

ОТЗЫВ

официального оппонента Долгова Александра Дмитриевича, заведующего лабораторией космологии и элементарных частиц Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» на диссертационную работу Ларченковой Татьяны Ивановны на соискание учёной степени «доктора физико-математических наук» по специальности «01.03.02 – астрофизика и звёздная астрономия» (отрасль наук: «физико-математические») на тему «Влияние неоднородностей гравитационных полей на наблюдаемые характеристики астрономических объектов»

Диссертация Т.И.Ларченковой посвящена изучению и использованию эффектов, возникающих при распространении излучения далеких космических источников в гравитационных полях, создаваемых небесными массивными объектами, движущимися вблизи луча зрения или расположенными вдоль луча зрения.

В диссертации Т.И.Ларченковой рассмотрен круг проблем, связанных с влиянием неоднородностей гравитационных полей, вызываемых расположенными вблизи луча зрения или непосредственно на луче зрения массивными объектами, на регистрируемые характеристики далеких космических источников. Такое влияние приводит к изменению пространственных, временных и спектральных характеристик исследуемых источников, тем самым, искажая информацию об их свойствах. Корректный учет обсуждаемых искажений оказывается критически важным при восстановлении первоначальной информации и определении истинных параметров исследуемых источников. В то же время, вносимые искажения содержат информацию о самих искажающих объектах, и зачастую, эта информация оказывается единственной, доступной наблюдателю при изучении их физических свойств. Эта информация может оказаться тем более ценной, что эти объекты могут проявлять себя только посредством гравитационного взаимодействия, слабо излучая или вообще не излучая в электромагнитном диапазоне. Таким образом, тема диссертационной работы является весьма актуальной, особенно принимая во внимание уже реализуемые точности измерений приборами современных телескопов и обсерваторий, а также ожидаемое их значительное улучшение в создаваемых и планируемых инструментах.

Диссертация состоит из введения, десяти глав, объединенных в четыре части, заключения и списка используемой литературы. Во введении обоснована актуальность проводимого исследования, сформулированы цели работы, научная новизна, практическая значимость и достоверность, перечислены основные результаты, выносимые на защиту, указан личный вклад автора и апробация полученных результатов.

В первой главе проведены аналитические расчеты для угла отклонения светового луча внегалактического источника в гравитационном поле случайно движущихся массивных объектов Галактики в зависимости от небесных координат источника. Показано, что случайные пролеты галактических объектов вблизи луча зрения и связанные с этим локальные неоднородности гравитационного поля будут приводить к возникновению эффекта «дрожания» координат внегалактических источников. При этом величина эффекта естественным образом зависит от количества объектов вблизи луча зрения, увеличиваясь от нескольких микросекунд дуги на высоких широтах до нескольких десятков микросекунд дуги в направлении на внутренние области (центральные) Галактики. В результате

проведенных расчетов, для разных моделей распределения плотности вещества в Галактике построены двумерные карты распределения среднего квадратичного отклонения угла смещения положения далеких источников, включая опорные источники международной небесной системы отсчета (ICRF), относительно их истинного положения.

Существенные величины эффекта дрожания координат внегалактических источников, ожидаемые в направлении на центральные области Галактики и сравнимые с точностями измерений современных интерферометрических радиоинструментов, ставят необходимость рассмотрения вопроса о регистрации этого эффекта, что и рассматривается во второй главе диссертации. Предложена оригинальная методика эксперимента, основанного на дифференциальных интерферометрических наблюдениях двух выборок пар внегалактических источников – целевой и контрольной. Автором проведено скрупулезное моделирование эксперимента с учетом возможных неточностей априорного знания строения Галактики, функции масс ее различных компонент и распределения объектов по скоростям, разработана стратегия проведения наблюдений, позволяющая минимизировать другие возможные эффекты, влияющие на наблюдаемое положение источников. В частности, одним из ключевых элементов такой стратегии является проведение одновременных наблюдений, по крайней мере, на двух частотах. В результате проведенных расчетов и моделирования показана принципиальная «измеряемость» эффекта дрожания координат внегалактических источников, в частности современные интерферометры могут обнаружить этот эффект на масштабе нескольких лет.

Во второй части диссертации, состоящей из четырех глав, рассматривается влияние звездного населения Галактики, и в частности шаровых звездных скоплений, на временные характеристики периодического излучения радиопульсаров – источников, для которых характерна высокая стабильность когерентного излучения. Важно отметить, что близкие к лучу зрения пролеты звезд могут оказывать на регистрируемый от пульсаров сигнал как индивидуальное, так и коллективное влияние. Последний эффект рассматривается в третьей главе диссертации в виде стохастического эффекта Шапиро, обусловленного релятивистским запаздыванием времени распространения сигнала пульсара в искривленном пространстве-времени случайно распределенных и движущихся звезд шарового скопления. Наблюдения этих объектов показывают наличие низкочастотной модуляции фазы и частоты их собственного вращения, для объяснения которой в диссертации и предлагается использовать стохастический эффект Шапиро. В диссертации получена формула для этого эффекта, вычислена автокорреляционная функция низкочастотного пульсарного шума и наклон его спектра мощности.

