

СТЕНОГРАММА

заседания диссертационного совета Д 002.203.01

протокол № 100 от 20 октября 2016 г.

Председатель: доктор физ.-мат. наук, член-корреспондент РАН
Балега Юрий Юрьевич

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

Состав совета - 19 человек, присутствуют - 14:

1. д.ф.-м.н член-корр. Балега Ю.Ю. 01.03.02
2. к.ф.-м.н Шолухова О.Н. 01.03.02
3. д.ф.-м.н, Караченцев И.Д.. 01.03.02
4. д.ф.-м.н Клочкова В.Г. 01.03.02
5. д.ф.-м.н Глаголевский Ю.В. 01.03.02
6. д.ф.-м.н Бескин Г.М. 01.03.02
7. д.ф.-м.н Панчук В.Е. 01.03.02
8. д.ф.-м.н Романюк И.И. 01.03.02
9. д.ф.-м.н Трушкин С.А. 01.03.02
10. д.ф.-м.н Богод В.М. 01.03.02
11. д.ф.-м.н Афанасьев В.Л. 01.03.02
12. д.ф.-м.н. Мингалиев М.Г. 01.03.02
13. д.ф.-м.н. Верходанов О.В. 01.03.02
14. д.ф.-м.н. Фабрика С.Н. 01.03.02

Председатель: Доброе утро, уважаемые коллеги. Начинаем нашу утреннюю сессию нашего диссертационного совета. Прошу объявить, что у нас с кворумом.

Секретарь: У нас присутствует 14 человек из 19 членов диссертационного совета. Кворум есть. Можно начинать заседание.

Председатель: Спасибо. Уважаемые коллеги, у нас сегодня рассматривается диссертация, выполненная Дмитрием Игоревичем Макаровым. Название диссертации всем известно - «Построение карты ближней Вселенной». Работа выполнена в Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук. Ведущей организацией является Астрокосмический центр ФИАН. Оппоненты: Сильченко Ольга Касьяновна (ГАИШ МГУ) и Васильев Евгений Олегович из Южного федерального университета, и третий оппонент - Решетников Владимир Петрович, Санкт-Петербургский гос. Университет. Есть какие-то вопросы по диссертации? Нет. Тогда прошу огласить ситуацию с документами.

Секретарь: Все документы, необходимые для представления и защиты докторской диссертации, нашим подзащитным представлены.

Председатель: Нет вопросов по документам? Ни у кого? Тогда, переходим к работе. Научный доклад соискателя - сорок минут. Пожалуйста, Дмитрий Игоревич.

Макаров Д.И.: Доброе утро!

Председатель: Извиняюсь, Дмитрий Игоревич. Телефоны, все, обязательно выключите, или просто выбросили. Если будет один звонок, подойду, отберу и выброшу. Повторю — выходить нельзя, членам совета выходить нельзя. Все. Извините.

Макаров Д.И.: Доброе утро, еще раз! Я рад представить на вашем вниманию докторскую диссертацию «Построение карты близкой Вселенной», которая была сделана в САО.

Не открою секрета, что начиная с 2000 года, происходят кардинальные изменения в нашем представлении о космологии Вселенной, связанные с открытием ускоренного расширения Вселенной. По современным стандартным представлениям примерно 73% средней плотности приходится на так называемую тёмную энергию. 22% на неизвестную тёмную материю. И только примерно 5% на обычное вещество. Надо отметить, что из этих 5% в наблюдениях наблюдается непосредственно только 1%. Таким образом, восстановление, наше понимание свойств Вселенной по такому маленькому видимому участку, кажется достаточно сложной проблемой современной космологии.

Современная парадигма формирования структур из гало темного вещества, так называемая LCDM-модель хорошо описывает эволюцию структур и галактик на больших масштабах. Однако, самое интересное происходит на малых масштабах и малых массах. К примеру, хорошо известная проблема «потерянных спутников» говорит о том, что теория предсказывает на 2 порядка больше темных гало малых масс, чем наблюдается спутников у галактик. Несмотря на все приложенные усилия эта проблема до сих пор так и не решена.

Изучение пекулярных скоростей является одним из основных методов получения информации о крупномасштабной структуре и распределении вещества во Вселенной. До недавнего времени, до 90х годов, наше знание о распределении вещества очень сильно были

ограничены скудностью данных о расстояниях до близких галактик. На этом слайде показан прогресс нашего знания о галактиках Местного Объема, полученного в нашей лаборатории. Обращу внимание, что звездочками на этих картинках отмечены данные, полученные в нашей лаборатории, за эти годы начиная с 90го, что составляет примерно 80% вклада по определению расстояний, мирового вклада.

Все это характеризует актуальность темы данного исследования. В этой работе была поставлена задача исследования распределения вещества в местной Вселенной. С этой целью был уточнен метод определения расстояний, определены расстояния до галактик, и развиты методы кластеризации для выделения групп в Местном Сверхскоплении.

Структура и объем диссертации показаны на этом слайде. Диссертация состоит из введения, 4х глав, и нескольких приложений. Все показано на слайде.

Во введении указана актуальность, сформулированы цели из задачи, показаны основные результаты, выносимые на защиту, и личный вклад автора.

В первой главе рассматривается метод определения расстояний по вершине ветви красных гигантов. Этот метод обладает рядом существенных преимуществ. Он позволяет оценивать расстояния до галактик с точностью сравнимыми с цефеидными расстояниями. Однако, этот метод достаточно прост и эффективен в наблюдательном плане. Очень важно, что он использует звезды старого населения, что позволяет применять этот метод к галактикам разных морфологических типов.

Начиная с первого указания на то, что красные гиганты в разных галактиках имеют примерно одинаковую светимость (работа Бааде 44-го года), было предложено несколько количественных методов выделения обрыва функции светимости звезд красных гигантов. Lee в 93 году предложил первый количественный метод.

