СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета 24.1.212.01

протокол N 20 от 24 ноября 2025 г.

Председатель: доктор физ.-мат. наук,
Моисеев Алексей Валерьевич

Учёный секретарь: кандидат физ.-мат. наук
Шолухова Ольга Николаевна

Состав совета – 13 человек, присутствуют – 12:

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., Макаров Д.И. 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., Сачков М.Е. 01.03.02

д.ф.-м.н., Барков М.В. 01.03.02

Председатель:

Дорогие коллеги, у нас присутствует 12 членов диссертационного совета из 13-ти списочного состава, поэтому есть кворум, и мы можем начинать наше заседание. В связи с отсутствием председателя совета, заседание веду я, заместитель председателя Моисеев Алексей Валерьевич. Итак, на рассмотрении сейчас диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук Данилы Дмитриевича Макарова: «Анализ скоростей близких карликовых галактик и оценка массы Млечного Пути, Туманности Андромеды и Местной Группы». Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук. Научный руководитель - доктор физико-математических наук, профессор РАН Макаров Дмитрий Игоревич. Официальные оппоненты: Сильченко Ольга Касьяновна, доктор физико-математических наук, Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга, Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, заместитель директора по научной работе (присутствует в зале); второй оппонент - Пилипенко Сергей Владимирович, кандидат физико-математических наук, Физический институт им. П. Н. Лебедева, Российская академия наук, высококвалифицированный старший научный сотрудник (присутствует в зале). Ведущая организация - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт астрономии Российской академии наук. Попрошу секретаря совета изложить содержание поданных документов.

Секретарь:

Все документы поданы в полном объеме и вовремя все. Все нормально. Прошу выключить свет с этой стороны.

Председатель:

Замечательно. Данила Дмитриевич, Вы можете начинать доклад. Спасибо.

Макаров Д.Д.:

Добрый день, меня зовут Данила Макаров, я представляю свою диссертационную работу, выполненную в Специальной астрофизической обсерватории РАН под руководством Макарова Дмитрия Игоревича.

Об актуальности. Проблема темной материи известна еще с 1933 года. Еще Фриц Цвикки обнаружил, что масса скопления в сотни раз превышает

наблюдаемую звездную массу. С тех пор его выводы только подтверждались и обобщались, и проблема скрытой массы актуальна по сей день. Такие современные обзоры, как SDSS, Pan-STARRS и другие, за последние десятилетия позволили обнаружить десятки новых спутников-карликовых галактик в Местной группе. Здесь, на диаграмме «светимость - расстояние», хорошо видно, как мы теряем возможность наблюдать более слабые объекты с расстоянием. Таким образом, Местная группа является уникальной по населённости, и её изучение очень актуально. Также актуальность оценки массы Млечного Пути и Андромеды можно проиллюстрировать, например, картинкой из обзора Wang и др. 2020-го года. Здесь приведены разные оценки массы в зависимости от использованного метода. Видно, что эти оценки известны с точностью до фактора двойки, что актуально также и для Андромеды. Таким образом, работы по изучению кинематики Местной группы не теряют своей актуальности.

Основные цели и задачи данной работы состоят в изучении кинематики карликовых галактик в Местной группе, также оценке массы Млечного Пути, Андромеды и Местной группы в целом. Внимание в данной работе было сконцентрировано по большей части на лучевых скоростях, поскольку тангенциальные скорости, к сожалению, для более удаленных объектов известны с достаточно большими ошибками.

Здесь приведена структура работы, которая соответствует трем статьям, выпущенным в ее ходе. Соответственно, начнем с первой. Это изучение кинематики спутников Млечного Пути. Здесь слева показано распределение этих спутников на небе. Цветом показаны скорости, хорошо можно видеть дипольную составляющую, которая появляется из-за движения Солнца относительно центра Галактики. Справа показано распределение скоростей этих спутников. Видно, что на расстоянии до примерно 240 килопарсек они хорошо вириализованы, скорости рандомизированы. Был определен апекс (вектор) движения Солнца по спутникам для разных выборок. Таким образом, мы видим, что для выборок на расстоянии больше 100 килопарсек мы получаем примерно ожидаемое значение в районе 270 км/с. При этом для внутренних (вокруг) мы видим большой пик, отклонение в районе 230 км/с. Пик приходится на Большое Магеллановo Облако. Таким образом, одним из самых логичных предположений было, что эта аномалия вызвана первым пролетом Большого Магелланова Облака со своей свитой. Путем исключения восьми наиболее возмущающих спутников мы получили вот такую картину

бегущего апекса, которая соответствует нашим ожиданиям. Здесь справа показано восемь галактик, которые были исключены. Четыре из них связаны с Большим Магеллановым Облаком. Для проверки гипотезы было проведено моделирование эволюции системы сначала назад во времени, с учетом влияния Большого Магелланова Облака, потом вперед во времени уже без Магелланова Облака, таким образом, чтобы исключить аномальный диполь.

Видим, что для массы Большого Магелланова облака в районе примерно $2x10^{11}$ масс Солнца получается исключить аномальное поведение. Дальше было произведено более полноценное N-body моделирование пролета одного гало через другое. Таким образом, мы смогли получить похожее поведение тестовых частиц, в данном случае частиц темной материи, для частиц с большими угловыми моментами. Так как, как известно, спутники Млечного Пути тоже обладают большим угловым моментом, это тоже подтверждает нашу гипотезу.

