

СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета Д002.203.01

протокол N 146 от 03 октября 2022 г.

Председатель:

Заместитель председателя
диссертационного совета
доктор физ.-мат. наук
Клочкова В.Г.

Ученый секретарь:

кандидат физ.-мат. наук
Шолухова Ольга Николаевна

Состав совета – 20 человек, присутствуют – 14:

д.ф.-м.н., Клочкова В.Г. 01.03.02

к.ф.-м.н., Шолухова О.Н. 01.03.02

д.ф.-м.н., Васильев Е.О. 01.03.02

д.ф.-м.н., Глаголевский Ю.В. 01.03.02

д.ф.-м.н., Караченцев И.Д. 01.03.02

д.ф.-м.н., Левшаков С.А. 01.03.02

д.ф.-м.н., Макаров Д. И. 01.03.02

д.ф.-м.н., Мингалиев М.Г. 01.03.02

д.ф.-м.н., Моисеев А.В. 01.03.02

д.ф.-м.н., Панчук В.Е. 01.03.02

д.ф.-м.н., Романюк И.И. 01.03.02

д.ф.-м.н., Трушкин С.А. 01.03.02

д.ф.-м.н., Фабрика С.Н. 01.03.02

д.ф.-м.н., Сачков М.Е. 01.03.02

Председатель:

В отсутствие председателя нашего совета Юрия Юрьевича Баледи, это заседание провожу я. В совет представлена работа Чмыревой Елизаветы Георгиевны “Поиск и исследование вероятных одиночных черных дыр звездных масс в избранных областях Галактики”. Научный руководитель - Григорий Меерович Бескин, САО РАН. Официальные оппоненты - Расторгуев Алексей Сергеевич, ГАИШ МГУ и Шибанов Юрий Анатольевич, физтех имени Иоффе. Ведущая организация - федеральное гос учреждение образования

“Южный федеральный университет”. Можно начинать. У вас 20 минут.

Чмырева Е.Г.:

Спасибо. Добрый день, моя работа называется “Поиск и исследование вероятных одиночных черных дыр звездных масс в избранных областях Галактики”. Она посвящена поиску изолированных черных дыр (ЧД) в областях Галактики где вероятность их обнаружения повышена. Анализируются характеристики и локализация таких областей, в них отбираются объекты, чьи наблюдательные проявления соответствуют теоретическим, проводится оценка вероятности того, что найденные кандидаты ими являются и обсуждаются перспективы обнаружения ЧД в

различных поисковых программах. Согласно современным эволюционным сценариям у нас в Галактике должно насчитываться порядка 10^8 одиночных ЧД и их очень сложно обнаружить. Если ЧД находится в двойной системе, то области около горизонта событий, который является родовым признаком любой ЧД, экранируются аккреционным диском, поэтому мы эти области не видим. В случае одиночной ЧД обычно реализуется сферическая аккреция и это позволяет регистрировать излучение непосредственно вблизи $1-2 r_g$. Поэтому обнаружение именно одиночных ЧД звездных масс позволило бы нам исследовать процессы, которые происходят непосредственно около горизонта событий, протестировать теории гравитации и получить фундаментальную информацию о физике ЧД.

Целью работы является разработка метода поиска одиночных ЧД звездных масс и его применение в ситуациях с повышенной вероятностью детектирования излучения ЧД - при микролинзировании и в областях распада двойных систем состоящих из ЧД и нейтронных звезд, а также возможность его наблюдения в разных миссиях. Задачи включают в себя развитие метода локализации областей распада двойных систем с релятивистскими объектами по кинематике пульсаров, отбор кандидатов в ЧД по данным в разных диапазонах, исследование кандидатов, определение свойств локальной межзвездной среды, светимости, определение допустимых диапазонов этих значений. Оценка вероятности принадлежности кандидатов к классу ЧД. Оценка светимости излучения одиночной микролинзы MOA-191/OGLE-0462 и анализ возможности прямого детектирования этого излучения.

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы.

Первая глава посвящена общей проблеме обнаружения ЧД, обсуждается текущее состояние этой темы в астрофизике, обсуждаются различные методы, миссии, что сделали другие авторы, т.е. общее обсуждение задачи. Также приводится конкретика поиска, некие критерии. Для типичных параметров межзвездной среды можно составить некий список ожидаемых наблюдаемых проявлений одиночных ЧД. Мы ожидаем, что они будут излучать в широком диапазоне частот, у них будет нетепловой спектр без линий, при близких расстояниях они будут вполне наблюдаемы в оптике, от 16 звездной величины, у них будет присутствовать переменность, как быстрая, так и медленная. Мы также ожидаем, что у них будет собственное движение, потому что нас интересуют именно галактические объекты. Области поиска включают в себя окрестности гравитационных линз в событиях микролинзирования, а также зоны распада массивных двойных систем состоящих из ЧД и нейтронных звезд. Так как большинство звезд рождается в двойных и кратных системах, то можно с большой долей уверенности утверждать, что многие ныне одиночные релятивистские объекты также были рождены в двойной системе. Прослеживая ход релятивистских объектов назад в прошлое, можно поискать вероятное место их рождения и провести там поиск их вероятных бывших компаньонов в двойных системах в которых они состояли.