В 2002 году появилась альтернатива, основанная на методах максимального правдоподобия. Характерная работа метода была показана на рисунках. Преимуществом метода, основанного на цифровой фильтрации, является его модельная независимость. В то время как, метод максимального правдоподобия подгоняет наблюдаемую функцию светимости звезд красных гигантов некоторой наперед заданной функцией. Однако, методы цифровой фильтрации имеют тот недостаток, что они должны дифференцировать дискретную функцию, заданную неким ансамблем точек, что приводит к сложности применения этого метода.

Мной была решена задача уточнения этого метода. Мы сделали основной упор на очень точное описание фотометрических ошибок, что не было сделано предыдущими авторами. Математика указана здесь. Проиллюстрирована работа этого метода. Это позволило существенно повысить точность работы этого метода. И самое главное, мы смогли измерять расстояние до галактик даже вблизи фотометрического предела. О чем будет сказано чуть дальше.

Принцип работы... как наблюдаемые эффекты изменяют вид функции светимости звезд красных гигантов показан на этом рисунке.

Наверно, одной из самых ярких иллюстраций работы этого метода можно увидеть на сравнении наблюдений галактики KK16, полученной с камерой WFPC2 и на камере ACS.

Видно, что несмотря на то, что на этой диаграмме мы видим только самую вершину ветви красных гигантов, тем не менее мы смогли достаточно надежно определить расстояние до этой галактики.

Однако, когда происходит наблюдение вблизи фотометрического предела, может произойти ошибка в классификации на диаграмме цвет-величина и путаница между звездами асимптотической ветви и красными гигантами, что приводит к существенной недооценке расстояний до галактик вблизи фотометрического предела.

Вторая задача которая решалась — это калибровка зависимости светимости вершины ветви красных гигантов от цвета. К сожалению, этот метода показывает достаточно существенную зависимость болометрической светимости, максимальной светимости звезд красных гигантов, от металличности. И даже в удачном фильтре I эта зависимость достаточно сильная. Нами были выбраны близкие галактики с большим разбросом популяции звезд по металличности, что позволило проследить наклон этой зависимости.

Расстояния до близких звезд были прокалиброваны по звездам горизонтальной ветви, что позволило построить шкалу расстояний TRGB без привлечения цефеид. Сравнение с цефеидами показало очень хорошее согласие нашего метода с цефеидной шкалой расстояний. Наш метод показал внутреннюю точность очень высокую — порядка 0.02 звездной величины, что сравнимо, как я говорил, с точностью цефеидных методов определения расстояний.

В качестве иллюстрации работы метода я привел работу по определению расстояний галактик в области Гончих Псов. Это достаточно рассеянное скопление, которое очень четко выделяется в пространстве скоростей и на небе. Однако, в отличие от других близких групп галактик, таких как Местная Группа галактик, Центавр А, М81, эта группа не показывает сильной концентрации к центру, в ней нет столь ярких галактик, и она выглядит рассеянной.

Эта группа очень хорошо исследовалась. Была отмечена еще Игорем Дмитриевичем Караченцевым в 1966 году. Расстояния измерялись как по ярчайшим звездам, так и по ветви красных гигантов. Мы применили вновь разработанный метод, что позволило улучшить точность определения расстояний. Это дало возможность зону вириальных движений в этой группе, оценить массу, и оценить массу-светимость для этой группы. Она оказалась на уровне от 120 до 160, что сильно отличается от отношения масса-светимость для групп типа Местной Группы.

Глава 2 посвящена разработке баз данных. В общей сложности я принял участие в разработке 3х баз данных расстояний до галактик. Одна из них включена в ЛЕДА.

Здесь показано распределение галактик с расстояниями по небу. Так как это близкие галактики они показывают распределение галактик в Местной Сверхскоплении.

Была проведена взаимная калибровка разных методов. Приведено все в единую шкалу расстояний. На этом рисунке показано эффективность работы разных методов оценки расстояния. И хочется отметить, что на этой диаграмме показано как много есть оценок расстояний в зависимости от расстояния. Видно, что только в Местном Объеме мы имеем более или менее полную картину о расстояниях независимых от красного смещения. За

пределами Местного Объема самый эффективный метод Талли-Фишера позволяет проводить оценки только для примерно трети галактик, известных в Местном Сверхскоплении.

Другая интересная база данных — это Extragalactic Distance Database и ее подчасть — каталог диаграмм цвет-величина и оценок расстояний до галактик полученных по различным нашим программам. По программам Игоря Дмитриевича Караченцева, Брента Талли и Сейцера было получено примерно 350 орбит Хаббловского телескопа по 10 программам. Все это собрано в этой базе данных и на данный момент там содержится примерно 384 измерений до галактик.

Третья глава посвящена исследованию Местного Объёма. Нами был создан каталог галактик на шкале до 11 Мпк. На данном рисунке показаны селекционные эффекты нашей выборки в зависимости от расстояния. На начало 2013 год в базе данных было 860 с чем-то галактик. База данных постоянно пополняется и на данный момент в ней более 1000 галактик.

На небе галактики Местного Объема распределены таким образом. Видна сильная концентрация галактик в плоскости Местного Сверхскопления. И примерно половину объема Местного Объема занимает так называемая Местная Пустота, которая тянется существенно за пределы Местного Объема.

Распределение галактик в Местном Объеме существенно неоднородно. Галактики концентрируются к различным группам, таким как Местная Группа галактик, Центавр, М81, и к плоскости Местного Сверхскопления. Пекулярные скорости в Местном Сверхскоплении также очень далеки от однородного. Галактики, которые лежат вдали от плоскости Местного Сверхскопления, показывают большие отрицательные пекулярные скорости, которые отмечены синим цветом. А в направлении на Вирго мы видим преобладание положительных пекулярных скоростей. Так называемый эффект натекания, падения галактик на Вирго.

Каталог позволяет строить большое количество масштабных соотношений. На этой картинке я показал аналог фундаментальной плоскости. Верхний рисунок иллюстрирует соотношение между светимостью галактик и ее линейным размером. Линия — это не регрессия — это некая линия характеризующая поведение галактик постоянства средней объемной плотности светимости в галактиках. Видно, что галактики в первом приближении следуют этой зависимости. Вот этот график характеризует стандартную голубую зависимость Талли-Фишера для близких галактик. Видно, что карликовые галактики достаточно сильно уходят с этой зависимости.

