

АННОТАЦИЯ

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

ЖУМАХАНОВА ГҮЛНҮР ДҮЙСЕНҒАЛИҚЫЗЫ

ПРОФИЛИ ТЁМНОЙ МАТЕРИИ В ГАЛАКТИЧЕСКИХ БАЛДЖАХ И ГАЛО

Диссертационная работа посвящена исследованию одной из важнейших проблем космологии, астрофизики и физики элементарных частиц - свойств тёмной материи

Актуальность темы

Тёмной материей называется таинственный вид материи, которая не излучает и не поглощает электромагнитное излучение. Тёмная материя косвенно проявляет себя только через гравитационное взаимодействие. Её наличие можно зарегистрировать, изучив кривые вращения галактик, а также гравитационные линзы. Кривая вращения показывает зависимость линейной скорости объектов (звёзд, газа и т.д.) от радиальной координаты от центра до гало галактик. Цвикки (1933,1937) измерил красные смещения галактик в скоплении Комы. Он обнаружил, что скорости движения отдельных галактик в кластере намного больше, чем скорость, рассчитанная общей видимой массой кластера. Он пришел к предположению, что единственный способ объяснения быстрого вращения - это наличие скрытой массы, которая не видна в кластере. По его оценкам, количество скрытой массы, т.е. тёмной материи в этом кластере может быть в 10 раз больше общей видимой (барионной) массы кластера. Робертс (1966), Рубин и Форд (1970) обнаружили, что кривые вращения спиральных галактик плоские к периферии галактик. Это противоречит ожидаемым теоретическим результатам, потому что яркость галактик быстро уменьшается при приближении к периферии, и в этой области ожидается кеплеровское снижение кривой вращения. Эта разница в теоретических и наблюдаемых кривых вращениях является доказательством существования тёмной материи.

На сегодняшний день проблема, связанная с присутствием тёмной материи в космосе, о существовании которой можно утверждать из заключений, исходящих из известных законов тяготения, особенно при наблюдении кривой вращения галактик, является весьма актуальными. В современной астрофизике, предлагаемые математические модели, а также ряд косвенных экспериментальных данных говорят о наличии скрытой массы.

Данные астрофизических наблюдений однозначно свидетельствуют о наличии в нашей Вселенной, так называемых тёмной материи и тёмной энергии, причём в масштабах значительно превосходящих обычную барионную материю. В целом современная картина мира выглядит так: на обычное вещество приходится около 5% всей массы-энергии во Вселенной, в то время как остальные 95% имеют совершенно иную, необычную, вызывающую массу вопросов природу. При этом на так называемую тёмную материю приходится около 27% заполняющего Вселенную вещества, а за остальные 68% отвечает субстанция со схожим названием – тёмная энергия.

В любом случае, как только будет признано, что большая часть материи во Вселенной тёмная, ожидается, что этот компонент будет определять условия для формирования крупномасштабных структур, таких как галактики и их скопления. Поэтому чрезвычайно важно исследовать и установить количество тёмной материи в различных галактиках, включая галактику Млечный Путь.

В литературе обычно рассматривают уравнение состояния тёмной материи в гало галактики, а в диссертационной работе основное внимание уделяется на все компоненты галактики: это ядро, внутренний балдж, основной балдж, диск и гало. Для моделирования кривой вращения в гало галактики Млечный Путь, в основном, используют профиль плотности тёмной материи Наварро-Френк-Уайта. Однако, как известно, в центре галактики при $r=0$, плотность профиля Наварро-Френк-Уайта стремится к бесконечности, что приводит к так называемой проблеме каспа.

При исследовании движения звёзд в центральной части галактики, считают, что в центре находится сверхмассивная чёрная дыра, и данное утверждение не противоречит наблюдениям. В то же время центральная часть галактики не активна, то есть не испускает рентгеновские или гамма-лучи, которые присуще чёрным дырам. Поэтому было предположено, что в центре галактики находится сгусток тёмной материи с такой же полной массой как у сверхмассивной чёрной дыры, и было исследовано движение звёзд в поле данного объекта. В литературе есть аналогичные работы, в которых предполагаются различные модели распределения плотности. Например, модель Руффини-Аргельеса-Руеды предполагает, что в центре галактики находится некий компактный объект, состоящий из фермионов, а не сверхмассивная чёрная дыра. В отличие от данной работы мы применяем простые феноменологические профили плотности тёмной материи, которые широко известны в литературе.

Целью работы является исследование распределения тёмной материи в различных спиральных галактиках, включая галактику Млечный Путь с учётом её ядра, балджа, диска и гало, вычисление массы тёмной материи, используя известные феноменологические профили плотности, а также

вывод уравнения состояния тёмной материи, скорости звука и анализ траектории звёзд в центральной части галактики Млечный Путь.

Объектом исследования являются галактики NGC 2403, NGC 3627, NGC 2976, DDO 154, NGC 1560, NGC 5585, U11454 и галактика Млечный Путь, тёмная материя.

Предмет исследования:

Кривые вращения галактик. Уравнения состояния для тёмной материи. Скорость звука в распределении тёмной материи. Траектории пробных тел (звёзд) в центре галактики Млечный Путь.