Этому посвящена вторая глава диссертации, где разрабатывается метод локализации распада таких систем по кинематике пульсаров. Здесь мы рассматриваем двойные системы которые состояли из двух нейтронных звезд в предположении, что система распалась при втором взрыве сверхновой в системе, в ходе которого родился более молодой пульсар в паре (нейтронные звезды мы наблюдаем как радиопульсары). Система разлетелась, они

получили какие-то скорости, а обнаружение мест рождения таких пульсаров позволит также узнать их настоящие возраста, оценить лучевые скорости и понять кинематику разлета системы. Для этой цели была создана выборка из пар пульсаров которые недалеко отстоят друг от друга по возрасту и расстоянию и для которых хорошо измерена кинематика. Для них решалось уравнение движения в потенциале Галактики. Их траектории прослеживались в прошлое и искались тесные сближения объектов на временах согласованных с возрастом более молодого пульсара. Параллельно рассчитывалась опорная вероятность в предположении о чисто случайном сближении кандидатов и если вероятность сближения сильно превышала опорные вероятности, то делался вывод о возможном общем происхождении этих объектов.

Здесь показан пример для одной пары кандидатов, вот этот пик показывает, что объекты в прошлом сближались, ниже показаны их приблизительные траектории. Здесь эта толстая кривая показывает вероятность сближения, а пунктир показывает опорную вероятность и видно, что она на несколько порядков ниже, собственно, толстой кривой. Поэтому в данном случае был сделан вывод о том, что пульсары могли быть гравитационно связаны. Эпоха сближения очень хорошо согласуется с возрастом молодого пульсара и оценки скоростей составили для обоих пульсаров около 50 км/с, что также хорошо вписывается в существующие модели.

В ходе работы было найдено 6 пар пульсаров и 2 пары пульсар остаток, которые скорее всего в прошлом были гравитационно связаны.

В третьей главе проводится поиск кандидатов в одиночные ЧД в местах

рождения пульсаров. Здесь рассматриваются двойные системы, состоящие из ЧД и нейтронной звезды, опять в предположении, что система распалась во время второго взрыва сверхновой когда родился пульсар. Он получил высокую скорость, а ЧД в этом процессе не получала импульса и она очень массивная и не сможет улететь далеко от места разлета системы, т.е. от места рождения пульсара. Поэтому именно в местах рождения пульсаров имеет смысл искать кандидаты в ЧД. Для этой цели опять была создана выборка молодых пульсаров с хорошо измеренными данными. Их траектории прослеживались назад в прошлое на время характеристического возраста. Конечные точки этих траекторий образовывали в пространстве область где этот пульсар предположительно родился. На рисунке показаны 4 таких области для пульсаров, которые показали наилучшие результаты и дальнейший поиск кандидатов был проведен именно в этих областях.

В этих областях были отобраны все объекты с жесткой спектральной составляющей которые не являются квазарами, звездами или галактиками. Для них были отобраны оптические объекты которые попадают в эллипс ошибок их координат. К ним были добавлены белые карлики в этих областях, которые хоть и не обладают жесткой составляющей но тоже ведут себя интересным для нас образом. В итоге получилась выборка из 94 кандидатов из которой мы исключили артефакты, объекты без собственного движения, объекты с ненадежно измеренными расстояниями, объекты с линейчатыми спектрами и объекты, чья фотометрия хорошо фитировалась Планковской кривой, т.е. обычные звезды. В итоге осталось 9 кандидатов, это слабые близкие объекты. SDSS данные к сожалению присутствуют только у 5 из них, здесь они показаны фиолетовыми квадратиками, но в любом случае видно, что они на диаграмме цвет-цвет попадают в область белых карликов и

квазаров, т.е. это заведомо не звезды главной последовательности.

Вот эти девять кандидатов.

Четвертая глава посвящена анализу их наблюдательных проявлений. Светимость ЧД зависит от ее массы, скоростей и локальной плотности межзвездной среды. Масса была рассмотрена от 3 до примерно 23 масс Солнца. Лучевых скоростей мы не знаем, поэтому в качестве оценки снизу были взяты значения поперечной скорости, которые были получены из собственного движения. Скорость звука оценивалась по стандартной формуле, а температура оценивалась по эмпирической зависимости от локальной плотности среды, она показана на рисунке слева.

Что касается самой плотности, то она была оценена из данных трехмерной карты распределения вещества в Галактике. В направлении на каждый кандидат было получено распределение покраснений в зависимости от модуля расстояний. Это было сконвертировано в столбцовую плотность водорода. Для одного кандидата это показано на рисунке в качестве примера. Сама плотность была получена в виде производной этой величины по расстоянию, она расписывается в таком виде. Для этого же объекта она показана на рисунке. Стрелки показывают оценки сверху, потому что в данном случае область достаточно разрежена, гауссиана показывает допустимый диапазон расстояний для самого кандидата. Видно, что шаг по плотности существенно ниже оценки допустимых расстояний для кандидата, поэтому здесь нельзя точно сказать, какая в этом месте плотность. Поэтому мы пользовались средневзвешенным значением в этом допустимом диапазоне.