Другой блок данных, который я хочу показать, связан со свойствами водорода в Местной Группе. Порядка 70-80% галактик Местного Объема имеют наблюдения в водороде. Верхний график иллюстрирует хорошо известную зависимость, что при переходе от гигантских галактик к карликовым у нас растет массовая доля водорода по отношению к светимости, что интерпретируют как меньшую эффективность звездообразования в карликовых галактиках. По этим диаграммам можно оценить отношение массы водорода к полной массе звезд в карликовых галактиках. Которое равно 1.3, что говорит о том, что более половины барионной массы карликовых галактик до сих пор не переработана в звезды. И у этих галактик может быть еще долгая история активной жизни. Полная масса водорода к динамической массе

галактик тоже растет гигантских к карликовым. У карликовых галактик достигая отношения близкого к единице.

Нами была построена функция светимости галактик в Местном Объем. Она очень хорошо согласуется с функцией светимости, полученных в обзорах SDSS (синяя кривая, не очень хорошо видна) и 2dF (красная кривая). Видно, что функция светимости галактик в Местном Объем имеет существенно лучшую глубину и аппроксимация этой зависимости функцией Шехтера позволяет оценить полноту данных о галактиках в Местном Объем. Можно сказать, что до галактик до -14 звездной величины в В она практически полная, составляя полноту 90% для галактик -13.5 звездной величины. Интересной особенностью Местного Объем (даже на этом графике видно, что функции светимости очень подобны на существенно больших Масштабах и в Местном Объем), что похожесть свойств галактик на Вселенную в целом определяется некими селекционными свойствами. Мы живем не в случайно выбранном объеме пространства, а в гигантской галактике, окруженной достаточно большим набором галактик. Если наложить соответствующие ограничения на выборки галактик в космологических расчетах и сравнить их со средними свойствами вселенной, то оказывается, что аналоги Местного Объем оказываются очень близкими по средним характеристикам к средним характеристикам моделируемых вселенных. Как по средней плотности, так и по диаграмме Хаббла для близких галактик и по функции скоростей галактик.

Функция скорости галактик является фундаментальной характеристикой, очень удобной для сравнения наблюдений и теории. К сожалению, из-за сложности наблюдений результаты по этим функциям пошли сравнительно недавно. Местный объем позволяет строить функцию скоростей для галактик вне зависимости от морфологического типа. Благодаря тому, что мы знаем статистику не только иррегулярных, но и эллиптических галактик в Местном Объем, нами была построена функция скорости с точностью примерно 10% для галактик со скоростью круговых движений порядка 10 до 200 км/с. Наша функция очень не плохо согласуется с данными обзоров ALFALFA (красная линия) и обзора HIPASS.

Для того, чтобы сравнивать наблюдения и теорию нами были проверены данные, полученные с радио-интерферометрами, и было показано, что водород в галактиках простирается достаточно далеко, для того, чтобы адекватно описывать максимум круговой скорости вращения окружающего темного гало галактик.

Сравнение наблюдений и теории показало, что теория очень хорошо описывает гигантские галактики, но неспособна описывать поведение функции скорости для карликовых галактик. Для галактик со скоростью порядка 40 это различие примерно 6 раз. Хочется отметить, что это говорит о том, что мы в наблюдениях «теряем» достаточно массивные галактики, сравнимые по своим характеристикам с Малым Магеллановым Облаком.

Фабрика С.Н.: Дима, по вертикальной оси что, количество галактик?

Макаров Д.И.: Плотность количества галактик.

Теплое темное вещество также не способно адекватно описать наблюдаемую функцию светимости.

Четвертая глава посвящена созданию групп галактик. Нами была сделана выборка галактик Местного Сверхскопления. Основное внимание было очистке выборки от так называемого космического «спама»: удалены ложные галактики, ложные наблюдения, ошибочные наблюдения.

Нами был разработан алгоритм выделения групп, основанный на требовании, чтобы пара галактик формировала гравитационно связанную систему, т.е. полная энергия системы была отрицательной, а ее линейный размер не превышал радиуса нулевой скорости. Алгоритм был протестирован, настроен по близким группам галактик в Местном Объем, где мы знаем трехмерную структуру групп из определения расстояний методом TRGB.

Это позволило выделить большое количество групп. В результате, мы получили, что в группах собрано примерно 52% всех членов Местного Сверхскопления или примерно 80% полной светимости галактик Местного Сверхскопления.

Были оценены характерные свойства групп. В частности было показано, что 97% полученных групп имеют время пересечения существенно меньше хаббловского времени Вселенной, что говорит о том, что мы смогли выделить динамически проэволюционировавшие системы.

Здесь получена диаграмма для полной массы и отношения масса-светимость для галактик.

Отношение масса светимость показывает слабую тенденцию увеличения с ростом светимости группы. Хорошо известный эффект. Хочется обратить внимание, что средняя медианное значение отношения масса-светимость для групп существенно ниже значения, которое следует из наблюдений микроволнового фона средней плотности гравитирующего вещества во Вселенной. Это один из самых интересных результатов. Было получено, что в вириализованных системах связано... средняя плотность плотность Вселенной заключенной в вириализованные системы составляет 8 сотых, что примерно 3-4 раза меньше средней плотности полученной по данным микроволнового фона.

Это можно было бы интерпретировать как некую особенность, что Местное Сверхскопление сильно отличается по своим свойствам от всей Вселенной. Однако сравнение хода плотности светимости галактик в Местном Сверхскоплении показывает, что на шкале 30-40 Мпк средняя плотность светимости мало отличается от данных, полученных по существенно более глубоким обзорам неба. Это говорит, о том, что наша оценка должна соответствовать всей Вселенной в целом. И возможно, что такое большое отличие между локальным значением и глобальным связано с тем, что мы видим только вириализованные части групп, где заключено сравнительно небольшое количество гравитирующей массы Вселенной.

