

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ



119991, ГСП-1, Москва
Ленинский проспект, 53 ФИАН
Телефон: (499) 135 1429
(499) 135 4264
Телефакс: (499) 135 7880
<http://www.lebedev.ru>

Дата 29.01.2021 г.

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФИАН
член-корр. РАН, д.ф.-м.н.

Н.Н.Колачевский

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного учреждения науки
Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук

Диссертация «Влияние неоднородностей гравитационных полей на наблюдаемые характеристики астрономических объектов» выполнена в Астрокосмическом Центре Федерального государственного учреждения науки Физический институт им. П. Н. Лебедева Российской академии наук (АКЦ ФИАН).

Ларченкова Татьяна Ивановна, родилась 15 июля 1970 г. В 1993 г. окончила Московский инженерно-физический институт (МИФИ), факультет теоретической и экспериментальной физики по специальности инженер-физик. В 1999 г. закончила очную аспирантуру ФИАН. В 2000 г. защитила диссертацию «Пульсары как детекторы невидимых компактных объектов» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук в Диссертационном Совете ФИАН Д002.39.01 (диплом КТ №039684).

Доклад Т.И.Ларченковой по результатам диссертационной работы «Влияние неоднородностей гравитационных полей на наблюдаемые характеристики астрономических объектов» на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.03.02 «астрофизика и звездная астрономия» был заслушан и обсужден на общем астрофизическом семинаре АКЦ ФИАН 18 января 2021 г.

По итогам обсуждения диссертационной работы и рассмотрения диссертации на семинаре АКЦ ФИАН, а также на заседании Ученого совета АКЦ ФИАН 28 января 2021 г. было принято следующее решение.

Актуальность исследований. Диссертация посвящена изучению влияния неоднородностей гравитационных полей на наблюдаемые пространственные, временные и спектральные характеристики астрономических объектов. Фотоны, испущенные этими объектами, при движении к наблюдателю испытывают воздействие существующих вдоль луча зрения неоднородностей гравитационных полей, в том числе создаваемых движущимися массивными телами. С одной стороны это воздействие искажает информацию о самих изучаемых астрономических объектах, а с другой – позволяет получить информацию о свойствах расположенных вблизи луча зрения массивных тел, которые могут проявлять

себя только посредством гравитационного взаимодействия, слабо излучая или вообще не излучая в электромагнитном диапазоне.

Наличие вблизи луча зрения массивных тел способно приводить к изменению наблюдаемого положения источника излучения, появлению его множественных изображений, изменениям наблюдаемого спектра, усилению наблюдаемого потока излучения, вызывать временную модуляцию наблюдаемого периодического излучения, а также временную задержку между возникающими изображениями источника. Уже сегодня при анализе наблюдательных данных для восстановления собственных параметров исследуемых источников становится важным учет значительной части этих эффектов, которые могут быть использованы для получения информации о невидимых (или слабо излучающих) массивных космических объектах любой массы и природы.

Объекты Галактики (звезды, звездные остатки, коричневые карлики и др.), движущиеся вблизи луча зрения на внегалактические источники, в том числе опорные источники международной системы координат ICRF, приводят к появлению так называемого эффекта `дрожания` их положения на небе, что в свою очередь ограничивает точность определения их координат. Помимо этого эффекта движущиеся вблизи луча зрения Галактические массивные объекты способны также оказывать влияние на временные характеристики источников излучения, в частности, вызывать модуляцию моментов прихода импульсов пульсаров из-за эффекта Шапиро – релятивистской временной задержки распространения электромагнитного сигнала. В случае, когда массивный объект оказывается на луче зрения, могут наблюдаться события так называемого сильного гравитационного линзирования, которые могут приводить к существенным искажениям получаемых изображений. Более того, наблюдения таких событий позволяют решать целый ряд актуальных космологических и астрофизических задач, в том числе, независимым образом определять постоянную Хаббла.