Таким образом оценив параметры наших кандидатов, теперь нужно понять, насколько они вписываются в то, что мы ожидаем видеть у одиночных ЧД рожденных в двойных системах. Для этой цели мы воспользовались результатами Викторovichа и др., которые моделировали эти объекты при стандартной модели эволюции населения диска. На рисунке слева показано распределение этих объектов по скоростям. Вот этот огромный пик - это медленные ЧД, рожденные без импульса при прямом коллапсе. Вот это более обширное крыло - это быстрые ЧД. Рисунок справа показывает то же распределение но по массам. Это трехпиковое распределение, здесь логарифмическая шкала, чтобы было все видно. Но здесь та же ситуация, самый большой пик - это маломассивные ЧД (7-8 масс Солнца), образованные при коллапсе звезд 20-25 масс Солнца, потом есть пик на 15 массах Солнца и маленький пичок на 22. Эти два распределения были сконвертированы в некое двумерное поле плоскости вероятности, оно показано на рисунке справа, оно показывает наиболее ожидаемые значения ожидаемые для одиночных ЧД.

На это поле были нанесены данные наших кандидатов, они показаны бледными полосами. Ширина этих полос зависит в основном от неопределенности расстояний точности оценки межзвездной среды. Слева они отрезаны нашими оценками по скорости. Один кандидат у нас сразу выбыл, потому что его значения никуда не вписываются. Для оставшихся 8 кандидатов интегрирование в пределах этих областей дало вероятность того, что они являются ЧД от примерно 1% до примерно 14%. Вероятность получить среди кандидатов хотя бы одну ЧД составила 36%. Конечно нельзя стопроцентно утверждать, что здесь могут быть ЧД, потому что понятно, что

это в рамках данной модели, в рамках предположений указанных выше, что они выполняются. Здесь нужен критический эксперимент, нужно их наблюдать, нужно искать быструю переменность, чтобы понять, что это действительно ЧД. Но это реальные объекты, мы их видим, можем их наблюдать. Есть ситуация наоборот, когда излучение объекта детектировать невозможно, но он там есть.

Этому посвящена пятая глава где рассматривается недавно обнаруженная микролинза ЧД MOA-191/OGLE-0462. Вот эти авторы пользуясь данными телескопа Хаббл в процессе события микролинзирования обнаружили этот объект. Они оценили его массу как примерно 7 масс Солнца. Он находится на расстоянии примерно 1.5 килопарсек. Пользуясь этими данными и процедурой описанной выше, мы оценили локальные свойства межзвездной среды, светимость, темп аккреции, получили некую оценку звездной величины снизу и построили теоретический спектр этого объекта.

Он показан на рисунке толстой черной кривой. Серая область - это неопределенность. Вот эта синяя кривая показывает уровень возможных вспышек. Сравнивая с уровнем чувствительности некоторых существующих и проектируемых инструментов, можно утверждать, что в принципе этот объект детектируемый. Его излучение, например, стационарный спектр можно наблюдать от радио до рентгеновского диапазона, слабые вспышки - в оптике и в рентгене, а более сильные вспышки - в принципе везде, кроме, пожалуй, гамма диапазона. Но опять же, здесь нужен критический эксперимент, потому что обнаружение быстрой переменности позволило бы утверждать, что там действительно есть горизонт событий, и можно было бы утверждать, что это действительно ЧД. Следующим этапом всей этой работы

планируется составление по всему небу некой карты областей где в принципе возможно наблюдать эффекты горизонта событий, т.е. некие области по всему небу где имеет смысл искать одиночные ЧД.

Научная новизна работы. Впервые проведен массовый анализ возможности рождения в двойных системах одиночных пульсаров, получены оценки вероятности их гравитационной связи в прошлом. Было найдено 6 пар пульсаров и 2 пары пульсар-остаток, где вероятность гравитационной связи в прошлом сильно превышает вероятность случайных сближений. Впервые разработана методика отбора кандидатов в одиночные ЧД звездных масс по совокупности фотометрических, спектральных и кинематических данных полученных в разных диапазонах. Разработана процедура оценки параметров локальной межзвездной среды в окрестностях кандидатов, что позволяет получить их темп аккреции и светимость. Оценены вероятности того, что кандидаты являются ЧД. В качестве зон локализации вероятных одиночных ЧД были впервые исследованы области рождения 4 пульсаров. С помощью методики в них найдено 8 кандидатов. Определены допустимые диапазоны их параметров и оценены вероятности их принадлежности к ЧД, а также вероятность того, что среди них есть хотя бы одна ЧД. Для микролинзы MOA-191/OGLE-0462 впервые получены оценки свойств локальной среды; на основании этих данных получены аккреционная светимость, темп аккреции. Построен теоретический спектр в широком диапазоне частот. Проанализирована возможность прямого детектирования этого излучения.

Научная и практическая ценность. Разработанная процедура моделирования движения релятивистских объектов в прошлом позволяет локализовать места их рождения и оценить вероятность их гравитационной связи в двойных

системах. Разработанный метод позволяет отбирать объекты-кандидаты в ЧД по фотометрическим, спектральным, кинематическим данным в разных диапазонах и получить допустимые интервалы их параметров в предположении, что они являются ЧД. По результатам поиска в областях рождения 4 пульсаров было выделено 8 кандидатов. Развита метод определения соответствия наблюдательных характеристик кандидатов их теоретическим оценкам. Получены оценки параметров области локализации вероятной ЧД-микролинзы MOA-191/OGLE-0462. Построен ее теоретический спектр. Показана возможность прямого детектирования ее излучения с помощью существующих и проектируемых инструментов.

