

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени «доктор философии» (PhD)
по специальности «6D061100 – Физика и астрономия»

КУРМАНОВ ЕРГАЛИ БЕРЖИГИТОВИЧ

ОПТИЧЕСКИЕ И КИНЕМАТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕМНОЙ МАТЕРИИ С НЕНУЛЕВЫМ ДАВЛЕНИЕМ

Диссертационная работа посвящена исследованию кинематических и оптических свойств темной материи с ненулевым давлением.

Актуальность темы.

Согласно современным представлениям о субстанциональной структуре Вселенной, она на 68,3% состоит из темной энергии (часто отождествляемой с космическим вакуумом), на 26,8% – из темной материи и 4,9 % барионного вещества – первичная плазма и излучение. В процессе эволюции Вселенной эти виды субстанций играют различную роль. Так, космический вакуум ответственен за расширение Вселенной, темная материя обеспечивает устойчивость ее крупномасштабных структур (галактик и их скоплений), а барионное вещество является «строительным» материалом самих галактик, звездных кластеров, звезд и планет.

Структура, морфология и эволюция галактик в настоящее время основываются на двух важных предположениях: 1) наличие сверхмассивной черной дыры в центре почти каждой спиральной галактики и 2) существование гало темной материи, окружающее каждую галактику.

Современные теоретические модели образования сверхмассивных черных дыр не объясняют распределение масс черных дыр с расстоянием. Неясно, как и когда образовались сверхмассивные черные дыры, т.е. их формирование гораздо менее изучено. Известно, что большое количество кандидатов в сверхмассивные черные дыры с массой в миллиард раз превышающую массу Солнца наблюдались в ранней Вселенной. Самый яркий пример — кандидат в черные дыры ULAS J1342+0928 с массой, измеренной в диапазоне $\sim 800 \cdot 10^6 M_{\odot}$ и расположенной на $z = 7,54$, т.е. достаточно близко к Большому взрыву.

В настоящее время, за исключением Sgr-A* в Млечном Пути и кандидата в сверхмассивные черные дыры в галактике M87, наиболее распространенным методом, используемым для определения массы таких объектов, является измерение спектров, испускаемых их аккреционными дисками.

Теория аккреции черных дыр была разработана Новиковым и Торном (1973 г), и Пейджом и Торном (1974 г), и в течение последних лет она успешно применялась к астрофизическим кандидатам в черные дыры для

объяснения особенностей их наблюдаемого спектра. Однако наблюдения почти всегда интерпретируются, предполагая наличие черной дыры в вакууме. Только в последние годы было предпринято несколько попыток изучения теоретических свойств аккреционных дисков в геометрии, отличной от метрики Керра.

В отличие от обычного видимого/барионного вещества, темная материя не участвует в электромагнитных взаимодействиях. Она проявляет себя только через гравитацию и поэтому пока не существует прямых методов ее наблюдений. Также темная материя применялась для объяснения одной из фундаментальных проблем современной физики и космологии – барионной асимметрии Вселенной; для описания происхождения различных типов темной материи; для нахождения масс частиц-носителей темной материи.

Значительное внимание исследователей привлекали и вопросы о влиянии темной материи на формирование галактик. Астрономические наблюдения показывают, что темная материя в основном концентрируется вокруг крупномасштабных космических объектов типа галактик и их кластеров.

Существование темной материи косвенно подтверждено при наблюдении за движением горячего газа в скоплениях галактик и эффектом гравитационного микролинзирования. Однако природа темной материи до сих пор неизвестна, так как не обнаружено подходящих кандидатов в частицу темной материи.

Некоторые модели предполагают, что темная материя состоит из класса слабовзаимодействующих массивных частиц, а другие из легких частиц. Считается, что различные феноменологические профили распределения плотности объясняют наблюдаемые кривые вращения в галактиках. Например, для галактики Млечный Путь разные профили темной материи используются для получения информации о кривых вращения от центральной части галактики до гало.

Гало темной материи простираются по всей галактике от внешних областей к центру. Поэтому целесообразно рассмотреть возможность того, что центральное распределение может повлиять на геометрию области.

Один из актуальных вопросов современности касается проблемы влияния распределение темной материи на движение пробных частиц в аккреционном диске в гравитационном поле черной дыры, а также на дифференциальную и спектральную светимость диска. В литературе аналогичные проблемы пока рассматривались для темной материи только с изотропным (радиальным) давлением.

Исходя из перечисленных выше современных проблем космологии диссертационная работа: **«ОПТИЧЕСКИЕ И КИНЕМАТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕМНОЙ МАТЕРИИ С НЕНУЛЕВЫМ ДАВЛЕНИЕМ»** посвящена исследованиям роли темной материи с анизотропным давлением со всеми вытекающими последствиями.

Цель работы.

Исследование влияния темной материи на кривые вращения спиральных галактик, включая Млечный Путь, а также на физические характеристики аккреционного диска в гравитационном поле сверхмассивной черной дыры.

Объектом исследования являются галактики: U11454, U5750, ESO0140040 и Млечный Путь; темная материя, статическая черная дыра и аккреционный диск.

Предмет исследования.

Светимость аккреционного диска: дифференциальная и спектральная, масса темной материи; радиальное и тангенциальное давление темной материи, скорость звука, показатель преломления.

