

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу **Макарова Дмитрия Игоревича** на соискание ученой степени «доктор физико-математических наук» по специальности «01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия» (отрасль наук: «физико-математические») на тему «**Построение карты близкой Вселенной**»

Диссертация Дмитрия Игоревича Макарова посвящена картированию распределения галактик в ближней Вселенной. **Актуальность** этой темы трудно переоценить. Современная космология претендует на описание теоретической картины эволюции Вселенной как целого с точностью до немногих процентов. Необходимый этап развития наших знаний о Вселенной - проверка этих теоретических построений в наблюдениях, сравнение предсказаний общепринятой сейчас Λ CDM-модели с тем, что реально существует в природе. До работ Макарова с соавторами точной наблюдаемой картины распределения галактик в пространстве не существовало даже для ближней Вселенной, в радиусе 10 Мпк от нас. Таким образом, **новизна** результатов диссертации абсолютно очевидна. Действительно, определение расстояний до галактик - это очень сложная задача, требующая и обильных высокоточных наблюдательных данных, и изощренной методики. И то, и другое было получено и разработано в коллективе под руководством И.Д. Караченцева, где весьма заметная роль и весомый вклад принадлежит Д.И. Макарову. Именно он усовершенствовал метод определения расстояний до разрешаемых на звезды галактик по вершине ветви гигантов, доведя его до точности, сравнимой с цефеидным методом (до работ Макарова не имевшим достойных конкурентов); именно он сформулировал алгоритм и создал комплекс программ, выделяющий гравитационно-связанные конгломераты галактик по их распределению на небе и в пространстве скоростей. Тут мы подходим к **практической значимости** результатов Макарова: разработанные им алгоритмы и созданные программные комплексы обладают несомненной общей значимостью и нужны астрономам для весьма разных задач, от исследований индивидуальных интересных объектов до построения объемных карт распределения галактик в ближних участках космического пространства. **Достоверность и обоснованность** научных выводов, полученных Д.И. Макаровым с помощью разработанных им методик и алгоритмов, подтверждается многочисленными успешными докладами на международных конференциях, публикациями его результатов в авторитетнейших международных журналах и весьма высоким уровнем цитируемости этих статей.

Глобальным достоинством диссертации Д.И. Макарова является масштаб полученных результатов и объем новой полезной информации, включенной в нее. Действительно, только приложения на 150 страницах содержат шесть ценнейших каталогов – каталоги галактик Местного объема, групп, триплетов, пар галактик, групп карликовых галактик и список изолированных галактик ближней Вселенной. На основе этой огромной новой информации сделаны порой сенсационные выводы - например, о том, что гравитирующая масса, заключенная в вириализованных коллективах галактик, в три раза меньше, чем требует для темной материи стандартная космологическая модель. Полученная Макаровым информация о статистике галактик в ближней Вселенной требует существенного пересмотра современных теорий строения и эволюции Вселенной.

Среди недостатков диссертации я бы отметила три довольно серьезных смысловых промахов и несколько легких огрехов в изложении.

1) При построении функции скоростей галактик Местного Объем (раздел 3.10) какая-то часть выборки (значительно меньше половины) не имела измерений круговой скорости нейтрального водорода. Чтобы не терять эти объекты, Макаров по их светимости оценил дисперсии скоростей звезд, интерполируя между индивидуальными оценками для близких карликов и литературным соотношением Фабер-Джексона для гигантских

эллиптических галактик. Затем он отождествил оценки дисперсии скоростей звезд с круговой скоростью. Этого делать напрямую было никак нельзя: многие галактики ранних типов показывают одновременно и заметное вращение, и заметные хаотические движения звезд, и чтобы оценить круговую скорость - меру массы галактики - надо в каждом случае складывать дисперсию скоростей звезд и скорость вращения звездного компонента в квадратурах. На самом деле, существуют некие статистические связи, которые только в последнее время стали исследоваться. Буквально пару месяцев назад вышла статья Serra et al. (MNRAS v.460, p. 1382, 2016), где для крупных галактик ранних типов, у которых наблюдаются протяженные диски нейтрального водорода, построена корреляция дисперсии скоростей звезд на эффективном радиусе versus скорость вращения водорода на 6 эффективных радиусах. Обнаружена эмпирическая, действительно линейная связь, но с коэффициентом связи $V_{\text{circ}}(H\text{I}) = 1.33 \sigma(r_e)$. Таким образом, отождествление дисперсии скоростей звезд с круговой скоростью H I, предпринятое Макаровым при построении функции скоростей галактик Местного Объем, занижало массы некоторых галактик в среднем на 70-85 процентов. Хорошо, что этих галактик было не так много - около 20% выборки.