Интересным бай-продуктом работы оказалось обнаружение карликовых групп галактик. Эти галактики характеризуются более высоким отношением масса-светимость, чем нормальные группы галактик. И таких групп оказалось на удивление много. Более 5%, а с учетом селекционных эффектов таких групп должно быть существенно больше во Вселенной. Это иллюстрирует тот факт, что иерархическое формирование структур во Вселенной идет на всех масштабах масс.

На этом научная часть закончилась.

На защиту я выношу:

1. Методику и пакет программ для определения расстояний и калибровку метода TRGB.
2. Оценки расстояний до 30 галактикам в Гончих Псов.
3. Структуру баз данных над которыми я работал.
4. Сравнение функции скоростей Местного Объемы и теории.
5. Критерий и алгоритм выделения групп.
6. Каталоги групп, пар и триплетов местной Вселенной.
7. Оценка средней плотности Вселенной.

Публикации и апробации показаны на этой работе. Результаты диссертации были опубликованы в 37 работах.

Личный вклад подробно описан на этом слайде. В двух словах можно характеризовать тем, где я был первым автором мой вклад в работу основополагающий. Алгоритмы, программы писались лично мной. Обсуждение результатов шло наравне с соавторами. Подробности описаны здесь.

Спасибо за внимание.

Председатель: Спасибо. Уложились. 10 минут сэкономили.

Макаров Д.И.: Даже так

Председатель: Вопросы и ответы. Переходим к вопросам и ответам. Вопросы, давайте.

Богод В.М.: Спасибо за очень хороший доклад. И работа, видно, очень крупная. Скажите, как Вы видите продолжение? В каком направлении Вы будете дальше работать?

Макаров Д.И.: Естественно, работа не останавливается. Хотелось бы дальше изучать более подробно карту распределения вещества. Наши совместные работы с нашими американскими коллегами показывают очень интересное применение определение пекулярных скоростей для оценки сглаженного распределения вещества. Может Вы слышали о Местном Сверхскоплении, Лануакее. Поэтому, сейчас мы нацелены на определение, исследование галактик с ребра, с целью определения пекулярных скоростей, на шкале порядка 100 Мпк. Конечно же, работы по Местному объему тоже не прекращаются. Ведутся наблюдения, в том числе и на Хаббловском телескопе. Будут определяться расстояния, что позволит более точно прописать поле скоростей. На данный момент мы хорошо представляем данные до 5 Мпк. Далее 5 Мпк эти данные достаточно разреженные. А мы обнаружили много интересных эффектов которые возникают за пределами 5 Мпк. Хаббловский поток становится гораздо менее однородным, менее холодным.

Богод В.М.: Я полагал, вообще-то, что в основном зародились крупные работы по скрытой массе. В этом направлении можете намного просветить?

Макаров Д.И.: Да. Значит... Я сейчас обдумываю уточнение алгоритма. Алгоритм который мы использовали, он достаточно простой. Хочется ввести зависимость отношения масса-

светимость от светимости систем, потому, что мы знаем, что эффективность звездообразования разная. Лучше прописать эту зависимость и применить ее на существенно больших шкалах. Для этого я как раз работаю с HyperLEDA, чищу данные. Сейчас идет большая подготовительная работа. Интересно провести непосредственное сравнение работы алгоритма с данными численного моделирования.

Председатель: Фабрика.

Фабрика С.Н.: Дима, я не понял в последнем выносе на защиту, что такое Омега-эм?

Макаров Д.И.: Омега материи. Т.е. вся гравитирующая, темная материя...

Фабрика С.Н.: Включая темную материю?

Макаров Д.И.: Темную материю. Да.

Фабрика С.Н.: Это желательно как то было описать...

Председатель: Еще вопросы? Афанасьев.

Афанасьев В.Л.: Дмитрий Игоревич, покажите тот график, где Вы сравниваете зависимости плотности галактик разных типов... скорости... дальше.. еще нет, три графика стояло с различными моделями... Вот. Не не не, следующий.

Макаров Д.И.: Вот этот?

Афанасьев В.Л.: Да. Вы сказали такую фразу, что вот этот недостаток он возможно связан с наблюдательной селекцией. Вы это сказали, я это услышал. У меня вопрос. Этот недостаток, насколько надежно получен? Потому, что он находится в сильном противоречии. Вернее так: СМД-модель находится в сильном противоречии с наблюдательными данными. Достаточно сильный результат. И Ваш комментарий, оговорка, возможно, что это связано с селекцией. Насколько он надежен?

Афанасьев В.Л.: Покажите, где она.

Макаров Д.И.: Мы уверены в наших данных до примерно -14 звездной величины. Это примерно соответствует (показывает на рисунке) где-то до сюда. Дальше это небольшая экстраполяция идет. Т.е. мы корректируем наблюдаемую функцию за счет потерь в функции светимости.

Афанасьев В.Л.: Т.е. этот результат достаточно надежный.

Макаров Д.И.: Да. Мы считаем это достаточно надежным. Как одним из возможных причин такого разнобоя в 6 раз в нашей работе было предложено, что мы теряем существенное количество галактик ранних типов, т.е. карликовых сфероидальных галактик, в которых нету газа и экстремально низкая поверхностная яркость. На данный момент таких галактик практически неизвестно. Пошли обнаружения примерно похожих свойств. В Местной Группе недавно Crater 2 нашли. Это галактика размером несколько килопарсек.

Афанасьев В.Л.: Возможно, это просто селекция не наблюдательная, а именно в выборке.

Макаров Д.И.: Да. Таких галактик, возможно, просто нет.

Председатель: Еще вопросы? Пожалуйста, Трушкин.

Трушкин С.А.: Дима, все-таки последний пункт, касающийся разницы такой сильной в плотности, средней плотности. Все-таки не очень понятно объяснение. Значит ли это, что все-таки темной материи очень мало в Местной Вселенной.