Вторая часть работы была посвящена оценке масс Млечного Пути и Андромеды. Как мы знаем, для оценки массы гравитирующего объекта часто используется кинематика спутников этого объекта. Bahcall&Tremaine показали, что чистая теорема вириала является не очень хорошим методом такой оценки. Они предложили свою оценку, более состоятельную, которая использует величину V^2*R . Также их метод требует сделать предположение о распределении скоростей спутников - например, изотропия. Мы воспользовались методологией Bahcall&Tremaine с тем развитием, что мы учитывали трёхмерное положение спутников исследованной галактики, они же брали полярное расстояние. Таким образом, ведя вычисление, мы получили оценки массы для случая, когда наблюдатель находится внутри системы (это для Млечного Пути), и снаружи (это для Андромеды). Дальше, собственно, мы вычислили массу Млечного Пути. Здесь слева повторяется рисунок, где отмечено восемь спутников, находящихся в состоянии первого пролета, которые мы не учитывали в анализе. Вот здесь, собственно, показаны результаты. Справа можно видеть серые линии - это наш результат, и погрешность - такой заштрихованной серой областью. Видно, что значение, полученное нами, хорошо согласуется с известными оценками массы Млечного Пути. Слева просто масса, вычисленная для разных подвыборок. Похожие вычисления мы произвели для Андромеды. Здесь - положение спутников Андромеды на небе, здесь - в декартовых координатах. Надо отметить, что для Андромеды существует свой аналог Большого

Магелланова Облака, это M 33, со свитой. Она тоже находится в состоянии первого пролета и мы ее исключили из вычислений. Также здесь показан наш результат, который также хорошо согласуется с известными оценками массы Андромеды. Также стоит отметить, что в данном случае погрешности измерения расстояний уже достаточно существенны. Мы оценили их вклад в прирост, вычисляемый в оценке массы, примерно в 10% с помощью метода Монте-Карло. Вот наша итоговая оценка : 15.5×10^{11} масс Солнца.

К третьей части работы. Здесь слева показана структура нашей Местной Группы в цилиндрических координатах. Видно, что большинство галактик находятся в вириальных зонах крупных галактик. Но есть некоторые галактики, которые достаточно удалены от этих вириальных зон. Таким образом, мы предполагаем, что возможно рассчитывать их натекание, как на барицентр Местной Группы. Таким образом, мы перешли в систему отчёта, которая связана с барицентром Местной Группы, который мы поставили между массивными галактиками в пропорции соответственно с массами, которые были вычислены в предыдущих работах. Здесь справа показана схема перехода в эту систему отчёта. Здесь мы можем видеть Хаббловский поток до перехода в новую систему отсчёта, и после перехода. Как видно, что после перехода большинство галактик хорошо ложатся на модель сферически-симметричного Хаббловского потока. Здесь в расчетах использовалось 11 галактик, которые отмечены синим цветом. Здесь показаны результаты вычислений по семи галактикам. По ним стоит отметить малый разброс, очень маленькую дисперсию полученных оценок массы, а также отсутствие значимого тренда на увеличение массы с расстоянием. Остальные галактики, во-первых, очень сильно отскакивали от модели, больше, чем 5 сигма. Также три из них показывают признаки того, что они претерпели взаимодействие. Соответственно, они не находятся в таком состоянии свободного падения, и их нельзя использовать как тестовые частицы для оценки массы. Дальше было произведено сравнение с космологическим моделированием HESTIA. Там моделируется система, похожая на Местную Группу. Здесь цветными точками показаны гало со звездами. Видно, что морфологически результаты наблюдений и моделирования достаточно похожи. Единственная разница в том, что дисперсия оценки массы в случае моделирования гораздо больше.

Итак, научная новизна работы состоит в том, что обнаружена и объяснена аномалия бегущего апекса Солнца. Также на основе Bahcall&Tremaine разработан метод оценки массы по лучу зрения с учетом трехмерных положений спутников и оценены массы Млечного Пути и Андромеды. Также получена оценка массы Местной Группы в целом.

Практическая значимость:

составлена наиболее полная на данный момент выборка галактик Местной Группы и ближайших окрестностей.

Разработан метод оценки массы внутри вириального радиуса с учетом трехмерных расстояний.

Выявлено, что падение галактик внутрь Местной Группы прослеживается до границы вириальных зон Млечного Пути и Андромеды, а движение хорошо описывается моделью Хаббловского потока с учетом лямбда-члена.

Оценена полная масса Местной Группы на расстояниях от 400 до 1400 кпк

Показано, что современное космологическое моделирование адекватно описывает поле скоростей вокруг Местной Группы, но не производит столь «холодное» натекание.

Позвольте зачитать положения, выносимые на защиту:

Определение апекса Солнца относительно внешних спутников Млечного Пути, расположенных далее 100 кпк, что находится в хорошем согласии с известным движением Солнца в Галактике.

Открытие и объяснение аномальных скоростей коллективного движения близких спутников, расположенных на расстоянии менее 100 кпк относительно центра Галактики. Аномалия вызвана первым пролетом Большого Магелланова Облака.

Измерение массы нашей Галактики, Туманности Антромеды методом «массы на луче зрения», который учитывает трехмерное распределение спутников.

Обнаружение факта, что движение большинства периферийных членов Местной Группы относительно барицентра системы характеризуется чрезвычайно малой дисперсией скоростей по лучу зрения и прослеживается вплоть до границ вириальных зон Млечного Пути и Туманности Андромеды.

Определение полной массы Местной Группы галактик на основе модели Хабблского потока встандартной лямбда-CDM космологии под воздействием центральной концентрации массы. Данная оценка согласуется с суммой индивидуальных масс Млечного Пути и Туманности Андромеды. За пределами вириальных радиусов этих двух галактик не обнаружено значимого роста массы на расстояниях от 400 до 1400 кпк от барицентра Местной Группы.

Работа докладывалась на 15 всероссийских и международных конференциях, также в ходе работы было сделано 6 публикаций, 3 из которых в рецензируемых журналах.

Спасибо за внимание.

Председатель:

Большое спасибо. Данила Дмитриевич, отдельное спасибо, что Вы очень хорошо уложились в регламент, и даже оставили немножко больше времени. Пожалуйста, вопросы соискателю по проведенному докладу. Коллеги, не забудьте назвать себя.

Васильев Е.О.

У меня вопрос такой. Вы, насколько я понимаю, уточнили массу нашей Галактики, массу Туманности Андромеды. Используя эту же методику, можно ли что-то сказать о Большом Магеллановом Облаке? Вы определяете там первый пролет, а вот нынешнюю массу можно уточнить, используя эту методику?

Макаров Д.Д.

Но именно этой методикой мы не пользовались для определения массы Большого Мегелланова Облака. Все-таки структура не настолько похожа на массивную галактику в центре и тестовые частицы. Массу Большого Мегелланова Облака оценили по моделированию, которое было назад-вперед по времени. Мы там оцениваем, какая должна быть масса Большого Магелланова Облака для получения его как аномалии.

