

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Макарова Данилы Дмитриевича

**«Анализ скоростей близких карликовых галактик и оценка массы Млечного Пути,
Туманности Андромеды и Местной Группы»,**

представленную на соискание учёной степени

кандидата физико-математических наук

по специальности 1.3.1 - «Физика космоса, астрономия»

Ближайшие окрестности нашей Галактики, включающие в себя систему её спутников, Туманность Андромеды с её спутниками, и другие галактики, составляющие Местную Группу, представляют большой интерес для космологии, поскольку эти ближайшие окрестности хорошо доступны наблюдениям, а с другой стороны, позволяют изучать проявления Хаббловского расширения и крупномасштабной структуры Вселенной. В последние годы прогресс в технике наблюдений позволил открыть большое количество слабых галактик-спутников, измерить расстояния до многих галактик Местной группы, а также измерить трехмерные скорости некоторых галактик. Предыдущие исследования Местной Группы выявили ряд важных проблем: во-первых, масса нашей Галактики до сих пор известна с достаточно плохой точностью, оценки разных авторов имеют разброс примерно в 1.5 раза. Точное знание массы галактики необходимо как для астрофизических задач, так и для космологии (например, для ответа на вопрос об избытке или недостатке числа спутников у нашей Галактики по сравнению с космологическими предсказаниями). Во-вторых, выявлены особенности, например, «тонкая плоскость» из галактик-спутников, которые пока не нашли надёжного объяснения и заставляют искать ответы в том числе путём уточнения космологической модели, физики темной материи и т.п. Таким образом, **тема рассматриваемой диссертации является крайне актуальной.**

Диссертация Д.Д. Макарова состоит из введения, трёх глав, заключения и списка цитированной литературы. Результаты опубликованы в трёх статьях в рецензируемых журналах, входящих в список ВАК, а также в трёх материалах конференций.

Во **введении** приведены обоснование актуальности темы работы, цели и задачи исследования, описана научная новизна, вклад автора, сформулированы положения, выносимые на защиту. В **главе 1** исследуется апекс Солнца относительно системы спутников нашей Галактики. Обнаружена аномально большая скорость спутников, расположенных ближе 100 кпк, относительно Солнца. Показано, что эта аномалия может быть связана с влиянием пролёта Большого Магелланового Облака. **Глава 2** посвящена измерению масс Галактики и Туманности Андромеды с помощью данных о лучевых скоростях и расстояниях до их спутников. Для этого автором развит метод, предложенный ранее Бакалом и Тремейном. Главной особенностью метода является использование трёхмерных расстояний до галактик. Полученные оценки масс тщательно обоснованы путём анализа разных подвыборок галактик-спутников и учёта ошибок методом Монте-Карло, также они находятся в согласии с оценками, найденными другими авторами. В **главе 3** проведён анализ движения галактик за пределами вириальных зон Млечного Пути и Туманности Андромеды, на

основании чего измерена масса Местной Группы галактик и найдено положение её барицентра. Для этого использовалась модель холодного Хаббловского потока, которая неожиданно хорошо описывает наблюдаемые данные. Полная масса Местной Группы почти совпадает с массой двух её основных членов. В **заключении** перечислены основные результаты диссертации.

Диссертация Д.Д. Макарова представляет собой законченное научное исследование. Используемые методы и подходы описаны достаточно подробно, текст диссертации грамотный и понятный. **Все выносимые на защиту результаты являются новыми.** Автор демонстрирует глубокое знание темы, хорошо разбирается в теоретических вопросах, что видно, например, при выводе формул для метода оценки массы по лучевым скоростям и расстояниям. Также хочу отметить аккуратную работу с данными и использование разнообразных методов, таких, как численное моделирование, анализ данных космологических симуляций. **Достоверность** полученных результатов обеспечивается использованием самых высокоточных наблюдательных данных, корректных методов их обработки, и подтверждается публикациями в высокорейтинговых журналах. Результаты измерения масс Млечного Пути, Туманности Андромеды и Местной Группы несомненно будут использоваться другими учеными в их работе. Развитые автором методы также позволят уточнить полученные результаты при появлении новых данных.

Несмотря на общий чрезвычайно высокий уровень диссертации, у меня имеется ряд замечаний:

1. Некоторые фразы, на мой взгляд, не очень подходят для научных текстов: «гигантский поток высокоточных данных», «Местная Группа галактик не нуждается в особом представлении».
2. Во введении упоминается без определения «первый пролет спутников», но читателю, не знакомому глубоко с темой, может быть непонятно, о чем идёт речь.
3. В главе 1, в параграфе 1.5.2 написано, что для генерации распределения частиц в моделях Млечного Пути и Большого Магелланового Облака (БМО) использовался код AGAMA, но не сказано, какие параметры функции распределения использовались, а именно, было ли распределение скоростей изотропным. Поскольку автор на Рис. 1.9 получил распределение угловых моментов частиц, существенно отличающееся от наблюдаемого для спутников, предполагаю, что в модели было изотропное распределение скоростей. В то же время космологические модели предсказывают анизотропную функцию распределения скоростей с анизотропией, зависящей от радиуса. Далее автор выделяет частицы с большими угловыми моментами и для них находит ожидаемое влияние падения БМО на эти частицы. Возможно, использование реалистичной функции распределения сделало бы этот результат более явным, т.е. не пришлось бы выделять подвыборку частиц.
4. В главе 2, параграф 2.4, выполняется тест методики на данных космологической симуляции HESTIA 17_11. Приведенные в диссертации массы аналогов Млечного Пути и Туманности Андромеды отличаются от указанных в статье [122] с описанием модели HESTIA. Предполагаю, что автор мог привести массы не в массах Солнца ($M_{\odot}$), а во внутренних единицах симуляции $M_{\odot}/h$, где $h=0.677$ безразмерная

постоянная Хаббла. Если расстояния тоже были взяты в единицах симуляции, то на проверку метода это не повлияло, т.к. h сокращается в этом случае.

5. Присутствуют опечатки в виде пропущенных слов: «поведение апекса зависимости от расстояния», «они в большей восприимчивы к возмущению» и т.п.

Указанные недостатки не уменьшают общей ценности диссертации как научного труда, посвященного анализу движений галактик и определения их масс. Представленная диссертация Данилы Дмитриевича Макарова «Анализ скоростей близких карликовых галактик и оценка массы Млечного Пути, Туманности Андромеды и Местной Группы» полностью удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а её автор вполне заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 - «Физика космоса, астрономия».

Официальный оппонент:
Пилипенко Сергей Владимирович


23.10.2025

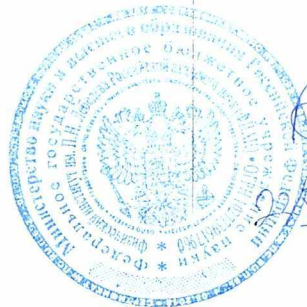
(подпись)
(дата)

к.ф.-м.н., старший научный сотрудник лаборатории теоретической и наблюдательной космологии

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук

Адрес: Москва, 117997, Профсоюзная 84/32, АКЦ ФИАН
тел. +7-916-587-65-91
эл. почта spilipenko@asc.rssi.ru

Подпись Пилипенко С.В. заверяю:
Вр.и.о. учёного секретаря ФИАН,
к.ф.-м.н., Станислав Георгиевич Бежанов




23.10.2025
(подпись)
(дата)