2) При определении калибровки абсолютной звездной величины вершины ветви красных гигантов относительно цвета F606W-F814W на снимках Хаббловского космического телескопа (раздел 1.3) на рисунках 1.20, правом, и 1.21, правом, проводятся линейные зависимости – по две через ДВЕ точки на каждом. Однако при этом в тексте сказано, что проводилась "подгонка" методом наименьших квадратов, и, главное, приведены полученные при подгонке ошибки наклонов! Остается абсолютной загадкой, как диссертанту удалось применить метод наименьших квадратов к проведению линейной зависимости с двумя свободными параметрами через две точки и получить ошибки наклонов линейных зависимостей, отличные от нуля!

3) На стр. 292 обсуждается большой процент тонких дисков с ребра среди изолированных галактик. Цитата из диссертации: "Обращает на себя внимание относительно высокое число плоских спиральных галактик, видимых с ребра ($N_F = 71 \dots$). При случайной ориентации осей у тонких спиральных галактик их ожидаемое число в каталоге LOG должно составлять около 18-32. Наблюдаемый избыток числа N_F указывает на то, что тонкие диски с отношением осей $a/b > 7$ способны сохраняться преимущественно в областях низкой плотности материи...". Но позвольте! Оценка, что при случайной ориентации галактик в пространстве в Местном Объем должно быть 18-32 дисков, видимых с ребра, - это оценка, полученная ДЛЯ ТОНКИХ ДИСКОВ, как сказано в тексте. Значит, даже если бы все 100% тонких дисков выжило, их должно было бы быть 18-32; а их 71. Очевидно, что полученный результат не имеет никакого отношения к выживаемости тонких дисков. Он имеет отношение к статистике ориентации галактик Местного Объем в пространстве: похоже, что есть преимущественная плоскость, к которой тяготеют ориентации плоских галактик. Тут надо бы посмотреть на крупномасштабную структуру и прежде всего - на наиболее близкие к этим изолированным галактикам филаменты.

Далее, что касается ошибок изложения, надо отметить ряд несоответствий между текстом и картинками.

- На стр.53-54 в тексте сказано, что получили «вполне надежную оценку положения TRGB» для DDO 226, равную 24.39 ± 0.08 . Однако на рис. 1.14 графически отмечено положение TRGB 24.48.

-На стр. 55 текст: «Эллипс, наложенный на изображение, имеет ... эллиптичность 0.9». Однако на рис. 1.15 эта эллиптичность равна 0.55.

-На стр. 74 в тексте, в котором описывается Таблица 1.5, не упоминается реально присутствующий столбец номер 5, с оценками $12 + \log(O/H)$. Соответственно, остается неизвестным, откуда эти оценки взялись и каким методом получены.

- На стр. 29 в подписи в рис. 1.1 перечисляются металличности моделей "Z=0.004, 0.001, 0.004, 0.008, 0.19, 0.30". С ходу注意到了 2 одинаковых числа в списке; да и звезд с начальной металличностью Z=0.3 в природе не существует. В тексте эта ошибка повторена. Проверка по первоисточнику показала, что правильный список металличностей моделей должен быть "Z=0.0004, 0.001, 0.004, 0.008, 0.019, 0.030".

В параграфе, посвященном анализу свойств изолированных галактик (раздел 4.8.2), несколько легкомысленно трактуются изолированные галактики ранних типов. На стр. 285: «В каталоге LOG имеется только 17 галактик, классифицированных нами как E и S0...». На самом деле в Таблице 4.2 перечислены 17 *исключительно S0-галактик* – эллиптических в этом списке нет. Отсюда и некорректность дальнейшего описания: «потоки в линии H I соответствуют массам нейтрального водорода $10^8 - 10^9$ масс Солнца», что преподносится как отличие изолированных галактик от галактик, например, в группах. Между тем, это типичные массы газа в 40%-70% линзовидных галактик в окружении средней плотности – см. например недавние обзоры Serra et al. (ATLAS-3D).

Однако вышеупомянутые недостатки не снижают в целом сильного положительного впечатления от работы диссертанта и никоим образом не умаляют обоснованности и достоверности основных выводов и заключений диссертации. Работа является новым крупным достижением в наблюдательном исследовании структуры ближней Вселенной. Я считаю, что диссертация Д.И. Макарова удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Дмитрий Игоревич Макаров, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.03.02 - астрофизика и звездная астрономия. Выносимые на защиту выводы полностью опубликованы в научной печати, в том числе в 22 статьях в рецензируемых журналах, в том числе в международных и высокоимпактных журналах, а автореферат диссертации правильно отражает ее содержание.

Зав. отделом физики эмиссионных звезд и галактик ГАИШ МГУ
(119991, Москва, Университетский проспект, 13)
доктор физ.-мат. наук

О.К. Сильченко

Подпись зав. отделом ГАИШ МГУ О.К. Сильченко заверяю

Директор ГАИШ МГУ
академик РАН, профессор



А.М. Черепашук