Методы исследования. Аналитические и численные методы решения нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка, метод наименьших квадратов, Байесовский информационный критерий.

Задачи исследования:

1. Провести анализ кривых вращения галактик NGC 2403, NGC 3627, NGC 2976, DDO 154, NGC 1560, NGC 5585, включая Млечный Путь, и вычислить основные параметры моделей тёмной материи, такие как центральная плотность, масштабный радиус и полная масса тёмной материи;

2. Получить профиль давления для тёмной материи из уравнения гидростатического равновесия и вычислить зависимость скорости звука от радиальной координаты;

3. Исследовать движение звёзд во внутренней части галактики на расстояниях меньше 100 астрономических единиц от центра для двух предельных случаев: 1) в гравитационном поле сверхмассивной чёрной дыры в вакууме и 2) в поле распределения тёмной материи без чёрной дыры.

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

1 Был использован профиль экспоненциальной сферы для распределения тёмной материи во всех структурных частях галактики Млечный Путь, и было выявлено, что профиль экспоненциальной сферы является оптимальной моделью среди феноменологических профилей плотности тёмной материи из литературы и вычислены соответствующие массы, масштабные радиусы и центральные плотности для всех компонент галактики;

2 Получен профиль давления из оптимального профиля плотности тёмной материи в галактике Млечный Путь и вычислена зависимость скорости звука от радиальной координаты;

3 Исследованы траектории движения звёзд в окрестности центра Галактики на расстояниях меньших 100 астрономических единиц в гравитационном поле сверхмассивной чёрной дыры в вакууме и тёмной материи без чёрной дыры.

Положения, выносимые на защиту:

1. Для описания кривой вращения Галактики оптимальным распределением тёмной материи является профиль экспоненциальной плотности (сферы) $\rho_{\text{Эксн}}(r) = \rho_0 e^{-r/r_0}$ с параметрами: для ядра

$\rho_0 = 5,8 \cdot 10^{19} \text{ M}_\odot / \text{пк}^3$, $r_0 = 1,4 \cdot 10^{-5} \text{ пк}$, $M = 4,2 \cdot 10^6 \text{ M}_\odot$; внутреннего балджа $\rho_0 = 3,6 \cdot 10^4 \text{ M}_\odot / \text{пк}^3$, $r_0 = 3,8 \text{ пк}$, $M = 5 \cdot 10^7 \text{ M}_\odot$; основного балджа $\rho_0 = 190 \text{ M}_\odot / \text{пк}^3$, $r_0 = 120 \text{ пк}$, $M = 8,4 \cdot 10^9 \text{ M}_\odot$; диска $\rho_0 = 0,15 \text{ M}_\odot / \text{пк}^3$, $r_0 = 3000 \text{ пк}$, $M = 4,4 \cdot 10^{10} \text{ M}_\odot$; для гало $\rho_0 = 7,56 \cdot 10^{-3} \text{ M}_\odot / \text{пк}^3$, $r_0 = 12 \cdot 10^3 \text{ пк}$, $M = 2,63 \cdot 10^{10} \text{ M}_\odot$.

2. Равновесие тёмной материи в Галактике с экспоненциальным профилем распределения приводит к зависимости скорости звука от радиального расстояния, которая качественно соответствует поведению кривой вращения.

3. Круговые орбиты в гравитационном поле чёрной дыры в вакууме на расстоянии менее чем 30 астрономических единиц становятся прецессирующими эллиптическими орбитами в поле распределения тёмной материи с профилем экспоненциальной сферы без чёрной дыры.

Теоретическая и практическая значимость исследования

Результаты, полученные в данной диссертации, будут весьма полезны для объяснения кривой вращения различных галактик и для вычисления массы тёмной материи. Помимо этого, знание массы тёмной материи в гало позволит наблюдать и изучать отдельные удаленные астрофизические объекты. Исследования, проведенные в этой диссертационной работе, представляют теоретическую и практическую значимость для расширения наших знаний в областях релятивистской астрофизики, космологии и физики элементарных частиц.

Достоверность и обоснованность полученных результатов подтверждаются наличием публикаций в журналах дальнего зарубежья с 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, решения задач и численные расчеты выполнены автором самостоятельно. Постановка задач и обсуждение результатов проводились совместно с научными руководителями.

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 11 печатных работ: 2 в журналах из перечня КОКСОН МОН РК, для опубликования основных результатов диссертации на соискание ученой степени PhD и 1 статья входящая в 1 (первый) квартиль в базе Web of Science с импакт-фактором 5.287 и SJR 2.06; 1 работа в англоязычном издании Казахстана и 7 работ в материалах Международных научных конференций.

Апробация диссертационной работы. Результаты, полученные в диссертационной работе, докладывались и обсуждались:

– на Международной научной конференции студентов и молодых ученых «Фараби Әлемі» (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: «Эффекты ненулевого давления тёмной материи в галактике Млечный Путь» (28.02.2021 г.);

– на Казахско-узбекском семинаре по теме: «Исследование профилей тёмной материи в галактических балджах и гало» (11.02.2022 г.);

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 5 разделов, заключения и списка использованных источников из 156 наименований, содержит 106 страниц основного компьютерного текста, включая 47 рисунков и 13 таблиц.