Васильев Е.О.

Она сходится с современными другими оценками? Или насколько отличается?

Председатель:

Масса, полученная Вами, по сравнению с данными по Магелланову Облаку?

Васильев Е.О.

Может, она точнее, или не очень точнее…?

Макаров Д.Д.

Ну, у нас нету такой вот прямой оценки — погрешность и прямое значение, мы прикидывали эффект, то есть сравнения не было, но это не является целью.

Председатель:

Так, пожалуйста, еще вопросы, коллеги. Пожалуйста, Сергей Анатольевич.

Трушкин С.А.

Данила, а все-таки в чем тут смысл, вот, все время упоминается «с учетом лямбда-члена»? Насколько я понимаю, задача, которая в данном случае стоит, скорее, от скрытой массы зависит, а не от лямбда-члена. Как учитывается Лямбда-член, я не понимаю?

Макаров Д.Д.

В данном случае, в моделировании Хаббловского потока он учитывается, а мы, в соответствии с этой моделью, производили наши вычисления.

Трушкин С.А.

Т.е. там только H_0 используется, больше ничего — из того, что есть в лямбда-CDM модели, или что-то еще? Я не очень понимаю, почему нужно именно учитывать лямбда-член в данной задаче? Кажется, что он вообще лишний здесь, лямбда-член.

Макаров Д.Д.

Тут я затрудняюсь ответить. Я напоминаю, что я работал с моделью - вопрос, наверное, дискуссионный.

Пустильник С.А.

Что касается Большого Магелланова Облака, речь идет о том, что у него еще и свита есть, а в сумме, насколько свита дает вклад в этот эффект по сравнению с самим Магеллановым Облаком?

Макаров Д.Д.

Вполне себе ощутимый. Эту свиту мы из статей брали, которые описывают, что кинематика некоторых галактик связана с Большим Магеллановым Облаком. Если исключить только Большое Магелланово Облако, то останется вот эта аномалия бегущего апекса.

Моисеев А.В.

«Ощутимый» - это сколько? 10%, 50%?

Макаров Д.Д.

Я думаю, Большое Магелланово Облако не больше 10% вклад дает.

Караченцев И.Д.

Хотелось бы услышать больше комментариев по поводу различия между моделированным значениям дисперсии 70 км/с и той, что у вас получилась 15 км/с. Различие в 5 раз по энергии, которая в квадрате скорости, это различие в 20 раз - значение. Одно из двух: или неверна стандартная космологическая модель, или ошибочен ваш результат. К чему вы склоняетесь?

Макаров Д.Д.

Я, конечно, буду всегда склоняться к тому, что нам нужно уточнять современную модель, потому что, на мой взгляд, выборка… Да, действительно, мы откинули некоторые галактики, но они очень сильно отскакивают, и при ближайшем рассмотрении видно, что они действительно претерпели какие-то взаимодействия. То есть, на мой взгляд, возможно, при большем объеме наблюдательных данных мы как-то уточним результаты нашей работы, потому что сейчас, к сожалению, все-таки немного маловато данных для хорошего статистического анализа.

Караченцев И.Д.

Но такие данные имеются. Если взять радиус вокруг Местной Группы 3 мегапарсека, там три десятка изолированных галактик, которые не подвержены влиянию массивных соседей типа М 81, вы из этих трех десятков выбираете только семь, то есть четверть, а три четверти выкидываете из анализа.

Макаров Д.Д.

Все-таки да, мы решили пойти до 1400 кпк, потому что предположили, что остальные галактики все равно могут находиться под влиянием каких-то более далеких внешних членов. Но тут видно, что они тоже вполне себе ложатся на эту модель Хаббловского потока. В будущем это тоже, возможно, имеет смысл проанализировать подобным образом.

Барков М.В.

Вопрос. А Вы говорите, что у Вас использовались трёхмерные скорости движения галактик.

Макаров Д.Д.

Я такого не говорил, подождите.

Барков М.В.

Ну, в заключении написано.

Сильченко О.К.

Распределение скорости.

Макаров Д.Д.

Распределение, трёхмерное распределение.

Барков М.В.

Тогда надо в заключении исправить.

Макаров Д.Д.

А где тут про скорости? Я мог оговориться, но, насколько я помню, я говорил именно про…

Председатель:

Действительно, о лучевых, да. Когда мы будем обсуждать заключение, посмотрим.

Макаров Д.Д.

Я это во введении специально отметил, что мы рассматривали лучевые скорости.

Барков М.В.

Если только одна компонента скорости использовалась, тогда как полностью

устанавливались скорости движения? Так это же.. вырождено, не ограниченная информация. Вы не можете полностью восстановить энергию движения по скорости.

Макаров Д.Д.

Вы имеете в виду оценку массы по лучу зрения? Действительно, модель не учитывает вообще все возможные факторы, но на дальних расстояниях тангенциальные скорости известны с достаточно большой ошибкой и тоже особо много информации, так сказать, не несут. Так что мы всё-таки использовали лучевые скорости, как более точные и надёжные.

Председатель:

Коллеги, ещё вопросы? Вопросов было много, тогда, значит, вопросы закрываем и переходим к тому, пришли ли у нас отзывы. Сначала у нас... Так, автореферат потом будет, да? Хорошо, так, сначала отзыв научного руководителя. Пожалуйста, Дмитрий Игоревич. Может своими словами?

Секретарь:

Может.

Макаров Д.И.