Результаты работы были представлены на 12 всероссийских и международных конференциях. Они опубликованы в 11 работах, 6 из которых - в рецензируемых журналах из списка ВАК.

Личный вклад автора состоит в формировании выборки радиопульсаров, определении мест их рождения, отборе кандидатов в ЧД, анализе соответствия их характеристик теоретическим, определении вероятностей, определении параметров микролинзы, построении теоретического спектра, сопоставлении с чувствительностью разных инструментов.

На защиту выносятся: метод поиска и анализ вероятностей возможных ассоциаций одиночных релятивистских объектов входивших в состав двойных систем. Обнаружение возможной связи между объектами в 6 парах пульсаров и 2 парах пульсар - остаток. Процедура отбора объектов-кандидатов в одиночные ЧД звездных масс и оценка вероятности их принадлежности к этому классу. Результаты поиска кандидатов в одиночные

ЧД в областях вероятного рождения 4 пульсаров. Выделение 8 пекулярных кандидатов и оценка вероятности их принадлежности к одиночным ЧД. Анализ возможных наблюдательных проявлений вероятной ЧД MOA-191/OGLE-0462. Доказательство возможности детектирования излучения аккрецирующего на нее газа с помощью существующих и проектируемых телескопов разных диапазонов.

Спасибо, у меня все.

Председатель:

Спасибо! Давайте похлопаем. Вопросы пожалуйста.

Моисеев А.В.:

Скажите пожалуйста, там у вас в конце 4 главы, где показаны такие красивые графики с вероятностями для каждого из кандидатов. Скажите пожалуйста, вот некоторые почему такие узкие области нарисованы. Откуда берется оценка снизу понятно, вы говорили что мы видим только одну проекцию. А откуда берется оценка сверху? Что скорость не может превышать какое-то значение? В некоторых случаях у вас ширина интервала в 10 километров.

Чмырева Е.Г.:

Это не совсем так. Одну минуту. Эти области на этом графике - все объекты рассматриваются от 0 до 100 км/с. Т.е. может быть и больше, но маловероятно. А ширина вот этих полос - она определяется всеми другими параметрами которые входят в светимость, т.е. это некий набор, который обосновывается расстояниями, плотностью среды...

Моисеев А.В.:

А, т.е. она не может улететь быстро, потому что у нее была бы такая светимость, которая не была бы, если бы она улетела?

Чмырева Е.Г.:

Тем более, что мы знаем их реальную видимую звездную величину, т.е. это вот та область и те параметры, при которых она дает вот эту звездную величину.

Моисеев А.В.:

Понятно, спасибо.

Председатель.:

Еще пожалуйста.

Левшаков С.А.:

По поводу результатов, которые выносятся, покажите пожалуйста первый. По первому у меня вопрос или просьба немножко прокомментировать. Рождение одиночных черных дыр в двойных системах. Двойные системы, как мы знаем, динамически стабильны. Чтобы какой-то компонент выбросить из двойной системы, нужна дополнительная сила. Откуда она берется? При взрыве? При симметричном взрыве сверхновой ничего не происходит. По закону Кеплера просто период обращения в системе поменяется. То есть если взрыв асимметричный, такая сила может возникнуть. Я хотел бы понять, что за механизм работает в этом случае.

Чмырева Е.Г.:

Здесь, во первых, речь идет о массивных системах, оба компонента где дают релятивистский объект при взрыве сверхновой. Симметричный взрыв сверхновой это скорее редкость, насколько я знаю, чем закономерность. То есть скорее всего, они асимметричны. То есть если при взрыве сбрасывается половина массы, система распадается. Но у нас более мягкое ограничение, мы рассматриваем системы, которые распадаются именно после второго взрыва сверхновой. То есть один взрыв уже произошел. Система осталась гравитационно связанной, но орбиты стали больше. Она уже не такая тесная. Второй взрыв сверхновой ее практически стопроцентно разрушает и объекты разлетаются. Это было в презентации.

Левшаков С.А.:

Некоторое время назад мне попадались работы где утверждалось, что взрыв сверхновой даже не разрушает планетную систему которая вокруг нее имеется.

Чмырева Е.Г.:

О каких массах идет речь?

Левшаков С.А.:

Ну вот я хотел уточнить.

Чмырева Е.Г.:

С большой вероятностью они распадаются.

Председатель:

Игорь Дмитриевич, пожалуйста.

Караченцев И.Д.:

Из девяти указанных кандидатов в черные дыры, 8 из 9 находятся в северном полушарии. Только один в южном. Чем вызвана такая асимметрия?

Чмырева Е.Г.:

Это не асимметрия, это просто эффект селекции. Никакой физики в этом нет, это результат того, что в ходе отбора пульсаров они выбирались по критериям того, что у них очень точно измерены данные, есть параллакс, есть хорошая кинематика, просто так получилось, в этом нет какого-то глобального смысла.

Трушкин С.А.:

Я задавал этот вопрос уже на предыдущем выступлении вашем. По поводу все-таки этих пар: остаток сверхновой и пульсар. Все-таки не хватает вот этого графика или какой-то таблицы где бы это было более наглядно представлено. Потому что как-то все немножко непонятно. Как вы определили, что они связаны между собой, тем более, что это всегда является предметом очень большого внимания большого количества исследователей которые занимаются и остатками и пульсарами. Конечно это всегда анализировалось много раз. Поэтому хочется все таки понять, как это сделано в данном случае, хоть названия остатков есть, они существуют, они где находятся? Вы посмотрите какие возраста разные!

