения положения пульсара могли бы устранить эту неоднозначность в интерпретации.

В третьей части диссертации исследовано влияние крупномасштабных неоднородностей (поглощающих облаков газа) на спектральные характеристики квазаров и далеких галактик. Выполнен анализ трех каталогов систем линий поглощения металлов и Лайман-альфа. Метод анализа спектров поглощения квазаров и далеких квазаров, развитый диссертанткой, позволил связать наблюдаемые характеристики спектров поглощения (доплер-параметр линий, лучевая концентрация частиц газа, разность красных смещений соседних линий поглощения) с физическими параметрами поглощающих облаков – массой, размером и средней плотностью. Получены свидетельства того, что регистрируемые системы линий поглощения относятся к двум различным типам объектов.

В четвертой части, включающей три главы, изучено влияние сильного гравитационного линзирования на наблюдаемые свойства активных ядер галактик с релятивистскими джетами. При этом в качестве передних галактик – линз, находящихся на луче зрения, берутся галактики разных типов с различными распределениями поверхностной плотности вещества. С учетом эффектов сильного гравитационного линзирования с использованием различных моделей распределения вещества в галактике – гравитационной линзе (модель сингулярного изотермического эллипсоида, модель изотермического эллипсоида с ядром, модели, учитывающие галактический диск, гало и балдж) построены изображения релятивистских джетов линзируемых галактик. Проведя многочисленные расчеты таких изображений для различных наборов параметров джетов и

галактик-линз, диссертантка показала, что некоторые из наблюдаемых в радиодиапазоне кольцевых структур могут возникать в результате линзирования джета далекой галактики передней спиральной галактикой, расположенной на луче зрения. При этом, из-за усиления яркости при линзировании появляется более благоприятная возможность наблюдать кольцевую структуру, соответствующую контрджету. Отмечена важность таких результатов для независимого определения постоянной Хаббла.

Разнообразные варианты моделирования апробированы на примере конкретной наблюдаемой гравитационно-линзовой системы B0218+357.

В связи с перспективой реализации космического эксперимента "Миллиметр" диссертантка выполнила важную подготовительную работу по формированию будущих программ наблюдений в ИК и субмиллиметровом диапазонах. Оказалось, что в результате реализации программы наблюдений событий сильного гравитационного линзирования в рамках научной программы проекта "Миллиметр" можно будет обнаружить около 1000 гравитационно-линзированных систем при наблюдении площадки на небе размером всего в один квадратный градус. Это позволит проводить массовые независимые определения постоянной Хаббла, изучать свойства наиболее далеких галактик с активным звездообразованием, обнаружить и исследовать самые первые галактики (Лайман-альфа эмиттеры), излучение которых будет усилено эффектами гравитационного линзирования передними галактиками и скоплениями галактик.

Все изложенное свидетельствует о том, что диссертанткой проделана большая и важная работа в актуальной области астрофизики. Актуальность работы не вызывает сомнений, в частности, ввиду необходимости детальной проработки предстоящего российского космического эксперимента "Миллиметр", научным руководителем которого длительное время был академик Н.С.Кардашев.

Научная новизна и достоверность полученных в диссертации результатов гарантируется оригинальными теоретическими выкладками, детальным компьютерным моделированием и результатами сравнения полученных результатов с наблюдениями. Ряд теоретических предсказаний диссертантки обогатил научную программу исследований проекта "Миллиметр". Научная и практическая значимость результатов диссертации обеспечивается тем, что эти результаты могут быть использованы при постановке задач и при анализе данных, полученных как на существующих наблюдательных инструментах, так и в будущих космических и наземных экспериментах.

Диссертантка выносит на защиту семь важных научных результатов, которые опубликованы в 10 статьях в рецензируемых журналах, в том числе, в журналах первого квартиля. При этом диссертантка четко оговаривает свой вклад в совместные публикации, который в большинстве случаев является определяющим.

Оценивая работу в целом, можно заключить, что диссертационная работа Т.И.Ларченковой является законченным исследованием в актуальной области астрофизики, выполненным на высоком научном уровне.

Можно сделать ряд критических замечаний по диссертации.

1) При расчете эффекта "дрожания" положений квазаров и далеких галактик диссертантка считает распределение скоростей звезд Галактики изотропным, с разной дисперсией

скоростей для разных типов населения Галактики. Известно, однако, что максвелловское распределение пекулярных скоростей звезд в Галактике неизотропно и характеризуется тремя дисперсиями (в Галактике реализуется "эллипсоид скоростей"). Различие дисперсий скоростей вдоль главной и вторичной осей этого эллипсоида скоростей достигает двух раз. Кроме того, звезды галактического диска движутся с регулярными орбитальными скоростями ~~в~~ ^округ центра Галактики со скоростями, достигающими сотен км/с. Таким образом, реальное поле скоростей звезд Галактики очень неоднородно и неизотропно. Диссертантке следовало бы обсудить этот вопрос.

2) В диссертации подробно обсуждаются эффекты гравитационного линзирования ядер активных галактик и джетов передними галактиками и скоплениями галактик, но ничего не говорится о возможности наблюдений эффектов гравитационного микролинзирования ядер активных галактик отдельными звездами передней галактики – линзы. Эффекты микролинзирования могут приводить к значительной переменной излучения ядра далекой галактики на характерных временах в месяцы и годы. Изучение таких кривых микролинзирования позволяет восстановить пространственную структуру ядра галактики на масштабах в микросекунды дуги. Ввиду того, что, как следует из результатов диссертации, число линзированных систем в программе "Миллиметрон" будет составлять тысячи на квадратный градус, наблюдения и исследования эффектов микролинзирования представляются весьма перспективными.

3) Имеются мелкие опечатки и стилистические погрешности. Например, на стр. 22 в выражении для дисперсии стоит не вектор X_a , а компонента вектора x_a , на стр. 184 сказано: "...в диапазоне частот 70-250 мкм" и т.п.

4) В диссертации нет ссылки на монографию А.Ф.Захарова, посвященной гравитационному линзированию.

Сделанные замечания не влияют на общую высокую оценку диссертационной работы, которая удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физ.-мат. наук. Автореферат диссертации соответствует содержанию диссертации и опубликованным статьям.

Диссертантка Т.И.Ларченкова заслуживает присуждения ей ученой степени доктора физ.-мат. наук.

Официальный оппонент,
научный руководитель ГАИШ МГУ,
академик РАН

А.М.Черепашук

Подпись А.М.Черепашука заверяю:
Начальник отдела канцелярии ГАИШ

Л.Н.Новикова

26.04.21 г.