Да, я постараюсь своими словами. Я хотел бы обратить внимание, что работа

началась с немножко одной темы, потом перешла в другую. И для меня было интересно, и неожиданно, что вот первая работа, которую мы делали, это анализ поведения апекса Солнца, мы получили совершенно неожиданный для меня результат, который, собственно, предопределил всю дальнейшую работу. И удивление связано с тем, что, в принципе, это могли обнаружить и 10 лет назад, наверное,и 20 лет назад, а может быть, и 30 лет назад. Потому что анализ был очень простой и не предполагал каких-то потрясений. Тем не менее, эта работа показывает, что даже анализ самых простых данных, которые были у людей под руками многие-многие годы, может приносить очень неожиданный и интересный вывод. Данила хорошо справился с поставленной работой, разобрался в разных нюансах алгоритмов, допустим, расчёт натекания, несмотря на то, что это было получено аналитическое решение. Но даже его запрограммировать оказалось такой муторной задачей. Заставить, чтобы всё там правильно, хорошо считалось. Отмечу, что, наверное, самый такой вот интересный результат физический – это

обнаружение этого холодного Хаббловского потока. К сожалению, вот под руками у нас всё-таки маловато данных, то есть мы работаем на пределе. Семь галактик, которые мы используем, это, конечно, скорее указание на существование такого эффекта, чем железное его подтверждение. Но он всё-таки входит в определённое противоречие с космологией, и я бы даже сказал, он там нужен, потому что…

Трушкин С.А.

Космологии-то нужен, мы не сомневаемся.

Макаров Д.И.

Он в том числе определяет все натекания на Местную Группу, на любую группу галактик, и видно, что космологические моделирования показывают холодные натекания. Но, как правило, это какие-то очень сильно изолированные системы без каких-то посторонних возмущений. В случае Местной Группы у нас ситуация оказывается гораздо более возмущённая. И она вот даже визуально… Я не хочу сказать, противоречит тому, что мы видим в Местной Группе, но вызывает вопросы, которые нужно будет решать. Насколько такая ситуация часто возникает в моделировании и, собственно, мы уже начали эту работу. Первый анализ говорит, что очень редко. В общем, я очень доволен работой Данилы и считаю, что его работа заслуживает, так сказать, высокой оценки и, соответственно, присуждения степени.

Председатель:

Спасибо, Дмитрий Игоревич. Сейчас прошу секретаря зачитать заключение организации, в которой была выполнена данная работа.

[Ученый секретарь диссертационного совета, кандидат физ.-мат. наук Шолухова О.Н. зачитывает заключение ФГБУН САО РАН]

Председатель:

Большое спасибо, Ольга Николаевна. Что у нас с отзывами на автореферат?

Секретарь:

На автореферат отзывов не поступало.

Председатель:

Хорошо, тогда мы переходим к, соответственно, уже оппонентам.

Секретарь:

Да.

Председатель:

Так, поскольку оппоненты у нас присутствуют, первой у нас выступает Ольга Касьяновна Сильченко.

Сильченко О.К.:

Тематику диссертации Данилы Макарова следует охарактеризовать как

наблюдательную космологию. Действительно, исследуя детально динамику близких галактик, спутников Млечного Пути и Туманности Андромеды, а также карликов Местной Группы, он вкладывает свои результаты в контекст локальных проявлений крупномасштабной структуры Вселенной и последствий ее эволюции. Наблюдения последнего десятилетия, особенно

наблюдения космического аппарата Gaia, обеспечили огромный объем беспрецедентной по точности информации о положениях и скоростях (и самом существовании) карликовых галактик Местной Группы. Я должна сказать большое спасибо диссертанту. Я в своих лекциях много лет повторяла, что у Млечного Пути 42 спутника, вот с этого года я говорю, что 67. И меня просветил таким кардинальным образом именно диссертант. Значит, огромный объем информации, давая таким образом возможность на основе этой информации проверить предсказания LCDM-модели относительно свойств Местной Группы – если считать Местную Группу типичной гравитационно-связанной системой галактик в современную эпоху. Комплексный подход к интерпретации этой информации, представленный диссертантом, позволили ему продвинуть наше понимание современного статуса “сборки” Местной Группы прямо по ”горячим” следам, и его работа, несомненно, является крайне актуальной. Дальше я перечисляю, что конкретно сделал диссертант. Тут очень хорошо про свои три главы рассказал, я чуть-чуть пропущу. Только хочу сказать, что, несомненно, основные выводы выглядят достоверными и обоснованными, и в работе также присутствует новизна результатов, вынесение которых принадлежат диссертанту. Поэтому все необходимые компоненты для того, чтобы высоко

оценить эту диссертацию, несомненно, присутствуют. Теперь перехожу к недостаткам. Если отмечать недостатки работы. Я, конечно, придираюсь, поскольку всегда хочется видеть что-то идеальное, приходится иметь дело с чем-то реальным. Поэтому я старалась, чтобы найти недостатки, и кое-какие недостатки я нашла и хотела бы отметить. На мой взгляд, не хватает внутренней согласованности трех глав работы. Понятно, что работа делалась несколько лет и она построена в хронологическом порядке. Первая глава была сделана раньше всех и опубликована, последняя была сделана последней и опубликована. Соответственно, некая эволюция во взглядах и в результатах у диссертанта происходила. Но тем не менее, когда видишь это переплетенным в один том, то хотелось бы, чтобы внутри все-таки, по крайней мере, обсуждение вот этих вот переходов эволюционных было более развернутым. Должна сказать, что в докладе диссертант аккуратно обошел все вот эти вот эволюционные моменты. То есть если вы не читали и основываетесь только на его докладе, то я сейчас скажу нечто новое. Вот я прочитала всю диссертацию, поэтому это новое я все-таки скажу. В первой главе практически установлено, что внутренняя подсистема спутников упорядоченно вращается вокруг Млечного пути. Об этом уже давно народ говорил, и это проверяется уже лет 10 или 15, всё время подтверждается. Действительно, спутники вокруг Млечного пути распределены не хаотично и не изотропно, а есть выделенная плоскость, и наблюдаются признаки того, что спутники не только концентрируются к этой плоскости, но и внутри нее аккуратно вращаются. Таким образом, вообще говоря, допущение изотропности, которое будет во второй главе, оно уж очень сильное допущение. На мой взгляд, вот в первой главе, хотя диссертант не акцентировал ни в выводах, ни в докладе, но был бы вполне уместен вот такой вот ценный вывод, что установлено, что внутренняя система, внутри расстояния 100 кпк от центра, действительно показывает признаки вращения, в том числе вот в результате того анализа, который проделал уже конкретно Данила. Потому что на самом деле для объяснения блуждания апекса там фигурируют два варианта: либо есть вращение вот этой внутренней подсистемы, и тогда вообще ничего не нужно; либо вот они выбирают объяснение за счет возмущающего влияния приближающегося Большого Магелланова Облака. Но когда они с космологической моделью считают эволюцию динамики за счет приближения Большого Магелланова Облака, даже там была картинка соответствующая, именно вот то возмущение не свиты Большого Магелланова Облака (у него в свите четыре спутника из восьми, которые не укладываются), а вот возмущение тех спутников, которые не принадлежат Большому Магелланову Облаку, принадлежат Млечному Пути и возмущены за счет приближения Большого Магелланова Облака, вот там получается нужная амплитуда возмущения, только если эти спутники обладают большим спином, то есть вращаются. Вот это никак не подчеркнуто, хотя в тексте все это сказано. Таким образом, значит,