Макаров Д.И.: Что это значит. Мы в своей работе предложили там три объяснения такому разногласию. Один очень экзотический. Что мы живем в области пониженной плотности. Причем, эта область пониженной плотности составляет размером до 300 Мпк. И мы сидим в центре такого войда. Но это...

Трушкин С.А.: Здесь сразу возражение, что темная материя определяет все, а не вещество.

Макаров Д.И.: Мы не рассматриваем это как серьезный аргумент. Более серьезно, это то, что каждая такая группа помещена в шубу из темного вещества, а мы меряем только центральную область. Мы можем померить массу только заключенную только в вириализованной части, а темное вещество распределено существенно шире. Которое мы не видим, к сожалению. И наши оценки связаны именно с этим. Хотя, есть указания, что по поведению хаббловского потока вокруг Местной Группы галактик, вокруг Вирго, что оценки масс в вириальной зоне и в, примерно в 10 раз более широкой зоне радиусом нулевой скорости — они сопоставимы. Т.е. тут есть определенные сложности. И следующее, что часть темной материи распределена существенно более широко и, соответственно, мы ее просто в данном виде наблюдений не можем почувствовать. Я проводил (к сожалению, неопубликованная работа) сравнение данных численного моделирования и прогнал через наш алгоритм. В численном моделировании у них примерно 2/3 частиц темной материи, которые участвуют в расчетах не кластеризуются в гало. В результате, это очень хорошо согласуется с тем, что мы наблюдаем.

Трушкин С.А.: Гало галактик?

Макаров Д.И.: Да, в гало галактик 2/3 частиц просто не попадает. В принципе этот результат качественно согласуется с современными моделями.

Трушкин С.А.: Спасибо.

Председатель: Еще вопросы? Нет больше вопросов. Еще вопрос Фабрики, извините.

Фабрика С.Н.: Дима, ты сравнил по цефеидам с методом. А есть же другие методы. Там расхождение какое-то?

Макаров Д.И.: Скажем так. У цефеид есть масса своих проблем. И многие авторы улучшают тем или иным образом оценки расстояния. Сейчас GAIA отработает у нас появятся наверняка масса новых калибровок расстояний. Все расстояния до галактик будут перекалибровываться. Сейчас основа внегалактической шкалы расстояний — это ключевой проект Хаббла по цефеидам, примерно 30 галактик.

Фабрика С.Н.: Т.е. цефеиды лучший метод расстояний.

Макаров Д.И.: Да. Считается так. Естественно, методов много. Как правило, они неплохо согласуются цефеидной шкалой расстояний. В некоторых есть большее расхождение,

меньшее, но, в принципе, все они дают согласованные шкалы расстояний. Которые можно чуть чуть корректировать, что и сделано в базе данных.

Председатель: Еще вопросы есть, коллеги? Нет вопросов. Спасибо. Присаживайтесь. Переходим к заключению организации, где выполнена работа, к заключению нашей обсерватории. Прошу, Ольга Николаевна.

Секретарь: Заключение федерального государственного бюджетного учреждения науки Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук. В период подготовки диссертации соискатель, Макаров Дмитрий Игоревич, работал в САО в должности научного, старшего научного сотрудника и заведующего лабораторией «Внегалактической астрофизики и космологии». В 1994 году Макаров Дмитрий Игоревич закончил Московский государственный университет по специальности «астрономия» с присуждением квалификации астронома. С 1994 по 1997 год обучался в аспирантуре САО. 27 ноября 2000 года решением диссертационного совета при Специальной астрофизической обсерватории Макарову присуждена ученая степень кандидата физико-математических наук.

По итогам обсуждения представляемой диссертации принято следующее заключение:

Если возможно, диссовет разрешит, не зачитывать структуру.

Председатель: Есть желающие послушать структуру диссертации еще раз? Нет желающих.

Секретарь: Тогда переходим сразу к основной...

Председатель: Существенной части.

Секретарь: Существенная часть.

Научная новизна работы состоит в следующем. Все каталоги и базы данных, созданные в ходе работы над диссертацией являются новыми. Предложен и разработан новый алгоритм выделения структур в распределении галактик, основанный на требовании отрицательности полной энергии у физической группы галактик. Анализ свойств групп галактик на шкале Местного Сверхскопления показал, что средняя плотность вещества примерно в 3 раза меньше глобальной плотности Вселенной, полученной из анализа данных микроволнового фона. В ходе работы над каталогами была обнаружена интересная популяция групп, состоящая исключительно из карликовых галактик. Разработанные соискателем улучшения и новая калибровка позволили существенно улучшить точность и надёжность определения расстояний методом TRGB. С помощью этой методики были получены высокоточные оценки расстояния до 384 галактик. Впервые была построена функция скорости для галактик Местного Объёма, что позволило провести сравнение теоретических предсказаний с наблюдениями и подчеркнуть проблему избытка предсказанных галактик в поле.

Личный вклад автора является определяющим в работах, где диссертант является первым автором. Разработка алгоритмов, написание программ, создание каталогов групп проводилось лично диссертантом. Анализ данных и обсуждение результатов велось наравне с соавторами.

Научная и практическая значимость выражается в том, что методика определения расстояний, представленная в диссертации, применяется различными группами

исследователей. Базы данных, созданные в данном проекте, активно используются как профессиональными астрономами, так и любителями. Результаты, анализа распределения и движения вещества в близкой вселенной вызвали большой интерес в сообществе и стимулировали работы по сравнению наблюдений и теории.

Достоверность полученных результатов не вызывает сомнения и подтверждена публикациями в ведущих российских и зарубежных журналах, в том числе: Monthly Notices, Astronomical Journal, Astrophysical Journal и другие.

Все выводы, выносимые на защиту, тщательно аргументированы и подробно изложены в статьях диссертанта, опубликованных в рецензируемых научных журналах из списка ВАК. Результаты диссертации опубликованы в 37 статьях, из них 22 в рецензируемых, и 15 - в материалах конференций. Результаты представленной работы обсуждались на 21 международной и 10 российских конференциях, на семинарах САО РАН.

