

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

**Физический
ИНСТИТУТ**



*имени
П.Н.Лебедева*

Российской академии наук

Ф И А Н

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

Дата 25.02.2022 г.

УТВЕРЖДАЮ

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

_____ Н.Н. Колачевский

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

Диссертация «Моделирование наблюдательных проявлений темной материи» выполнена в Астрокосмическом центре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физический институт имени П. Н. Лебедева Российской академии наук. В период подготовки диссертации соискатель Ткачев Максим Вячеславович работал в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физический институт имени П. Н. Лебедева Российской академии наук, Астрокосмический центр (АКЦ ФИАН), в должности младшего научного сотрудника.

В 2012 г. окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», физический факультет по специальности астроном. С 2014 по 2018 г. обучался в очной аспирантуре ФИАН.

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов № 08-21 выдано 20.05.2021 Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Физический институт имени П.Н. Лебедева Российской академии наук.

Научный руководитель: Пилипенко Сергей Владимирович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник отдела теоретической астрофизики АКЦ ФИАН.

Рецензентом выступил: Дорошкевич Андрей Георгиевич, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник отдела теоретической астрофизики АКЦ ФИАН.

Доклад М.В. Ткачева по результатам диссертационной работы «Моделирование наблюдательных проявлений темной материи» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности

01.03.02 «астрофизика и звездная астрономия» был заслушан и обсужден на общем астрофизическом семинаре АКЦ ФИАН 15 ноября 2021 г.

Актуальность темы

Диссертация посвящена исследованию трех важных для астрофизики и космологии задач, связанных с наблюдательными проявлениями темной материи. Темная материя доминирует по массе над обычной материей, и поэтому образование и эволюция галактик и других элементов структуры Вселенной во многом определяется эволюцией темной материи.

Первая задача, описанная в Главе 1, нацелена на поиск решения так называемой проблемы каспов. Эта проблема состоит в том, что численные модели образования гало темной материи предсказывают универсальный профиль плотности темного гало, который ведет себя как $1/r$ вблизи центра гало. Такой профиль плотности называют каспом. В то же время многие наблюдаемые галактики показывают более плоские профили плотности. Проблема существует уже более 10 лет, пока не имеет решения и до сих пор остается актуальной. В первой главе диссертации с помощью специальных численных моделей исследуются причины возникновения профиля вида $1/r$ в центре гало.

Вторая глава диссертации посвящена моделированию каталога инфракрасного излучения галактик. Далекие галактики образуют инфракрасный фон, и возникает задача разделения этого фона на отдельные галактики. Задача важна для планирования работы обсерватории «Миллиметрон». Для этого в главе 2 диссертации строится модель ИК фона неба, основанная на численных моделях эволюции гало темной материи, которые затем идентифицируются с галактиками. Это позволяет предсказать свойства фона с нужной для обсерватории «Миллиметрон» точностью.

Третья глава посвящена исследованию предположения, что часть темной материи может состоять из первичных массивных черных дыр. Эта гипотеза существует десятилетия, но в последние несколько лет она связывается с обнаружением слияния черных дыр детектором гравитационных волн LIGO. Эти события трудно объяснить в рамках звездной эволюции. Поэтому их связывают с небольшой фракцией темной материи, состоящей из первичных черных дыр. В диссертации представлены результаты численного моделирования эволюции системы из массивных первичных черных дыр под действием силы тяготения в присутствии фона из однородной темной материи. Это оригинальная работа, и в ней получены интересные результаты об эволюции систем первичных черных дыр.

Цель диссертационной работы состоит в исследовании того, как свойства темной материи проявляются в строении и распределении галактик, а также в сигналах, полученных с гравитационно-волновых детекторов.

Для достижения этой цели соискателем были поставлены и решены следующие **задачи**:

1) Исследовать и проверить энтропийный подход к проблеме образования гало темной материи и развить идею «энтропийной модели». 2) Разработать метод, позволяющий измерить начальную энтропию темного гало в численных моделях и сравнить ее с предсказаниями теории. 3) Построить модель фона

созданного далекими галактиками, излучающими в дальнем инфракрасном (ИК) диапазоне. 4) Оценить на основе численных моделей образования гало как предсказания модели ИК-фона согласуются с существующими данными о подсчетах источников. 5) Проанализировать процессы образования и разрушения гравитационно-связанных пар ПЧД при взаимодействии большого числа ПЧД, а также слияния как связанных, так и несвязанных пар, и оценить вероятность таких событий. 6) Оценить влияние численных эффектов моделирования на результат и определить основной фактор разрушения гравитационно-связанных пар.