Методы исследования.

Методы численного решения дифференциальных уравнений, нелинейный метод наименьших квадратов Левенберга-Марквардта, метод Байесовского анализа, метод анализа Акаике, дифференциальная геометрия, тензорный анализ.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие **задачи**:

1 Вычисление угловой скорости, углового момента пробных частиц в аккреционном диске вокруг статической черной дыры, окруженной темной материей с анизотропным давлением.

2 Определение энергии пробных частиц, потока электромагнитного излучения и дифференциальной светимости аккреционного диска в зависимости от характерных параметров модели темной материи.

3 Изучение поведения спектральной светимости аккреционного диска.

4 Выполнение расчетов эффективности излучения аккреционного диска, т.е. количества массы покоя диска, которое преобразуется в излучение.

Новизна работы.

Новизна и оригинальность диссертационной работы заключаются в том, что в ней **впервые**:

1 Получены угловая скорость и угловой момент пробных частиц в аккреционном диске в присутствии и в отсутствие темной материи с анизотропным давлением в гравитационном поле статической сверхмассивной черной дыры.

2 Вычислены энергия пробной частицы, излучающий поток и дифференциальная светимость аккреционного диска в присутствии и в отсутствие темной материи с анизотропным давлением вокруг статической сверхмассивной черной дыры.

3 Проведено сравнение спектральной светимости аккреционного диска в присутствии и в отсутствие темной материи вокруг черной дыры.

4 Найдена зависимость радиационной эффективности источника от параметра анизотропии давления темной материи для различных плотностей.

Положения, выносимые на защиту:

1 Анизотропность давления темной материи приводит к снижению угловой скорости и углового момента пробных частиц в аккреционном диске в зависимости от радиального расстояния по сравнению с черной дырой без темной материи.

2 Значение энергии пробной частицы, поток электромагнитного излучения и дифференциальная светимость аккреционного диска вокруг статической черной дыры в присутствии темной материи с анизотропным давлением на малых расстояниях по величине превосходят и по мере увеличения расстояния уменьшаются относительно значений, характерных для черной дыры без темной материи.

3 Зависимость спектральной светимости аккреционного диска от знака параметра анизотропии давления темной материи: а) для положительных значений параметра анизотропии светимость во всем интервале частот излучения превосходит характерные значения для черной дыры без темной материи; б) для отрицательных значений параметра анизотропии светимость аккреционного диска на малых частотах меньше, а на больших больше по сравнению с черной дырой без темной материи.

4 С уменьшением параметра анизотропии эффективность излучения аккреционного диска в присутствии темной материи возрастает в интервале 5,85-5,87%, тогда как эффективность для черной дыры без темной материи составляет 5,72%.

Теоретическая и практическая значимость исследования.

Результаты, полученные в данной диссертации, вносят существенный вклад в современное представление об оптических и кинематических эффектах темной материи. Они также представляют ценность для развития релятивистской астрофизики, космологии, физики элементарных частиц и могут быть использованы в преподавании в ВУЗах для специальности «Физика и Астрономия».

Достоверность и обоснованность полученных результатов прежде всего определяется тем, что они хорошо согласуются с существующими наблюдательными данными. Кроме того, полученные результаты дополняют известные оптические и кинематические свойства темной материи. Помимо этого, достоверность и обоснованность результатов подтверждаются наличием публикаций в журналах дальнего зарубежья с достаточно высоким импакт-фактором и в изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки МОН РК, и в трудах международных научных конференций ближнего и дальнего зарубежья.

Личный вклад автора заключается в том, что весь объем диссертационной работы, выбор метода исследования и численные расчеты выполнены автором самостоятельно. Постановка задач и обсуждение результатов проводились совместно с научными руководителями.

Публикации.

По материалам диссертационной работы опубликовано 18 печатных работ: 2 в журналах из Перечня КОКСОН МОН РК для опубликования

основных результатов диссертации на соискание ученой степени PhD, 1 в англоязычных журналах Казахстана и 5 в журналах дальнего зарубежья с импакт-фактором, входящих в международный информационный ресурс Web of Science (Clarivate Analytics) и Scopus; 10 работ в материалах Международных научных конференций.

Апробация диссертационной работы.

Результаты, полученные в диссертационной работе, докладывались и обсуждались:

– на 2-ом ежегодном собрании Казахского физического общества (2019, Алматы, Казахстан);

– на Международной научной конференции студентов и молодых ученых «Фараби Элемі» (2019, 2020, 2021, 2022 Алматы, Казахстан);

– на Международной научной онлайн конференции Sixteenth Marcel Grossmann Meeting, Рим, Италия, 07.07.2021г.;

– на Казахско-узбекском семинаре по теме: «Светимость аккреционного диска статической черной дыры, окруженной темной материей с анизотропным давлением» (18.03.2022 г.);

Диссертационная работа частично выполнена в рамках проекта молодых ученых 2020-2022гг. (КМУ), финансируемого из государственного бюджета. Тема проекта: "Астрофизические следствия звезд белых карликов" и ИРН: AP08052311

Объем и структура диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, 4 разделов, заключения и списка использованных источников из 212 наименований, содержит 106 страниц основного компьютерного текста, включая 60 рисунков, 93 формул и 13 таблиц.