Чмырева Е.Г.:

Здесь возраста разные, в данном случае метод дает большие неопределенности, здесь была кинематическая связь, они накладывались

друг на друга. Оценки возрастов, да, в данном случае здесь большие ошибки, но так как вероятности сближений сильно превышали опорные, мы посчитали возможным эту связь установить. В ходе этой работы кандидатов в пары пульсар-остаток было 12 или 13. Все они отпали, а вот эти две показали наилучшие результаты.

Трушкин С.А.:

Хорошо.

Председатель:

Не вижу больше вопросов. В таком случае мы перейдем у отзываам.

Секретарь:

Отзыв научного руководителя. Он присутствует.

Бескин Г.М.:

(отзыв научного руководителя Бескина Г.М.)

Председатель:

Спасибо большое Григорий Меерович. Нам надо еще прослушать отзыв нашей организации.

Секретарь:

(заключение с места выполнения работы)

Председатель:

Спасибо большое. Мы переходим к отзывам официальных оппонентов. У нас

присутствует Алексей Сергеевич Расторгуев, мы просим его представить ОТЗЫВ.

Расторгуев А.С.:

(отзыв оппонента Расторгуева А.С.)

Председатель:

Спасибо. Елизавета Георгиевна, вы хотите отвечать?

Чмырева Е.Г.:

Да, я отвечу сразу.

Председатель:

Хорошо.

Чмырева Е.Г.:

Спасибо Алексей Сергеевич. С вашего позволения я буду зачитывать по бумажке. По поводу первой работы в авторском списке - на момент написания диссертации вышла только русская версия Астрофизического Бюллетеня (английская версия выходит обычно позже), поэтому ссылка на работу дана на русском. По поводу использования более новых значений расстояния до центра Галактики и вида гравитационного потенциала - да, безусловно, можно взять более новые оценки. Но в рамках данной работы это не влияет на результат, потому что объекты у нас молодые, у нас очень большая неопределенность по расстоянию, мы не знаем радиальных скоростей, и эти значения дают гораздо больший вклад в результат. По поводу области рождения пульсара J0922+0638, которая лежит высоко над

плоскостью Галактики - количество наблюдаемых там рентгеновских и радио источников обусловлено тем, что эта область гораздо больше трех остальных, то есть на нее проецируется гораздо больше всего. На начальном этапе я отмечала все объекты, которые туда попадали, без привязки к возрасту, расстоянию. В ходе дальнейшего анализа как раз в этой области кандидатов не было обнаружено. То есть там ничего не нашли. Для отбраковки кандидатов были использованы Байесовские геометрические расстояния из работы Vailer-Jones et al. (2018). По поводу того, что малое собственное движение не дает основания считать объекты галактическими. Безусловно, в Галактике присутствуют и очень медленные объекты. Но здесь имелось в виду только соотношение измеренного собственного движения и ошибки этих измерений. То есть есть у нас маленькое собственное движение и огромная ошибка, то такие объекты отбрасывались как ненадежные, потому что нам были нужны стопроцентно галактические объекты. То есть возможно сколько-то объектов не вошло, которые должны были войти, но нужно было эту грань провести - объекты со значимым собственным движением. По поводу излучения черных дыр при больших скоростях - во первых спектр становится более плоским, у него появляется более длинный хвост в жестком диапазоне. Но главное - светимость резко падает, потому что у нас темп аккреции обратно зависит от куба скорости, то есть светимость, например, на 100 км/с, по сравнению с 20 км/с очень сильно упадет. Даже на графике видно, что нам здесь повезло, скорости здесь более приличные и в результате мы можем объекты наблюдать. Если бы были быстрее, то это уже сложно.

Расторгуев А.С.:

Удовлетворен.

Председатель:

Хорошо. Переходим ко второму отзыву.

Секретарь:

Не присутствуют Шибанов? Пожалуйста, мы ждем.

Шибанов Ю.А.:

(отзыв оппонента Шибанова Ю.А.)

Председатель:

Спасибо большое. Елизавета, вам надо отвечать.

Чмырева Е.Г.:

Спасибо Юрий Анатольевич. По поводу расположения кандидатов в черные дыры на картах выделенных областей. Отвечая на этот вопрос я сделала такую картинку, вот. Они расположены таким образом. Из четырех областей все 8 кандидатов попали в 2, 5 вот в этой области и 3 вот в этой области. Вот этот - это тот девятый, который не вошел. Это как раз та область не в плоскости Галактики. Эта картинка не вошла в диссертацию, потому что у нас не было цели определить конкретные пары, скорее была цель выделить в пространстве места с повышенной вероятностью нахождения черных дыр. По поводу широкополосных спектров кандидатов. Да, безусловно это было бы очень интересно посмотреть, но к сожалению, для кандидатов мы не знаем масс и при варьировании остальных входящих параметров разброс получился бы очень большим. К тому же у них нет рентгеновских или радио данных, то есть такую картинку как для микролинзы в данном случае

построить невозможно. То есть если по мере наблюдения объектов удастся получить новые данные, это наверно будет более возможно.

Шибанов Ю.А.:

То есть данные у нас только в оптическом интервале?