В четвертой и пятой главах предложено использовать наблюдения единичных случаев релятивистской временной задержки излучения пульсаров (эффекта Шапиро), расположенных в шаровых звездных скоплениях, в гравитационном поле массивного тела, для обнаружения невидимых компактных объектов и их идентификации, а также для изучения распределения как видимого, так и невидимого вещества в шаровых скоплениях и в самой Галактике. Такие пролеты вызывают долговременную модуляцию с амплитудой, которая может быть зарегистрирована на уровне точности современных высокоточных инструментов. В частности, в четвертой главе, для трех звездных скоплений (M15, 47Tuc, Ter5), наиболее «богатых» радиопульсарами, рассчитаны вероятности событий, связанных с близкими к лучу зрения пролетами звезд скопления и самой Галактики, получены оценки на частоту таких событий и их количество. Показано, что при организации мониторинговых наблюдений нескольких десятков пульсаров, находящихся в этих трех

скоплениях, на масштабе пяти лет возможно зарегистрировать 2-3 события, связанных с эффектом Шапиро.

В пятой главе предложена оригинальная идея использования высокоточных временных наблюдений пульсаров в шаровых скоплениях для независимого поиска и оценки масс черных дыр промежуточных масс, которые предположительно могут находиться в центрах шаровых скоплений. На основании расчетов, проведенных в предыдущей главе, показано, что при современной точности временных измерений, наблюдения известных пульсаров могут помочь обнаружить объекты с массами около десяти тысяч масс Солнца. Улучшение точности инструментов, а также обнаружение пульсаров на меньших угловых расстояниях от центров шаровых скоплений, может сделать предложенный метод более чувствительным и способным обнаруживать объекты с существенно меньшими массами.

Интересный пример использования рассмотренного в предыдущей главе метода описан в шестой главе. Анализ данных долговременного хронометрирования пульсара B0525+21, расположенного недалеко от антицентра нашей Галактики и вне шарового скопления, позволило выявить значительную модуляцию остаточных уклонений моментов прихода его импульсов. Одним из возможных объяснений результатов наблюдений, предложенных в диссертации, является близкий к лучу зрения на пульсар пролет массивного тела, с массой более трехсот масс Солнца. Это чрезвычайно интересный результат, показывающий потенциальную работоспособность предложенного метода поиска невидимых массивных тел. Вместе с тем, необходимо отметить, что в главе также приведены и альтернативные возможности объяснения наблюдаемого эффекта.

Третья часть, седьмая глава, посвящена проблеме использования наблюдаемых систем линий поглощения металлов и леса линий поглощения Лайман-альфа в спектрах далеких квазаров для оценки физических параметров поглощающих объектов. Надо отметить, что эти объекты плохо изучены из-за сложности их непосредственной регистрации. Предложенный в диссертации оригинальный метод анализа позволил получить приближенные оценки вириальной массы, размера и средней плотности поглощающих объектов. Несмотря на значительные ошибки в определении обсуждаемых параметров, получено свидетельство того, что системы линий поглощения металлов и леса линий Лайман-альфа относятся к двум типам объектов с разными свойствами. Первый тип - объекты с системами линий металлов имеют физические параметры, близкие к параметрам галактик. Второй тип объектов, содержащих только водород, значительно отличается от первого на несколько порядков меньшей массой и меньшими размерами. При этом параметры этих объектов близки к параметрам темных маломассивных гало, которые в значительном количестве образуются при численном моделировании. Дальнейшее увеличение статистики покажет, насколько предложенный метод эффективен для исследования свойств поглощающих объектов, основную массу которых составляет темная материя, при этом в них содержится незначительное количество барионов и практически нет звезд.

В четвертой части рассмотрен эффект сильного гравитационного линзирования активных ядер галактик с протяженными струйными выбросами на галактиках раннего и позднего типа, а также его использование для решения некоторых космологических задач, в частности, измерения постоянной Хаббла. В настоящее время активно обсуждается проблема расхождения в измерениях этого космологического параметра для ранней и поздней Вселенной. Обнаруженное расхождение обуславливает необходимость привлечения методов, независимых как от лестницы расстояний, так и от модельно зависимого определения

постоянной Хаббла по данным наблюдений обсерватории «Планк». Оценка постоянной Хаббла из наблюдений событий сильного гравитационного линзирования является одним из таких методов. В диссертации на примере гравитационно-линзированной системы B0218+357 с линзированным протяженным струйным выбросом показана необходимость использования дополнительных наблюдаемых параметров, в частности, угла выхода струи на сверхмалых угловых масштабах, для снятия возникающих вырождений при определении постоянной Хаббла рассмотренным методом.

