

УТВЕРЖДАЮ
Директор ФГБУН Институт астрономии РАН
Доктор физ-мат. Наук, профессор РАН



М.Е.Сачков

ОТЗЫВ
ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу **Макарова Данилы Дмитриевича**
«Анализ скоростей близких карликовых галактик и оценка массы
Млечного Пути, Туманности Андромеды и Местной Группы»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 1.3.1 – «Физика космоса, астрономия»

Диссертация Макарова Данилы Дмитриевича посвящена одной из центральных проблем современной астрофизики – точному определению масс крупнейших галактик Местной Группы и самой Группы в целом. В работе рассмотрено определение этих масс по кинематике карликовых галактик-спутников. Решаемая задача важна для проверки космологической модели Λ CDM, понимания распределения темной материи и изучения истории формирования структур в ближайшей к нам части Вселенной.

Работа является актуальной. Несмотря на длительную историю исследований, оценки масс Млечного Пути и Туманности Андромеды, полученные разными методами, все еще значительно различаются. Различие может достигать двух раз (!). Уточнение этих величин, а также полной массы Местной Группы, является критически важным для калибровки космологических моделирований и понимания динамической эволюции систем галактик. Пристальное внимание мирового научного сообщества к проблеме определения масс Млечного Пути и Туманности Андромеды подтверждается, в частности, организацией масштабных проектов по изучению гало Млечного Пути: космический телескоп Gaia, программа спектроскопических наблюдений M31 SPLASH. В этом контексте диссертационная работа Д.Д.Макарова, основанная на комплексном анализе кинематики карликовых галактик, наиболее чувствительных индикаторов гравитационного потенциала, представляется чрезвычайно своевременной и востребованной.

Диссертация Д.Д.Макарова состоит из введения, трех глав, заключения и весьма обширного списка литературы. Изложение иллюстрируется рисунками и таблицами. В первой главе проведен анализ движения Солнца относительно спутников нашей Галактики и проведено численное моделирование движения Большого Магелланова Облака (БМО) относительно Галактики. Во второй главе рассмотрено применение метода проекционных масс к определению масс

Млечного Пути и Туманности Андромеды. В третьей главе проанализировано движение галактик и проведена оценка массы Местной Группы галактик. Работа выполнена на достаточно высоком научном уровне, ее текст написан ясным и четким языком, аккуратно оформлен.

Перечислим положительные стороны и достижения работы, которые представляются наиболее важными:

- Безусловной заслугой автора является создание наиболее полной на сегодняшний день выборки карликовых галактик Местной Группы с высокоточными данными о расстояниях и лучевых скоростях, что само по себе представляет значительную ценность.

- Обнаружена кинематическая аномалия, связанная с движением близких спутников Млечного Пути и дана ее физическая интерпретация. Выявленное коллективное движение со скоростью ~ 230 км/с и его объяснение первым пролетом массивного Большого Магелланова Облака является ярким примером того, как точные кинематические данные позволяют изучать современную динамическую историю нашей Галактики. Этот результат хорошо согласуется с выводами недавних работ, основанных на данных Gaia, которые также указывают на значительное гравитационное влияние БМО на гало Млечного Пути.

- Автором развит классический метод Bahcall & Tremaine для оценки масс галактик в условиях, когда известны не только лучевые скорости, но и точные трехмерные расстояния до спутников. Это позволило существенно снизить систематическую неопределенность, связанную с проекционными эффектами, и получить надежные оценки масс Млечного Пути и Туманности Андромеды, находящиеся в согласии с результатами, полученными независимыми методами, такими как анализ кривых вращения.

- Автором получена оценка полной массы Местной Группы $(2.47 \pm 0.15) \times 10^{12} M_{\odot}$ и сделан вывод о том, что практически вся масса сосредоточена внутри вириальных радиусов двух доминирующих галактик, что может иметь важные космологические следствия. Этот результат предоставляет прямое наблюдательное свидетельство в пользу стандартной модели с темной энергией, что перекликается с выводами других исследований крупномасштабных потоков, например, в работах по проекту Cosmicflows.

Научная новизна работы убедительно продемонстрирована и подкреплена конкретными результатами, изложенными в положениях, выносимых на защиту. Работа прошла апробацию на 15 научных конференциях.

Замечания по работе.

На рис. 1.2 (стр 21) приведено сравнение распределения числа галактик-спутников в зависимости от расстояния от галактического центра с профилями

Эйнасто и Наварро-Френка-Уайта (ссылки в работе 84 и 85 соответственно). Поскольку сравниваются профили с количественными данными по галактикам, следовало бы указать, какая модель заложена при данном сравнении.

На рис.2.7 «бегущая оценка массы» претерпевает снижение, что, очевидно, является фактом ошибки определения. Это следовало отметить.

В 3 главе используется термин «Хаббловский поток» хотя речь идет, по нашему пониманию, о «возмущенном Хаббловском потоке». Следует аккуратно использовать данные понятия.

Также в 3 главе из рассмотрения движения далеких членов Местной Группы исключены галактики с наибольшими отклонениями скоростей от модельных и сделан вывод о «холодном» движении остальных галактик (малой дисперсии). Следует детальнее пояснить, почему «созданная руками» малая дисперсия является правильной.

В работе встречаются жаргонизмы и кальки с английского языка: «апекс рыскает по небу» (стр 25), термин «трассер» (например, стр 40), «взвешивание Местной Группы» (стр. 94, в значении «определение массы») и т д.

Как рекомендацию, можно посоветовать автору в будущих исследованиях уделить больше внимания анализу тангенциальных составляющих скоростей галактик, появление которых ожидается с новыми миссиями, подобными JWST и Roman, что позволит перейти от сферически-симметричных моделей к более реалистичным.

Указанные замечания не влияют на высокую оценку диссертации.

Диссертационная работа Макарова Данилы Дмитриевича представляет собой законченное и целостное научное исследование, выполненное на высоком профессиональном уровне. Автореферат адекватно отражает содержание диссертации. Основные результаты опубликованы в авторитетных рецензируемых журналах, входящих в международные базы данных. Диссертация «Анализ скоростей близких карликовых галактик и оценка массы Млечного Пути, Туманности Андромеды и Местной Группы» полностью соответствуют критериям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемых ВАК, а ее автор, Макаров Данила Дмитриевич, заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 – «Физика космоса, астрономия».

Отзыв на диссертационную работу Макарова Данилы Дмитриевича «Анализ скоростей близких карликовых галактик и оценка массы Млечного Пути,

Туманности Андромеды и Местной Группы» обсужден и одобрен на заседании астрофизического семинара ИНАСАН 06.11.2025г.

Главный научный сотрудник ФГБУН Институт
астрономии РАН,
доктор физико-математических наук



О.Ю.Малков

06 ноября 2025 года

Сведения о ведущей организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт астрономии Российской академии наук (ИНАСАН).

119017 г.Москва, ул. Пятницкая, д.48

Тел: +7(495)951-54-61

Факс: +7(495)951-55-57

e-mail: admin@inasan.ru

Подпись О.Ю. Малкова заверяю

Зам.директора по научной работе
ФГБУН Институт астрономии РАН
к.ф.-м.н.



Е.А.Копылов