Чмырева Е.Г.:

Да, в нас есть только оптические данные. По поводу технического вопроса по диаграмме цвет-цвет - вот она - это просто показатели степени. Вот эта прямая показывает местоположение объектов со степенными спектрами, а это просто показатели: 0, 1, 2 и так далее. По поводу пульсара который возможно состоял в паре с микролинзой. В данном случае такой пульсар обнаружить не удалось. И хотя на эту область действительно проецируется несколько пульсаров, но они не подходят по критериям, то есть они или по возрастам не подходят, или по расстояниям, или другой вариант - у них слишком мало измеренных данных, то есть отсутствуют собственные движения. Но я надеюсь что по мере выявления новых данных эту информацию удастся уточнить и возможно в будущем удастся определить такой пульсар.

Председатель:

Похоже, оппонент прослушал и удовлетворен?

Шибанов Ю.А.:

Да, я удовлетворен ответом.

Председатель:

Спасибо большое.

Секретарь:

У нас остался отзыв ведущей организации, давайте я прочитаю.

(отзыв ведущей организации)

Председатель:

Елизавета Георгиевна, вы хотите сказать что-то в ответ?

Чмырева Е.Г.:

Да, я буду отвечать. По поводу выбора пульсаров. Данные конкретные пульсары были выбраны как самые молодые из тех, у которых наиболее точно измерены расстояния и собственные движения. В данном случае выбор был сделан в пользу точности этих данных, а не возраста, поскольку целью было максимально сузить возможную область поиска. Это также связано с тем что характеристические возраста пульсаров не очень хорошо согласуются с их реальными возрастами для молодых объектов. Поэтому было разумно взять пульсары чуть старше, но с более точно измеренными характеристиками и да, согласна, эти соображения нужно было более подробно прописать в диссертации. По-поводу двумерной плотности вероятности. Да, такая работа проводилась. Здесь нужно понимать два момента: первое, что это все справедливо в рамках данной модели и второе, мы сравнивали параметры кандидатов с таковыми для обычных звёзд главной последовательности на примерно таких же графиках и вероятность того, что кандидаты являются простыми звёздами в большинстве случаев гораздо ниже таковых для черных дыр. Такая работа была проведена и это не обычные звезды. По поводу девятого кандидата который был исключен - да,

он незначительно перекрывается этими значениями, но там эти значения практически нулевые, то есть здесь мы сочли возможным этим объектом пренебречь. Да, по поводу микролинзы, безусловно, нужно было более подробно проговорить, что она может быть и слабее, то есть речь идет об оценке снизу. Да, согласна, это можно было проговорить, но эта фраза присутствует в диссертации. Спасибо.

Председатель:

Спасибо большое. У нас отзывы не поступили на автореферат, поэтому мы переходим к общей дискуссии. Давайте мы сначала выслушаем присутствующих. Алексей.

Моисеев А.В.:

Ну я не буду сильно дополнять то что я уже говорил и что внесено в заключение организации где выполнена работа. Я отмечу два момента. Во первых, чувствуется очень высокий уровень самостоятельности в представленной данной работе. Я слышал этот доклад Лизы на конференции и знаю что эта работа выросла из интересов группы Шварцмана и это самостоятельно выполненная работа. Это большой пласт данных и моделей в пользу диссертанта. А второй момент, что конечно очень важно, что здесь предложен именно метод. То есть можно приложить к новым выборкам, кроме SDSS на северном небе добавится еще что то и будут у вас кандидаты на южном небе что актуально для тех телескопов что там нарисовались. То есть здесь важно то, что теперь с этим инструментарием можно подходить к тем данным которым еще предстоит появиться. Это очень важная перспектива для данной работы.

Председатель:

Спасибо большое. Давайте выслушаем тех кто в интернете, потому что у нас пока желающих нет.

Пустильник Л.А.:

Я могу говорить?

Председатель:

Да, да, пожалуйста

Пустильник Л.А.:

Хорошо. Просто небольшие замечания. Исследование интересное и очень полезное и я рекомендую со своей стороны. Но несколько исторических параллелей, замечаний. Начнем с того, что сказал Юра Шибанов. Именно в Специальной астрофизической обсерватории родилась идея наблюдательной релятивистской астрофизики, попытка искать прямо излучение и проявления релятивистских объектов, это было 50 лет назад. Но тогда задача была во многом решена другим образом, аналитически. Но что у нас тогда было примерно так. Отцом этой идеи был Витя Шварцман и он собрал первую команду и организовывал первые попытки, и я бы сейчас переформулировал эту идею, этот вопрос немного иначе. Сейчас например, по эволюционным соображениям, в нашей Галактике чуть меньше миллиарда одиночных черных дыр. Часть из них должна была родиться из отдельных звезд, не находящихся в парах, а часть пар разлетелась и их эволюционные связи сейчас выглядят иначе. Газ, в котором они находятся, должен как-то их проявлять. Почему-то, несмотря на 50 лет попыток поиска в нашей обсерватории, в десятках других, в других диапазонах и так далее, до сих пор

не удастся увидеть одиночную черную дыру. Я бы сформулировал проблему не как найти, а почему мы не можем найти сольную черную дыру. Несмотря на тысячекратный рост чувствительности, возможностей и прочее, мы их увидеть не можем. Вот это для меня является загадкой. С одной стороны, одиночная черная дыра обязана светиться, потому что какой-то газ на нее падает. Если газа много, он формирует кокон и это будет аккреционный свет и излучение, собственно, последнего горизонта, мы можем просто не разглядеть. Если газа мало, это слабый объект настолько, что мы до сих пор не можем увидеть его переменность. Магнитные поля не дают достаточной поляризации. И это пожалуй такая фазовая щель, где мы должны надеяться увидеть, собственно, одиночную черную дыру. В этом смысле работа Чмыревой крайне важна, она как бы сужает фазовое пространство поиска, потому что в таких ситуациях, несомненно, информация крайне важна. Теперь об ожиданиях, пусть после защиты ей в дальнейшем удастся найти, в конце-концов, кандидата который был бы черной дырой.