в первой главе установлено, что система спутников вращается, а вот во второй главе, когда по формулам модели наших классиков считается масса Млечного Пути, предполагается, что они вращаются вокруг Млечного Пути хаотически, то есть скорости распределены изотропно, и тогда средний эксцентриситет получается 0.5. На самом деле, если брать более сложную модель, то там будет другой средний эксцентриситет орбит. Ну или же я, например, просто выбросила бы эти внутренние спутники, у Млечного Пути спутников хватает, можно было бы ограничить по радиусу, но вот они этого не сделали. Они просто в модель ввели изотропное распределение орбит спутников, и таким образом некая согласованность между первой и второй главой была утрачена. При переходе от второй главы к третьей, вот в докладе это не прозвучало, но в конце третьей главы, уже после того, как была посчитана масса Местной Группы, изначально барицентр помещался в соответствии с массами Млечного Пути и Туманности Андромеды, посчитанными во второй главе. Масса там, получается, различалась почти в два раза, т.е. барицентр был заметно ближе к Туманности Андромеды. И вот первая оценка Местной Группы была посчитана именно с положением барицентра ближе к Туманности Андромеды. После этого зачем-то они решили оптимизировать и уменьшать разброс отдельных спутников, которых всего 7 штук. И наименьший разброс спутников вокруг этого потока они нашли, сдвинув барицентр практически на середину между Млечным Путём и Туманностью Андромеды. И таким образом масса этих двух галактик почти сравнялась. Мне кажется, что вот это уже было лишнее. Потому что хорошо оптимизировать разброс, когда у нас разброс порождается случайными ошибками. Ну так, измерения расстояния или скоростей, чего-нибудь еще. Но в данном случае вы могли видеть на картинке теоретической лямбда-CDM модели, на самом деле разброс может иметь физическую природу, поскольку у нас сборка падения спутников на Местную Группу – это процесс стохастический: кто-то упал раньше, кто-то позже, кто-то еще не вириализовался, и вот этот разброс может носить физическую природу, и оптимизировать его вот совсем не нужно, на мой взгляд. Так что вот тут я вот тоже была несколько…

Председатель:

критична.

Сильченко О.К.

…разочарована вот этой вот оптимизацией, которая была в самом конце третьей главы, но на самом деле не сильно изменила конечную оценку. Небольшие замечания хочется сделать относительно оформления работы.

Список литературы содержит перечисление статей в порядке их упоминания в диссертации, и в самом тексте работы ссылка делается именно на номер статьи без библиографии, часто без упоминания автора.А вот когда смотришь потом список библиографии, пытаясь отождествить для себя источник, то список оформлен очень пестро. У меньшей части статей описание начинается с фамилии первого автора курсивом, а у большинства статей описание начинается с заголовка статьи, а авторы, написанные после заголовка, уже курсивом не выделяются, поэтому глаз, так сказать, плохо выделяет то, что мы привыкли – авторов статьи. Вот, поэтому отождествлять статьи, не находя с ходу фамилии авторов, становится сложно.

На рисунке 2.4, внутри самого графика показано разделение спутников на внутренние и внешние по граничному расстоянию 87 кпк, тогда как и в подписи, и в тексте фигурирует 86 кпк. Ну могли бы же текст все-таки отредактировать, чтобы не резало глаз.

Однако упомянутые недостатки не снижают в целом хорошее впечатление от диссертации, читать ее было истинным удовольствием. Результаты получены очень интересные, подходы, как в случае описаны, обоснованы весьма тщательно. Текст написан отличным русским языком, грамматических ошибок вообще не замечено. Вот за это отдельное спасибо диссертанту, редко в наше время такое встречается. Текст идеальный, вот вообще идеальный.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации. Диссертация Данилы Дмитриевича Макарова «Анализ скоростей близких карликовых галактик и оценка массы Млечного Пути, Туманности Андромеды и Местной Группы» является законченным научно-исследовательским трудом и удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатской диссертации, а ее автор, безусловно, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 – «Физика космоса, астрономия».

Председатель:

Ольга Касьяновна, большое спасибо. Данила Дмитриевич, у Вас есть возможность ответить на замечания оппонента.

Макаров Д.Д.

В первую очередь, спасибо за такой глубокий анализ моей работы. Со всеми

замечаниями я согласен. Вот, хотелось бы немножко пояснить. Пару слов рассказать про анизотропию. То есть, мы как-то изначально думали применять этот метод, в том числе для объектов вне Местной Группы. Просто

в итоге получилось, что там, к сожалению, слишком большие ошибки, и, в принципе, пока что имеет смысл его применять только к галактикам Местной Группы, для которых, как раз, известна вот эта анизотропия. Но изначально идея была сделать что-то более общее. Также, скорее всего, вот эта плоскость не сильно бы повлияла на оценку именно Млечного Пути, но для Андромеды это не так. Там действительно можно было бы учесть эти параметры вращения плоскости. Но дело в том, что это потребовало бы введения еще, скорее всего, примерно трех параметров в нашу модель, скорее всего мы бы тогда аналитически не смогли ее решить. И, в общем, несколько вышла бы такая работа за рамки вот этого исследования. Но замечание, конечно, справедливое.