В заключительной, десятой главе, четвертой части рассмотрены перспективы обнаружения и дальнейшего использования гравитационно-линзированных объектов в инфракрасном и субмиллиметровом диапазонах космическими телескопами с активным охлаждением следующего поколения после обсерватории Herschel. Проведены подсчеты сильно-линзированных объектов, их распределение по красному смещению и коэффициенту усиления для обсерватории «Миллиметрон». На основании проведенных вычислений показано, что в результате обзора всего одного квадратного градуса на небесной сфере может быть обнаружена тысяча событий сильного гравитационного линзирования, что на порядок превосходит число обнаруженных объектов при обзоре нескольких сотен квадратных градусов обсерваторией Herschel. Также продемонстрировано, что предполагаемая высокая чувствительность регистрирующих приборов наряду с их высоким пространственным разрешением позволят решить ряд важнейших задач по изучению далеких объектов Вселенной, в том числе обнаружить самые первые галактики, которые будут линзированы фоновыми объектами.

В заключении сформулированы положения, выносимые на защиту, приведены опубликованные работы по теме диссертации.

После ознакомления с диссертацией у меня есть несколько замечаний и вопросов.

1. В первой главе рассмотрено эффект дрожания только на движущихся звездах нашей Галактики, при этом ничего не сказано о влиянии звезд, которые находятся в «хозяйской» галактике излучающего активного галактического ядра. Соответствующие оценки и пояснения были бы крайне полезны.
2. Помимо движущихся вблизи луча зрения звезд, наблюдаемые флуктуации во времени координат источников будут вызывать гравитационные волны, возникающие при слиянии черных дыр, в том числе, слиянии первичных черных дыр. Этот эффект также следует учитывать при обсуждении постановки эксперимента.
3. Известно, что большое количество пульсаров регулярно мониторируется радиотелескопами. Наверняка, среди этих пульсаров есть пульсары, находящиеся 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? Есть ли такие данные для рассмотренных в пятой главе объектов?
4. В диссертации только вскользь упомянута программа мониторинга пульсаров с целью обнаружения характерного шума хронометрирования, обусловленного слиянием сверхмассивных черных дыр. Более детальное обсуждение этого вопроса существенным образом могло бы дополнить вторую часть диссертации, расширив круг рассмотренных научных приложений использования хронометрирования пульсаров.
5. Автором предложено оригинальное объяснение наблюдаемых кольцеобразных структур с помощью гравитационного линзирования релятивистских струй и проведено сравнение

моделей с результатами наблюдений для объекта В0218. При этом автором отмечено, что существует несколько систем с подобными структурами. Было бы целесообразно сравнить результаты моделирования и наблюдательных данных и для них. Это бы позволило дополнительно подтвердить работоспособность предложенной идеи.

6. Структура диссертации выглядит логичной. Несколько непривычно, что список публикаций автора приведен не во введении, а в заключении.

В целом, диссертация производит очень хорошее впечатление. В первую очередь, хотелось бы отметить комплексный подход к поставленным проблемам и задачам. Автор рассмотрел влияние неоднородностей гравитационных полей практически на весь набор наблюдаемых характеристик исследуемых объектов – пространственных, временных, спектральных. При этом, за набором совершенно разных по своей природе изучаемых объектов, прослеживается стройная и логически связанная структура проведенного исследования. Нельзя не отметить скрупулезность автора и детальность исследования, а также внимание и учет даже небольших эффектов, которые могут оказать влияние на наблюдаемые характеристики объектов.

Диссертация написана хорошим языком, но местами встречаются очень длинные предложения, дочитав которые до конца, легко забыть, о чем говорилось в начале. Например, предложения на странице 14 и 17. Присутствуют также не слишком удачные выражения: «астрометрические наблюдения в оптическом диапазоне достигают точности измерения нескольких угловых микросекунд в год». Вероятно, имеется в виду точность измерения собственных движений или параллаксов. Диссертация в целом оформлена достаточно аккуратно. Тем не менее, встречаются опечатки. Уравнение (4.5) повторяется в п.5.2 под номером (5.4).

Отмеченные недостатки никоим образом не влияют на мою общую положительную оценку диссертации Т.И.Ларченковой. Все вынесенные автором на защиту положения являются новыми, актуальными и обоснованными. Они неоднократно докладывались на семинарах и международных конференциях, а также опубликованы в рецензируемых ведущих научных журналах, включенных в список ВАК.

Автореферат адекватно отражает содержание диссертации.

На основании вышесказанного считаю, что диссертация Т.И.Ларченковой удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК к докторским диссертациям, а ее автор, безусловно, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.03.02 – Астрофизика и звездная астрономия.

Заведующий лабораторией НГУ,
доктор физ.-мат. наук, профессор
(г.Новосибирск, 630090, улица Пирогова 2, НГУ, физфак)

А.Д.Долгов

Подпись зав. ЛКЭЧ НГУ А.Д.Долгова заверяю.