Работа соответствует заявленной специальности 01.03.02 - Астрофизика и звёздная астрономия.

Учёный совет САО РАН пришел к заключению, что по своей актуальности, новизне и практической значимости диссертационная работа Макарова полностью удовлетворяет всем требованиям пункта 9 «О присуждении учёных степеней» и является завершённой научно-квалификационной работой. Работа удовлетворяет требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, а диссертант заслуживает присвоения ему степени доктора физико-математических наук.

Заключение принято на заседании учёного совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук.

Состав ученого совета – 21 человек, на заседании присутствовало - 14 человек. Результаты голосования: «за» - 14, «против» - 0, «воздержалось» - 0. Протокол от 6 июля 2016 года.

Председатель: Спасибо. Так. Поскольку у нас не поступили на автореферат никакие отзывы, то мы переходим сразу к отзыву ведущей организации, Астрокосмический центр ФИАН. Ольга Николаевна, придется зачитать.

Секретарь: Отзыв ведущей организации.

Диссертация посвящена изучению пространственного распределения светящегося вещества в ближайшей окрестности (до 11 Мпк) системы галактик Млечный путь - Туманность Андромеды.

С вашего позволения я не буду зачитывать структуру диссертации и сразу перейду к замечаниям и основной части.

Председатель: Да. Пожалуйста.

Секретарь: Научная новизна результатов связана с разработкой новых алгоритмов и методов для исследования галактик и их систем. Создание новых каталогов и анализ свойств галактик позволил получить новые результаты о распределении вещества в близкой Вселенной.

Практическая и научная ценность определяется тем, что разработанный метод определения расстояний активно используется различными группами исследователей. Этим методом получены расстояния для примерно 400 галактик. Информационные ресурсы играют важную роль в изучении свойств галактик, распределения вещества и космических потоков в ближней Вселенной. Каталоги, созданные в ходе выполнения данной работы, являются важным источником данных для изучения концентрации галактик, оценки массы и населенности систем, связи свойств с окружением.

Полнота представления результатов. Основные результаты диссертации опубликованы в 22 работах в ведущих реферируемых астрофизических журналах, и в 15 статьях в сборниках трудов и конференций.

Замечания к диссертации:

1. Предложенный в четвертой главе алгоритм кластеризации не учитывает анизотропный характер формирования крупномасштабной структуры Вселенной, отмеченный еще Я.Б.Зельдовичем (1970). А именно, условие (4.4) верно лишь для сферически-симметричных систем, поэтому применение данного критерия не обязательно гарантирует гравитационную связанность системы.
2. Интерпретация полученного результата о том, что средняя плотность материи, заключенной в группах, примерно в три раза меньше глобальной средней плотности материи несколько мистифицирована. На самом деле простая оценка показывает, что большого расхождения тут нет; из функции масс гало (в модели Пресса-Шехтера, либо в более сложной модели Шета-Мо-Тормена) следует, что по предсказаниям стандартной модели в настоящую эпоху только лишь четверть всей материи заключена в гравитационно-связанных объектах с массой более $10^{12} M_{\text{sun}}$, а если понизить планку массы до $10^{10} M_{\text{sun}}$, то доля материи составит всего 40%. Таким образом, предположение о том, что остальные $2/3$ материи распределены вне групп примерно соответствует предсказаниям стандартной модели, а более аккуратное сравнение составило бы тему отдельной научной работы.
3. Из текста диссертации остаются неясными перспективы детектировать карликовые галактики очень низкой яркости, которые, тем не менее, могут иметь массу, сопоставимую с массой Магеллановых облаков.

Заключение. Диссертационная работа Макарова Дмитрия Игоревича представляет законченное научное исследование, выполненное на высоком научном уровне, и удовлетворяет всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемых к докторским диссертациям. Ее содержание полностью соответствует специальности 01.03.02 «астрофизика и звездная астрономия», а текст автореферата полностью отражает содержание диссертации. Из вышесказанного следует, что ее автор Макаров Дмитрий Игоревич заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук.

Отзыв заслушан и утвержден на семинаре отдела теоретической астрофизики АКЦ ФИАН 6 октября 2016 г.

Отзыв составил зав. отделом теор. астрофизики проф., д. ф.- м. н. В.Н. Лукаш

Председатель: Дмитрий Игоревич, три замечания нужно рассмотреть.

Макаров Д.И.: В общем я согласен с замечаниями. На одно замечание, второе, я уже ответил, что сравнение с N-body моделированием показывает, что особого противоречия между нашим результатом и современной космологией нет. Поэтому, я ничего возражать не буду.

По первому результату я могу только сказать, что мы изначально ориентировались на вириализованные области галактик. В областях вириализации у нас системы сильно перемешиваются и теряют информацию о том откуда они там пришли в систему, и должны, если это действительно хорошо вириализованные системы, должны быть более менее сферически симметричны. Поэтому, я думаю, что наш алгоритм все таки работает правильно.

Третий результат. Да. На данный момент слабо понятно как массово находить подобные галактики. Т.е. «под фонарем» и в близкой Вселенной мы знаем есть такие, была найдена галактика Crater 2, в Коме были найдены похожие галактики, т.е. большие галактики экстремально низкой поверхностной яркости. Но это в плотных областях, мы даже можем придумать как сформировать такие галактики, а такие галактики могут сформироваться в изолированном пространстве пока еще непонятно, и как их искать тоже совершенно непонятно. Это требует очень больших наблюдательных ресурсов. Может современные массовые обзоры позволят продвинуться в этом направлении.

Председатель: Так. Переходим к отзывам официальных оппонентов. У нас по порядку Ольга Касьяновна Сильченко, ГАИШ МГУ.

Сильченко О.К.: Уже где-то года два-три, а может и больше на каждом совете нам напоминают, что оппонент не должен, не то что может не, а не должен обозревать содержание диссертации. Поэтому, я его обозревать не буду. Ну, зато отмечу все то, что положено отметить в таких случаях.