По поводу смещения барицентра, тут это действительно тоже справедливо. Нет какого-то физического обоснования нашего вот этого действия. Отметить хочется то, что все-таки оба полученные значения совпадают между собой в пределах погрешности. То есть, я думаю, тут это можно интерпретировать больше так, как есть вероятность, что все-таки этот барицентр смещен. Но у нас, к сожалению, всего 7 галактик, для статистики это маловато, то есть если бы у нас было побольше данных, мы бы смогли более как-то статистически оправданно делать какие-то действия.

По поводу оформления, тут эти все странности вызваны тем, что я пытался соблюдать ГОСТ максимально. Ну, для меня это тоже странности, но вот тут дело больше в соблюдении ГОСТа. Спасибо.

Председатель:

Так, Ольга Касьяновна, Вы удовлетворены?

Сильченко О.К.

Да.

Председатель:

Замечательно. В таком случае, коллеги, переходим к отзыву второго оппонента, Сергея Владимировича Пилипенко. Пожалуйста, Сергей Владимирович, Вам слово.

Пилипенко С.В.

Я, с вашего позволения, своими словами скажу и не буду читать отзыв. Во-

первых, я бы хотел отметить, что диссертация Данилы произвела на меня очень хорошее впечатление. Она выглядит как цельная работа, довольно разносторонняя такая, и хотел бы отметить комплексный подход к решению поставленных задач.

По поводу замечаний, которые я бы хотел подметить. Во-первых, из серьезных замечаний, на мой взгляд, когда описывается задача моделирования падения Большого Магелланова Облака на нашу Галактику, написано, что используется код AGAMA для того, чтобы задать функцию распределения спутников этой Галактики. Но при этом не сказано, какие параметры в функции распределения использовались, а имея там какой-нибудь профиль плотности Наварро-Френка-Уайта, как это обычно делается, функций распределения можно задать бесконечно много. Предполагаю, что там использовалась сферически симметричная функция распределения с изотропными скоростями, но это вроде бы не было там написано. И, опять же, повторю то, что сказала Ольга Касьяновна, что и в наблюдаемых галактиках, и в численных моделях мы видим, что функции распределения, они на самом деле скорее анизотропные, и, может быть, учёт этого позволил бы как-то этот результат улучшить.

Еще одно замечание. Дальше, когда диссертант проводит сравнение наблюдаемых результатов, это в Главе 2, где проводится сравнение полученных результатов с результатами из симуляции HESTIA. Я предполагаю, что диссертант мог не заметить тот факт, что в данных симуляциях используются обычно некие нестандартные единицы измерения, т.е. там расстояние приводится не в мпк, а в мпк, деленных на безразмерную постоянную Хаббла, так исторически сложилось. И, поскольку я с этими симуляциями работал, то мне кажется, что там была сделана такая ошибка, но она не влияет на дальнейшие результаты, поскольку там дальше вычисляются скорости из расстояния, то есть по формуле $\sqrt{GM/r}$, и поскольку эти безразмерные единицы используются и в массах, и в расстояниях, то они сокращаются, то есть на скорости это не повлияет, но советую быть аккуратнее при работе с симуляциями, там, конечно, есть вот эта вот такая сложность всегда.

Вот. Других важных замечаний у меня нет, но я считаю, что эти замечания, в общем-то, носят скорее такой рекомендательный характер и не ухудшают общее впечатление от диссертации.

Я считаю, что Данила заслуживает присвоения степени кандидата физико-математический наук и его диссертация полностью удовлетворяет всем нужным для этого требованиям.

Председатель:

Спасибо большое. Данила Дмитриевич, Вам предлагается ответить на замечания.

Макаров Д.Д.

Спасибо за отзыв. Действительно, опять всплывает анизотропия. Да, дело в том, что мы на протяжении всей работы работали с предположением об изотропных скоростях. Действительно, некоторое более подробное исследование анизотропии, наверное, позволило бы получить какие-то отличные результаты, но тут, к сожалению, это выходило за рамки этого исследования, то, что потребовалось бы – довольно большие доработки, скажем так.

Да, по поводу единиц измерения, да, действительно, работал в системе единиц HESTIA, предоставленных Noam Libeskind. Однако, да, это замечание совершенно справедливое, там используются эти внутренние единицы HESTIA. Всё. Спасибо.

Председатель:

Сергей Владимирович, Вы удовлетворены ответом?

Пилипенко С.В.

Да, полностью. Спасибо.

Председатель:

Большое спасибо. Прошу секретаря зачитать отзыв ведущей организации. Пожалуйста.

[Ученый секретарь диссертационного совета, кандидат физ.-мат. наук Шолухова О.Н. зачитывает отзыв ведущей организации.]

Председатель:

Большое спасибо. Данила Дмитриевич, у Вас есть возможность ответить на замечания ведущей организации.

Макаров Д.Д.

Спасибо, со всеми замечаниями я согласен, они справедливы. Хотелось бы немножко подробнее пару слов сказать о замечаниях про вот этот рисунок. Тут как раз кумулятивное количество спутников от расстояния приведено на одном и том же графике с профилями плотности. Дело в том, что, во-первых, такой implicit, это неявное предположение было… В общем, считалось, что сама плотность обнаружения вот этих галактик с веществом, она соответствует, примерно коррелирует с плотностью вообще массы. И здесь этот рисунок чисто иллюстративный, из него какие-то особые выводы не делаются. Ну, здесь это больше иллюстрация. Никаких особых моделей и выводов из этого не следует.

Так, далее, по поводу галактик, которые были выкинуты. Во-первых, да, мало того, что у них очень большой отскок, более 5 Sigma. Если посмотреть на три из них, они показывают явные признаки некого взаимодействия и, соответственно, не могут выступать как такие тестовые частицы, невозмущенные, падающие на барицентр Местной Группы. С остальными замечаниями я просто согласен. Всё, спасибо.

Председатель:

Большое спасибо, Данила Дмитриевич. Закончились отзывы, мы переходим

к общей дискуссии. Пожалуйста, коллеги, кто желает выступить? Коллеги? Пожалуйста, Евгений Олегович.

Васильев Е.О.