Председатель:

Спасибо большое. Мы немного ограничены во времени поскольку у нас еще одна защита, поэтому Марат, буквально несколько слов, восторженных.

Мингалиев М.Г.:

Я просто хочу развить мысль преимущества, изюминки этой диссертации, которую Моисеев Алексей излагал. Методики, которые излагались, первые пункты выносимые на защиту - они позволят быстро выяснять в будущих наблюдениях таких кандидатов. Это мне напомнило просто исторический момент в области исследований микроволнового фона, когда запускался проект Планк, команда к моменту появления наблюдательных данных уже

примерно до обработки выходили на великолепные результаты. Эта изюминка мне показалась очень интересной. Спасибо.

Председатель:

Спасибо большое. Ну что, мы завершаем дискуссию и даем Лизе возможность произнести заключительное слово, если можно тоже кратко.

Чмырева Е.Г.:

Я благодарю диссертационный совет за проделанную работу. Также выражаю благодарность авторам отзывов на мою работу Алексею Сергеевичу Расторгуеву, Юрию Анатольевичу Шибанову, Южному федеральному университету в лице Ирины Александровны Ачаровой, администрации САО РАН в лице Геннадия Геннадиевича Валявина, Елены Ивановны Кайсиной, соавторов обязательно и коллег по группе релятивистской астрофизики. Огромная благодарность моему научному руководителю Григорию Мееровичу Бескину, без которого эта работа была бы невозможна. Спасибо.

Председатель:

Хорошо. Надо голосовать. Надо принять комиссию. Вот Романюк предлагается, и Левшаков предлагается. Игорь Дмитриевич? Пожалуйста. Вы давно не работали. Кто согласен с таким составом, прошу голосовать. Все, единогласно, поэтому переходим к голосованию.

(проводится процедура тайного голосования)

Романюк И.И.:

Протокол номер 145 заседаний счетной комиссии избранной диссоветом Д

002.203.01 от 3 октября. Состав комиссии: Романюк, Караченцев и Левшаков. Комиссия избрана для подсчета голосов при тайном голосовании по диссертации Чмыревой Е.Г. на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Состав диссертационного совета утвержден в количестве 20 человек на срок действия номенклатуры специальностей научных работников приказом Минобрнауки России от 2.11.2012 г. №174/нк. Состав совета изменен приказом Минобрнауки РФ № 486/нк от 26 мая 2021 г.

Присутствовало на заседании 14 членов совета, в том числе докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации 13. Роздано бюллетеней 14. Осталось нерозданных бюллетеней 0. Оказалось в урне бюллетеней 14. Результаты голосования: за – 13, против – 0, 1 недействительный.

Председатель:

Прошу голосовать по протоколу. Утвердительно. Итак, мы поздравляем нашего молодого кандидата наук.

(совет рассматривает заключение)

Секретарь:

Надо голосовать

Председатель:

Голосуем за утверждение заключения нашего совета. Я не вижу. Все за. Можно расходиться.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д002.203.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ
СПЕЦИАЛЬНОЙ АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 3 октября 2022 г. № 146

О присуждении Чмырёвой Елизавете Георгиевне, Российская Федерация, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Поиск и исследование вероятных одиночных черных дыр звездных масс в избранных областях Галактики» по специальности 01.03.02 – «Астрофизика и звездная астрономия» принята к защите 28 июля 2022 г., протокол № 136, диссертационным советом Д002.203.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук, Российская академия наук, 369167, КЧР, Зеленчукский район, п. Нижний Архыз.

Соискатель, Чмырёва Елизавета Георгиевна, 1979 года рождения, в 2006 году окончила Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова по специальности «Астрономия», с 01.03.2006 г. по 01.03.2009 г. проходила обучение в очной аспирантуре Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, на данный момент работает в должности младшего научного сотрудника в группе релятивистской астрофизики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук.

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник группы релятивистской астрофизики САО РАН, Бескин Григорий Меерович.

Официальные оппоненты:

1. Расторгуев Алексей Сергеевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделом изучения Галактики и переменных звезд Государственного астрономического института имени П.К.Штернберга Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования “Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова”;

2. Шибанов Юрий Анатольевич, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории прикладной математики и математической физики ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования “Южный федеральный университет”, г. Ростов-на-Дону, в своем положительном заключении, подготовленном кандидатом физико-математических наук, доцентом, зав.кафедрой физики космоса ЮФУ Ачаровой Ириной Александровной, одобренном и утвержденном на заседании объединенного астрофизического семинара кафедру физики космоса ЮФУ и отдела радиофизики и космических исследований Научно-исследовательского института физики ЮФУ 23 августа 2022 года, утвержденном Проректором по научной и исследовательской деятельности федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет», доктором химических наук А. В. Метелицей указала, что диссертация является завершенным научным исследованием, удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.03.02 – «Астрофизика и звездная астрономия», а её автор Чмырёва Е.Г. безусловно заслуживает присуждения ей искомой степени.