Регистрация и анализ линий поглощения нейтрального водорода в наблюдаемых спектрах далеких квазаров является одним из немногих методов изучения темных массивных гало, в которых содержится малое количество барионов и звезд. Актуальной задачей в этой области становится разработка методов определения физических характеристик поглощающих объектов по анализу наблюдаемого в спектрах далеких квазаров леса линий поглощения Лайман-альфа.

Все перечисленные выше эффекты могут быть использованы для поиска невидимых по разным причинам объектов в широком диапазоне их масс, что является одной из наиболее актуальных космологических задач, так как наблюдаемое вещество составляет лишь несколько процентов от полной массы Вселенной.

Актуальность рассматриваемой в диссертации тематики обусловлена не только фундаментальным характером изложенных выше проблем и задач, но и развитием современных технологий и характеристик наблюдательных инструментов, позволяющих проводить высокоточные наблюдения во временной, пространственной и спектральной областях.

Научная новизна работы

Результаты, представленные в диссертации, были получены впервые. Из полученных результатов отметим следующие:

- Впервые построены карты распределения по небесной сфере характерных величин эффекта "дрожания" координат для многокомпонентных моделей Галактики. Получены основные статистические и спектральные характеристики такого гравитационного «шума», что позволит отличить в наблюдениях этот вид шума от шумов, обусловленных другими физическими процессами.

- Предложена оригинальная методика проведения эксперимента для регистрации эффекта "дрожания" координат источников, основанная на многочастотных наблюдениях двух выборок внегалактических источников: целевой, источники которой расположены в направлении на центральную область Галактики, и контрольной, источники которой находятся на высоких галактических широтах. Показана возможность обнаружения эффекта с помощью современных интерферометров.

- Получено выражение для временного запаздывания моментов прихода импульсов (МПИ) пульсара, находящегося в шаровом скоплении, обусловленного стохастическим эффектом Шапиро. Определены спектральные характеристики низкочастотного шума хронометрирования пульсаров в шаровых скоплениях, возникающего из-за этого эффекта. Для пульсаров в шаровых скоплениях 47 Tucanae, M15 и Терзан 5 рассчитана частота событий релятивистского временного запаздывания МПИ, вызываемых пролетом вблизи луча зрения массивных тел, как самого скопления, так и Галактики, а также количество таких событий на интервале пяти лет наблюдений.
- Предложено использовать высокоточные долговременные наблюдения МПИ пульсаров, расположенных в центральных областях шаровых звездных скоплений, для поиска массивных объектов Галактики и шаровых скоплений, в том числе, черных дыр промежуточных масс, которые предположительно могут находиться в их центрах. Основываясь на современной точности хронометрирования и имеющейся выборке пульсаров в шаровых скоплениях, показана принципиальная возможность регистрации таких объектов с массами, превышающими десять тысяч масс Солнца.
- Получена первая потенциальная регистрация темного массивного объекта по данным хронометрирования одиночного радиопулсара B0525+21.
- Предложен оригинальный метод анализа спектров поглощения квазаров и далеких галактик, позволяющий связать наблюдаемые характеристики спектров с физическими параметрами поглощающих объектов. Использование этого метода для анализа нескольких каталогов систем линий поглощения металлов и систем линий поглощения Лайман-альфа показало, что регистрируемые системы линий относятся к двум типам объектов с разными свойствами.
- Показано, что наблюдаемые в изображениях ряда активных ядер галактик (АЯГ) крупномасштабные кольцевые структуры могут возникать из-за эффекта сильного гравитационного линзирования релятивистских струй на галактиках разных типов. Предложено использовать наблюдения линзированных релятивистских струй на сверхмалых угловых масштабах для построения корректных моделей спиральных галактик-линз, а также в качестве дополнительного параметра для определения постоянной Хаббла.
- Показано, что в результате реализации программы наблюдений событий сильного гравитационного линзирования в рамках научной программы космической обсерватории "Миллиметрон" могут быть обнаружены порядка 1000 гравитационно-линзированных систем при обзоре на небе площадки размером всего 1 квадратный градус, что более чем на порядок превосходит количество таких объектов, зарегистрированных обсерваторией Herschel за все время ее работы.

Ценность и практическая значимость работы, полнота изложения.