Конечно же, хотелось бы отметить два момента работы. Первый момент связан с задачей, с решением задачи о апексе Солнца. Наверное, я один из первых узнал об этом результате по некоторым причинам. Задолго до публикации. Меня поразило то, что фактически из архивных данных и довольно простых данных можно получить новый и очень интересный результат. А второе то, что сама работа вроде бы наблюдательная, основана на наблюдениях, но везде, во всех главах применяются численные модели того или иного, попытка интерпретировать уже наблюдения как с точки зрения численных расчетов. Ну, и я считаю, что эта работа очень хорошая и достойна присуждения… диссертант достоин присуждения соответствующей степени.

И надеюсь, что мое мнение разделят все остальные члены совета.

Председатель:

Спасибо, Евгений Олегович. Еще, коллеги?

Скажу несколько слов, потому что я отношусь к тому небольшому количеству коллег, которые диссертацию читали полностью, поскольку я представлял её в Совете. И мое впечатление, вот аналогично тому, что было сказано Евгением Олеговичем, я был удивлен тому, что эта работа не была сделана раньше. То есть сама идея вроде как лежит на поверхности, известна, появились новые данные, кто-то должен был сделать это первым, вот сделал, соответственно, диссертант и его соавторы. То, что при этом не получилось совсем сенсационных переоценок массы Млечного Пути, и вот этот спор о том, кто тяжелее Андромеда или мы, почти в равновесии. Но тоже на самом деле хорошо, что получается оценка независимая, которая согласуется с большинством данных, которые мы представили до этого. В общем-то, это важный тест, который нужно сделать. Поэтому здесь я считаю, что эта работа, даже в этом контексте, она будет действительно важна и нужна.

По поводу, значит, вращения, вот нет здесь Павла Кропа, который девять лет назад здесь выступал и рассказывал о том, что Игорь Дмитриевич Караченцев забил последний гвоздь в Лямбда-CDM работой про темные стенки в Локальном объеме. Вот здесь бы он обрадовался бы еще одному гвоздю, потому что это действительно направление, которое сейчас оживает,

я думаю, Горькавый бы порадовался. То есть, в общем-то, есть те, кому это принесет радость и некоторое облегчение в их нелегком труде по разработке альтернативных кинематических теорий.

Коллеги, еще кто-нибудь? Ну, у нас есть два выступления. Тогда у нас есть время соискателю на заключительное слово, пожалуйста, Данила Дмитриевич.

Макаров Д.Д.

В первую очередь, хотел бы поблагодарить весь коллектив нашей лаборатории, а также САО РАН. Они предоставили поддержку в моей научной работе. Также хотел бы поблагодарить научного руководителя за наставничество и плодотворную совместную деятельность. Ну и также хотел бы поблагодарить всех своих близких за поддержку. Спасибо большое.

Председатель:

Спасибо, Данила Дмитриевич. Коллеги, нам нужно избрать счетную комиссию. Предлагаю следующий состав счетной комиссии: Васильев Евгений Олегович, Сачков Михаил Евгеньевич и Романюк Иосиф Иванович. Прошу проголосовать. Если нет самоотводов и возражений, прошу проголосовать. Кто “за” данное предложение? “Против”? “Воздержались”?

Пожалуйста, прошу приступить комиссию к работе. Напоминаю членам Совета: до нашей завершающей части голосования по протоколу, пожалуйста, зал не покидаем. Остальные могут немного передохнуть.

[Слушатели покидают зал]

[Проходит процедура тайного голосования]

[Члены счетной комиссии подсчитывают голоса]

Председатель:

Члены диссертационного совета, коллеги. Коллеги, прошу всех по местам. Членам совета нужно заслушать заключение комиссии. Пожалуйста.

Секретарь:

Позвоните, пожалуйста, в колокольчик.

[Звенит колокольчик]

Председатель:

Так, друзья. Коллеги, прошу тишины.

Романюк И.И.

Протокол заседания счетной комиссии проводился членами диссовета сегодня от 24 ноября. В составе комиссии Сачков, Васильев, Романюк. Комиссия избрана для подсчета голосов при тайном голосовании по диссертации Макарова на соискание ученой степени кандидата наук. Состав диссовета утвержден в позиции 13 человек на срок действия номенклатуры специальностей научных работ по приказу Министерства науки и высшего образования РФ номер там такой-то… Присутствовало на заседании 12 членов Совета, в том числе докторов наук по профилю рассматриваемой

диссертации – 11. Роздано бюллетеней 12, оказалось не розданных 0, оказалось в урне 12.

Результаты: “За” – 9. “Против” – 0. “Недействительных” – 3. Проходит. Таким образом, можно…

Председатель:

Подождите. Коллеги, прошу проголосовать за утверждение данного протокола. Кто ”за”? Спасибо. “Против”? “Воздержался”? Единогласно поддержали протокол. Мы можем поздравить Данилу Дмитриевича.

[Аплодисменты]

Председатель:

Пожалуйста, члены Совета, нам нужно прочитать, или вы должны были прочитать и сделать свои замечания по поводу заключения, нам предлагаемого.

[Члены совета обсуждают проект заключения]

Председатель:

Пожалуйста, коллеги, я предлагаю принять данный проект заключения с учетом вот этих замечаний, которые были высказаны. Кто ”за”? “Против”? “Воздержались”? Прекрасно.

На этом заседание объявляем закрытым.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.212.01 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ СПЕЦИАЛЬНОЙ АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело №_____

решение диссертационного совета от 24 ноября 2025 г. № 20

О присуждении Макарову Даниле Дмитриевичу, Российская Федерация, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Анализ скоростей близких карликовых галактик и оценка массы Млечного Пути, Туманности Андромеды и Местной Группы» по специальности 1.3.1. – Физика космоса, астрономия принята к защите 21 августа 2025 г., протокол № 17, диссертационным советом 24.1.212.01, 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, Макаров Данила Дмитриевич, 1998 года рождения, в 2021 году окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова", с 01.09.2021 г. по 31.08.2025 г. проходил обучение в очной аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук, на данный момент работает в должности стажер-исследователь в лаборатории внегалактической астрофизики и космологии 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, профессор РАН, заведующий лабораторией внегалактической астрофизики и космологии САО РАН, Макаров Дмитрий Игоревич.