Соискатель имеет одиннадцать опубликованных работ по теме диссертации (общим объемом 93 страницы), шесть из которых напечатаны в рецензируемых журналах. Наиболее значимые научные результаты по теме диссертации опубликованы в работах:

1. Е.Г.Чмырева, Г.М.Бескин: “О возможности прямого детектирования излучения микролинзы MOA-2011-BLG-191/OGLE-2011-BLG-0462 - вероятной черной дыры”, *Астрофизический бюллетень*, 77, 3, 250-257 (2022),
2. L.Chmyreva, G.Beskin “Peculiar objects in the birthplaces of radio pulsars — stellar-mass black hole candidates”, *Astrophysical Bulletin*, 77, 1, 65-77 (2022),
3. L.Chmyreva, G.Beskin: “On the possible connection between galactic featureless-spectrum sources and stellar-mass black holes”, *Contrib. Astron. Obs. Skalnat Pleso*, 50, 1, 235-243 (2020),
4. L.Chmyreva, G.Beskin, S.Karpov: “Searching for isolated stellar mass black hole candidates by analyzing the kinematics of their former companions in disrupted binary systems”, *Contrib. Astron. Obs. Skalnat Pleso*, 47, 137-142 (2017),
5. L.Chmyreva, G.M.Beskin, A.V.Biryukov: “Search for possible connections between isolated radio pulsars and supernova remnants”, *Astrophysical Bulletin*, 67, 2, 160-176 (2012),
6. L.Chmyreva, G.M.Beskin, A.V.Biryukov: “Search for pairs of isolated radio pulsars - components in disrupted binary systems”, *Astronomy Letters*, 36, 2, 116-133 (2010).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается темой исследования, высокой компетентностью в вопросах, рассматриваемых в диссертационной работе.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1 - Разработан метод поиска вероятных ассоциаций одиночных релятивистских объектов, входивших в состав распавшихся двойных систем. Обнаружены с высокой вероятностью их связи в шести парах пульсаров и двух парах пульсар - остаток сверхновой.

2 - Разработана методика отбора объектов-кандидатов в одиночные ЧД звездных масс по совокупности теоретически предсказанных для них наблюдательных проявлений. Сформирована выборка этих объектов на основании кросс-отождествления баз данных в разных диапазонах.

3 - Обнаружено восемь пекулярных объектов-кандидатов в одиночные ЧД в областях вероятного распада четырех двойных систем, состоящих из релятивистских объектов. Доказано, что с вероятностью около 30% хотя бы один из них является ЧД.

4 - Проведен теоретический анализ наблюдательных проявлений вероятной ЧД-микрولينзы MOA-191/OGLE-0462. Доказана возможность прямого детектирования излучения аккрецирующего на нее газа в наблюдениях с помощью существующих и проектируемых телескопов разных диапазонов.

Теоретическая значимость диссертационной работы обоснована тем, что проведенный массовый анализ кинематики релятивистских объектов с помощью разработанного метода позволяет определять области их рождения и оценивать вероятности их гравитационной связанности в прошлом. Разработанный подробный алгоритм отбора объектов-кандидатов в ЧД позволит быстро выявлять пекулярные объекты для дальнейшего исследования. Представленный метод определения локальных свойств межзвездной среды в местах локализации кандидатов позволяет определять для них темп аккреции и светимость. Предложенная процедура сравнения наблюдаемых параметров кандидатов с теоретическими позволяет получить вероятностную оценку их принадлежности к ЧД.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

1 - При выполнении диссертационного исследования определены места рождения релятивистских объектов и оценены вероятности их гравитационной связи в прошлом.

2 - Разработан четкий алгоритм отбора кандидатов в ЧД по фотометрическим, спектральным, кинематическим данным в разных диапазонах и определены их параметры.

3 - Полученные оценки светимости и спектра пары MOA-2011-BLG-191/OGLE-2011-BLG-0462, которая представляет большой интерес, как один из лучших кандидатов в одиночные ЧД звездных масс, позволят планировать наблюдательные программы по ее исследованию.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

Достоверность научных результатов диссертации определяется проведением тщательных вычислений искомых параметров, в том числе авторскими методами, всесторонним анализом полученных результатов и их сопоставлением с результатами других авторов. В работе использовались принятые в астрофизике строгие статистические методы. По теме диссертации опубликовано 11 статей в научных изданиях, 6 из которых включены в список ВАК. Все представленные к защите результаты прошли апробацию на 12 всероссийских и международных конференциях.

Личный вклад автора в обсуждение и интерпретацию результатов во всех статьях равен вкладу других соавторов, при этом вклад автора в подготовке статей к печати является определяющим. Автору принадлежат: отбор пар пульсаров и пар пульсар-остаток сверхновой; моделирование траекторий и определение вероятности связи совместно с соавторами; формирование выборки радиопульсаров, определение областей их рождения; отбор кандидатов в ЧД и вычисление их параметров; анализ соответствия наблюдательных характеристик теоретическим и определение вероятностей совместно с