Председатель: То, что должен.

Сильченко О.К.: Да.

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 и 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 Игоря Дмитриевича Караченцева, где весьма заметная роль и весомый вклад принадлежит Дмитрию Игоревичу 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 Дмитрием Игоревичем Макаровым с помощью разработанных им методик и алгоритмов, подтверждается многочисленными успешными докладами на международных конференциях (я была свидетелем — действительно, очень сильно), 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 ... (Да, оправдание Лукаша это задним числом. Космологи всегда так делают. Им покажешь наблюдательный результат, который кардинально расходится. Они тут же начинают объяснять, что они на самом деле так и думали, что так и должно быть. На самом деле, по группам, не по этой картинке... На самом деле по группам галактик то, что далеко не вся темная материя оказывается связана с видимыми галактиками — это ткнули носом. Потому, что сначала нас убеждали, что барионы следуют за темной материей. Барионов в 6 раз меньше, поэтому, за счет гравитации барионы должны всегда следовать за темной материей точно. А потом вдруг выясняется, что совсем это не так и вводится понятие байсинга космологического. И как раз этот результат, что большая часть галактик связанные, а подавляющая часть темной материи не связанная, можно использовать для наблюдательного ограничения понятия байсинга, который пока, что руками чисто вводится в космологические модели.) Полученная Макаровым информация о статистике галактик в ближней Вселенной требует существенного пересмотра современных теорий строения и эволюции Вселенной. Вот таки, да, требует.

Среди недостатков. Среди достоинств я надеюсь я подчеркнула, что они очень весомые и не вызывают никаких сомнений. Среди недостатков диссертации я бы отметила три довольно серьезных смысловых промахов и несколько легких огрехов в изложении:

Первый смысловой промах: При построении функции скоростей галактик Местного Объем (раздел 3.10) какая-то часть выборки (значительна меньше половины) не имела измерений круговой скорости нейтрального водорода. Основная зависимость построена по ширинам

линии 21 см. Но какая-то часть галактик полной выборки ближней Вселенной таких измерений не имела. Чтобы не терять эти объекты, Макаров по их светимости оценил дисперсии скоростей звезд - это галактики ранних типов в которых нет нейтрального водорода, незадетектирован, поэтому, значит, он оценил дисперсии скоростей звезд, потом 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 несколько месяцев назад вышла статья Serra с соавторами, где для крупных галактик ранних типов, у которых наблюдаются протяженные диски нейтрального водорода, построена корреляция между дисперсии скоростей звезд на эффективном радиусе и скоростью вращения водорода на 6 эффективных радиусах. Обнаружена эмпирическая, действительно линейная связь, но с коэффициентом связи 1.33, т. е. Круговая скорость равна 1.33 умножить на дисперсию скоростей. Таким образом, отождествление дисперсии скоростей звезд с круговой скоростью HI, предпринятое Макаровым при построении функции скоростей галактик Местного Объем, занижало массы некоторых галактик в среднем на 70-85 процентов. В смысле на 30, получалось 70, вместо того, чтоб 100. Хорошо, что этих галактик было не так много - около 20% выборки.

Второй недостаток. Тут картинки были очень любопытные. При определении калибровки абсолютной звездной величины вершины ветви красных гигантов относительно цвета F606W-F814W на снимках Хаббловского космического телескопа на рисунках 1.20. правом, и 1.21, правом, проводятся линейные зависимости - по две через ДВЕ точки на каждом. Значит, линейная зависимость, точки с барами ошибок, но линейная зависимость. В тексте при этом сказано, что проводилась "подгонка" методом наименьших квадратов, 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!

Третий недостаток: 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 (71). При случайной ориентации осей у тонких спиральных галактик их ожидаемое число в каталоге LOG должно составлять около 18-32. Наблюдаемый избыток числа 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 Объемы 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 авторы «вполне надежную оценку положения TRGI3» для DDO 226, равную 24.39. Однако на рис 1.14 графически отмечено положение TRGB 24.48.

-На стр. 55 текст «Эллипс, наложенный на изображение, имеет эллиптичность 0.9». Значит, смотрю на рисунок, где этот эллипс наложен. Эллиптичность, линеечкой померенная, имеет значение 0.5.

-На стр. 74 в тексте, в котором описывается Таблица 1.5, не упоминается реально присутствующий столбец номер 5, с оценками $12+\log(O/H)$. Очевидно, что в газе. Осталось неизвестным, откуда эти оценки взялись и каким методом получены. И, добавлю, зачем в таблицу занесены.

- 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 насторожило два 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. Каюсь у нас с Катковым была серия работ по изолированным галактикам ранних типов, поэтому, тут я сделала «стойку». На стр. 288. «В каталоге LOG имеется только 17 галактик, классифицированных нами как E и S0...» На самом деле в Таблице 4.2 перечислены 17 исключительно линзовидных галактик - эллиптических в этом списке нет. Т.е. это не ранние типы — это исключительно линзовидных галактик, эллиптических в этом списке нет. Отсюда и некорректность дальнейшего описания; «потоки в линии HI соответствуют массам нейтрального водорода $10^8 - 10^9$ масс Солнца», что преподносится как отличие изолированных галактик ранних типов от галактик, например, в группах. Между тем, это типичные массы газа в большинстве линзовидных галактик в окружении средней плотности — смотри, например, недавние обзоры в 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 Дмитрия Игоревича 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.

Председатель: Спасибо. Спасибо.

Сильченко О.К.: Пожалуйста.

Председатель: Пожалуйста, Дмитрий Игоревич.

Макаров Д.И.: Спасибо, Ольга Касьяновна. Было очень приятно читать Ваш отзыв. И нам явно не хватало рецензента как Вы. Я, в общем, соглашаюсь с замечаниями. Можно, я, замечания посмотрю. Значит, согласен, что построение, коррекция за недостающие данные была нами сделана очень по упрощенной схеме и можно было бы, наверное, что-то более сложное придумать, но с учетом, что эта коррекция не очень большая и у нас наблюдается хорошее согласие с ALFALFA-обзором, где как раз, сдвиг связан с тем, что в ALFALFA, они просто не могут наблюдать галактики ранних типов, что говорит, о достаточно надежном результате. Хотя, я согласен, что переход был немножко очень упрощенный.