Официальные оппоненты:

1. Сильченко Ольга Касьяновна, доктор физико-математических наук, заместитель директора по научной работе Государственного астрономического института имени П.К. Штернберга Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова";

2. Пилипенко Сергей Владимирович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Физический институт им. П. Н. Лебедева Российской академии наук»

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт астрономии Российской академии наук», г. Москва, в своём положительном заключении, подготовленном доктором физико-математических наук, ведущим научным сотрудником Института астрономии Российской академии наук Малковым О.Ю., одобренном на заседании астрофизического семинара Института астрономии РАН 6 ноября 2025 года, утверждённом Директором ИНАСАН доктором физико-математических наук, профессором РАН М.Е. Сачковым 6 ноября 2025 года, указала, что диссертационная работа представляет собой законченное и целостное научное исследование, выполненное на высоком профессиональном уровне, и полностью соответствует критериям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым ВАК, а её автор Макаров Данила Дмитриевич, заслуживает присуждения искомой учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1. – «Физика космоса, астрономия».

Соискатель имеет 3 опубликованные работы по теме диссертации (общим объёмом 51 страница), напечатанные в рецензируемых журналах, включённых в перечень ВАК. Наиболее значимые научные результаты по теме диссертации опубликованы в работах:

1. Makarov Dmitry, Khoperskov Sergey, Makarov Danila, Makarova Lidia, Libeskind Noam, Salomon Jean-Baptiste “The LMC impact on the kinematics of the Milky Way satellites: clues from the running solar apex”, 2023, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 521, 3540–3552
2. Makarov Danila, Makarov Dmitry, Kozyrev Kirill, Libeskind Noam “Line- of-Sight Mass Es-

timator and the Masses of the Milky Way and Andromeda Galaxy", 2025, Universe, 11, id.144 3. Makarov Danila, Makarov Dmitry, Makarova Lidia, Libeskind Noam "The frozen outskirts: A cold Hubble flow and the mass of the Local Group", 2025, Astronomy & Astrophysics, 698, id.A178

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) обнаружена аномалия поведения бегущего апекса Солнца относительно спутников нашей Галактики. Близкие спутники показывают неожиданно большую амплитуду коллективного движения около 230 км/с относительно центра Галактики. Показано, что эффект связан с первым пролетом массивного Большого Магелланова Облака (БМО) со своей свитой вокруг Млечного Пути и возмущением в кинематике спутников Млечного Пути, вызванным этим пролетом;
2) на основе подхода, предложенного Bahcall & Tremaine (1981), разработан метод оценки массы близких групп галактик с учетом трёхмерного распределения спутников вокруг центральной галактики. Получены оценки массы Млечного Пути и Туманности Андромеды на шкале 240 и 300 кпк, соответственно;
3) получены оценки полной массы Местной Группы в диапазоне расстояний от 400 до 1400 кпк от центроида Местной Группы из анализа падения удаленных членов Местной Группы за пределами вириальных зон Млечного Пути и Туманности Андромеды.

Теоретическая значимость диссертационной работы обоснована тем, что результаты, полученные соискателем, вносят значительный вклад в изучение движения близких карликовых галактик, структуры Местной Группы и распределения в ней вещества, понимания её эволюции.

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

1. В данной работе составлена самая полная на данный момент выборка галактик Местной Группы и её ближайших окрестностей. Обзор литературы позволил собрать воедино наиболее точные измерения расстояний и скоростей этих галактик.

Эта коллекция данных лежит в основе данного исследования и чрезвычайно важна для сопоставления наблюдений с теорией. Анализ кинематики спутников позволяет изучать историю формирования группы и выявлять эффекты пролета массивных членов.

2. Метод оценки массы внутри вириального радиуса галактик с учетом известных трёхмерных расстояний спутников, разработанный в данном исследовании, позволяет исключить неопределённость, связанную учетом проекции расстояний в классическом подходе, и, как следствие, повысить точность и надёжность полученных оценок масс. Изучена применимость метода к исследованию близких групп галактик.

3. Показано, что падение галактик внутрь Местной Группы прослеживается вплоть до границ вириальных зон Млечного Пути и Туманности Андромеды. Движение галактик является холодным и хорошо описывается моделью Хаббловского потока под воздействием центральной массы с учетом влияния Λ-члена, что позволяет оценить полную массу Местной Группы в широком диапазоне расстояний от 400 до 1400 кпк и сопоставить эту оценку с индивидуальными массами двух основных членов: Млечного Пути и Андромеды. Данный подход критически важен для понимания распределения массы в группах галактик.

4. Показано, что современное космологическое численное моделирование качественно хорошо описывает наблюдаемое поле скоростей вокруг Местной Группы, однако, оно не способно получить такое натекание галактик на центральные галактики.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

Достоверность опубликованных результатов обусловлена тем, что методы, разработанные и применённые в данном исследовании, приводят к непротиворечивым результатам, которые хорошо согласуются с работами, выполненными другими авторами с применением независимых подходов и методов, с учётом выводов других авторов при интерпретации данных. Все основные результаты опубликованы в рецензируемых журналах.

Личный вклад:

Создание выборки членов Местной Группы галактик проводились автором диссертации. Весь программный код, использовавшийся в работе, написан автором.

Определение и анализ бегущего апекса Солнца относительно спутников Млечного Пути, и проверки различных гипотез объяснения аномалии выполнен автором. Развитие метода проекционных масс для случая известных расстояний спутников проведено автором. Масса нашей Галактики оценена автором. Анализ распределения скоростей вне вириальных зон и оценка полной массы Местной Группы по её влиянию на Хаббловский поток выполнены автором диссертации. Анализ данных моделирования HESTIA проводился автором совместно с К.А. Козыревым. Обсуждение всех результатов, подготовка и написание статей велось с соавторами.

На заседании 24 ноября 2025 г. диссертационный совет принял решение присудить Макарову Даниле Дмитриевичу учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования, диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 11 докторов наук по специальности 01.03.02, участвовавших в заседании, из 13 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 9, против - 0, недействительных бюллетеней - 3 .

Зам. председателя
диссертационного совета Моисеев А.В.

Учёный секретарь
диссертационного совета Шолухова О.Н.

24 ноября 2025 г.