Результаты диссертации Т.И.Ларченковой могут быть использованы при анализе данных, полученных как на существующих наблюдательных инструментах, так и при планировании будущих космических и наземных обсерваторий.

Вычисленные в зависимости от направления на небесной сфере значения предела точности абсолютной астрометрии, обусловленного эффектом `дрожания` координат внегалактических источников, а также предложенная методика регистрации этого эффекта, имеют как фундаментальное, так и прикладное значение при использовании Международной небесной системы отсчета ICRF.

Предложенный метод поиска в данных хронометрирования пульсаров характерной модуляции их моментов прихода импульсов может использоваться для обнаружения невидимых компактных объектов Галактики и массивных шаровых звездных скоплений, в том числе черных дыр промежуточных масс. Регистрация с помощью этого метода события с характерной модуляцией МПИ одного из пульсаров в данных долгопериодического мониторинга является подтверждением его практической значимости.

Разработанный метод анализа леса линий поглощения Лайман-альфа в спектрах далеких квазаров позволяет получить оценки физических параметров поглощающих массивных объектов, которые мало изучены в силу проблематичности их непосредственной регистрации. Дальнейшее развитие предложенного метода совместно с численным

моделированием позволят получить дополнительную информацию о плохо изученной в настоящее время области мелкомасштабной космологии.

Наблюдения событий сильного гравитационного линзирования как компактных, так и протяженных внегалактических источников, в том числе АЯГ со струйными выбросами, и их последующий анализ, в настоящее время активно используется в наблюдательной космологии и астрофизике в качестве независимого от других методов определения значений космологических параметров и распределения темного вещества. Предложенное в диссертации использование дополнительных параметров, позволяющих снять вырождения в моделях гравитационно-линзированных объектов, способствуют повышению точности определения космологических параметров, в том числе постоянной Хаббла.

Результаты диссертационной работы Т.И.Ларченковой изложены в восемнадцати научных публикациях. Основные результаты, выносимые на защиту, представлены в десяти статьях в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией (ВАК). Содержание диссертационной работы Т.И.Ларченковой изложено максимально доступно, корректно и полно.

Личный вклад автора во все результаты диссертации, выносимые на защиту, является определяющим. Диссертантом предложена постановка задач, выполнены теоретические и аналитические расчеты, проведена интерпретация полученных результатов, а также написаны основные тексты статей. Форма ссылок позволяет отличить результаты, полученные диссертантом, от результатов, полученных в соавторстве с другими авторами.

Достоверность полученных результатов и выводов обеспечена их публикацией в ведущих рецензируемых отечественных и международных журналах, таких как Письма в астрономический журнал, The Astrophysical Journal, Astronomy & Astrophysics. Достоверность представленных результатов подтверждается апробацией на российских и зарубежных международных конференциях, где присутствовали специалисты в данной области, а также публикациями в рецензируемых журналах.

Все положения, выносимые на защиту, тщательно аргументированы и изложены в тринадцати работах диссертанта, опубликованных в журналах из списка ВАК.

Апробация результатов. Результаты диссертационной работы Т.И.Ларченковой многократно докладывались и обсуждались на семинарах Астрокосмического центра ФИАН, отдела теоретической астрофизики Астрокосмического центра ФИАН, Отделения теоретической физики ФИАН, Института космических исследований РАН, Института астрономии РАН, отчетных сессиях АКЦ ФИАН и ПРАО АКЦ ФИАН, заседаниях Ученого совета ФИАН, а также на российских и зарубежных международных конференциях.

Диссертационная работа Ларченковой Татьяны Ивановны «Влияние неоднородностей гравитационных полей на наблюдаемые характеристики астрономических объектов» рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности «астрофизика и звездная астрономия» (01.03.02).

Члены ученого совета АКЦ ФИАН считают, что представленная диссертационная работа полностью удовлетворяет всем требованиям ВАК, которые предъявляются к работам на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. Содержание и название диссертации полностью соответствуют указанной специальности 01.03.02 «астрофизика и звездная астрономия».

Руководитель АКЦ ФИАН,
д.ф.-м.н.

С. Ф.Лихачев