Научная новизна работы

Прежде всего отметим, что этот цикл работ возрождает в России расчёты больших численных моделей с использованием суперкомпьютеров, как российских (в МГУ), так и зарубежных (в Барселоне). Эта практика заслуживает поддержки.

Разработан оригинальный способ оценки «фоновой» энтропии темной материи и показано ее влияние на формирование внутренней структуры гало ТМ. Впервые было показано, что касп в гало возникает из областей начального распределения материи, имеющих энтропию на порядок ниже, чем в среднем по Вселенной (внутри случайно выбранной сферы с массой каспа).

Впервые при построении полуаналитической модели ИК-фона неба, были учтены данные расчета крупномасштабной структуры Вселенной, а также получены модельные карты ИКФ, которые можно использовать в сочетании с разными алгоритмами поиска источников. Данная модель может быть полезна и при обсуждении фонов для космических телескопов дальнего ИК-диапазона 10-метрового класса, и при сравнении пространственного распределения пиков интенсивности ИК фона с крупномасштабной структурой.

Впервые получены оценки темпов формирования, слияния и разрушения пар ПЧД, учитывающие взаимодействие с другими ПЧД и образовавшимися из них структурами. Также впервые было показано, что основным фактором, ответственным за процессы формирования, разрушения и слияния пар ПЧД, является возникновение гравитационно-связанных структур при красных смещениях, соответствующих эпохе равномерного излучения и вещества. В свою очередь, оценки влияния численных эффектов могут оказаться полезными для будущих исследований выполненных данным методом.

Все темы заслуживают проведения дальнейших исследований.

Достоверность полученных в диссертации результатов основывается на использовании проверенных численных кодов для расчетов, на сопоставлении с результатами других авторов. Результаты прошли апробацию на российских и международных конференциях.

Ценность и практическая значимость работы

Результаты диссертации М.В. Ткачева должны быть использованы при подготовке к проведению наблюдений на будущих космических телескопах

дальнего ИК-диапазона. Модель ИК-фона из второй главы позволяет лучше оценить перспективы будущих наблюдений в этом диапазоне.

Результаты первой и третьей глав будут полезны при проведении дальнейших исследований распределения темной материи в центрах гало и возможного вклада первичных черных дыр в темную материю. Так полученные в первой главе оценки энтропии внутри темного гало должны учитываться при разработке новых моделей эволюции гало темной материи, связывающих начальное и конечное состояния гало. В третьей главе получены важные оценки темпа слияния черных дыр в гравитационно-связанных гало. Эти результаты необходимо учитывать в расчетах слияния первичных черных дыр.

Личный вклад

Соискатель совместно с соавторами участвовал в постановке исследовательских задач, выборе методов их решения, анализе полученных данных, интерпретации и обсуждении результатов, и формулировке выводов работы. Во всех выносимых на защиту результатах личный вклад соискателя является основным и определяющим.

Апробация результатов

Результаты диссертационной работы М.В. Ткачева докладывались и обсуждались на семинарах АКЦ ФИАН, на российских и международных конференциях.

Диссертация соответствует всем требованиям, установленным пунктами 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842. Диссертация соответствует специальности «астрофизика и звездная астрономия» по физико-математическим наукам (01.03.02).

Материалы диссертации представлены соискателем в трех научных статьях, опубликованных в рецензируемых журналах из списка ВАК. Содержание диссертации изложено доступно, корректно и полно.

Диссертационная работа Ткачева Максима Вячеславовича «Моделирование наблюдательных проявлений темной материи» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности «астрофизика и звездная астрономия» (01.03.02).

Заключение принято на заседании ученого совета АКЦ ФИАН. Присутствовало на заседании 13 чел. Результаты голосования: "за" 13 чел., "против" 0 чел., "воздержались" 0 чел., протокол № 2/22 от 24 февраля 2022 г.

Руководитель АКЦ ФИАН,
д.ф.-м.н. С.Ф. Лихачев