Насчет регрессий, регрессий которые по двум точкам. Таких галактик было примерно половина, где диаграммы цвет-величина... было половина галактик, где действительно только две точки было. Но, были галактики в которых было больше точек вдоль кривой. На самом деле, там усреднялась, естественно, определялись наклоны не по индивидуальным линиям, а по выборке линий. Это было усреднение наклонов, полученных в различных галактиках. Оттуда получились и ошибки.

Так. Значит. Насчет тонких дисков, я согласен, что это надо будет исследовать более подробно.

К сожалению, в работе прошел ряд опечаток, как с металличностями (0.0004). Не заметили в тексте и в картинке, что немножко изменилось. Сейчас это уже не восстановить, то ли опечатались в тексте, то ли мы пересчитали. Значение в пределах ошибки.

С эллипсом. Это перепутано эллиптичность и эксцентриситет. По невнимательности.

С металличностями. Эта металличность определенная по ветви красных гигантов, полученная в работе Sakai с соавторами 2004 г. Но, к сожалению, мы не описали эту колонку.

И, полностью согласен насчет линзовидных галактик.

Председатель: Все?

Макаров Д.И.: Да.

Председатель: Спасибо. Ольга Касьяновна?

Сильченко О.К.: Я удовлетворена.

Председатель: Спасибо. Тогда переходим к отзыву следующего официального оппонента. Евгений Олегович Васильев. Южный федеральный университет.

Васильев Е.О.: Собственно, я рад, что я могу выступить в качестве оппонента этой важной работы.

Интерес к распределению вещества в ближней Вселенной поддерживается на довольно высоком уровне довольно давно, начиная с первых работ Слайфера и Хаббла. И неточности определения и недостаточность данных о расстояниях до галактик Местного Объема не давали провести картографирование Местной Группы в достаточном, хорошем качестве. Несомненное улучшение качества наблюдательного материала связано с вхождением в строй телескопа Хаббла. Получить большее количество данных. И в этой работе довольно приличная, основная роль принадлежит Дмитрию Игоревичу. Таким образом, диссертация является несомненно актуальной, и более того, является базовой для построения единой шкалы расстояний и изучения иерархии во Вселенной.

Собственно, работа представляет собой последовательное, всеобъемлющее исследование определение вещества в близкой Вселенной. Автор придает особое внимание последовательности в систематизации наблюдательных данных, разработке новых методов определения расстояний и выделения групп объектов, всесторонней проверке качества этих методов, что выражается в успешном создании новых однородных каталогов и выборок галактик. Это позволило ему, в частности, не только обнаружить новые зависимости свойств галактик и популяции объектов в Местном Объеме, но и получить независимые ограничения на модели скрытой массы. Что особенно важно в силу того, что численные модели дают... все склоняются к стандартной Λ CDM-модели. И именно эти ограничения являются достаточно ценными. Представленная работа является новым, полным, достоверным исследованием и несомненно является базовой для дальнейшего развития наблюдательной космологии локальной Вселенной. Следует особо обратить внимание на колоссальный объем систематизированного наблюдательного материала.

Важным представляется, что автор стремится к объяснению физической природы наблюдаемых объектов. Это выражается в осмыслении проблемы недостатка числа галактик поля со средними значениями круговых скоростей, разработке физически обоснованного критерия кластеризации галактик, целенаправленному поиску особо изолированных галактик и попыткам хотя бы качественно понять природу особенностей некоторых из них. С этой точки зрения у наблюдателей появляется довольно приличный объем работы для дальнейшего подробного изучения особенностей галактик, а у теоретиков для их объяснения.

Но у меня не так много замечаний, как у предыдущих оппонентов. И можно отнести это скорее не к замечаниям, а к пожеланиям.

При моделировании звездообразования в искусственных галактиках можно было использовать модели популяционного синтеза, которые более полно отражают эволюционные особенности галактик.

Стоит отметить, что низкая оценка плотности вещества в локальной Вселенной, вероятно, связана не только с тем, что не учитывает темные невидимые системы, но и те самые ультраслабые карликовые галактики, о значительном числе которых упоминается в диссертации, но не в этом контексте.

Тем не менее, указанные замечания вряд ли стоит рассматривать как критические, скорее это пожелания для дальнейшей работы. Из технических замечаний стоит упомянуть только то,

что непривычным является обозначение абсорбционной линии однократно ионизованного магния Mg₂.

Представленная диссертационная работа выполнена на высоком профессиональном уровне и является полностью оригинальным исследованием. Текст автореферата полностью отражает содержание диссертации, которое соответствует специальности 01.03.02 - астрофизика, звездная астрономия.

Диссертационная работа Дмитрия Игоревича Макарова полностью удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Дмитрий Игоревич Макаров, несомненно заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук.

Председатель: Спасибо, Евгений Олегович. Дмитрий Игоревич, замечания по магний 2.

Макаров Д.И.: Ну тут замечаний практически нет. Я отмечу, что в данной работе не стояло моделировать звездообразование в галактиках. Поэтому, мы брали очень простые схемы. Нам нужно было протестировать работу метода определения расстояния. Хотя для работ по звездообразованию, по исследованию истории звездообразования, такой подход будет очень полезен, сравнение с популяционным синтезом.

По магний 2. Могу сказать только, что мы следовали авторам, которые собственно и создали тот каталог, который учитывает индексы магния. Претензии к авторам того каталога.

Сильченко О.К.: Могу пояснить. Что это широкополосный индекс магния.

Макаров Д.И.: Да. да.

Сильченко О.К.: Там не только атомарный магний, но и молекулярный магний H.

Макаров Д.И.: Да. Именно поэтому.

Про что-то еще третье было...

Афанасьев В.Л.: Третьего не было.

Председатель: Так спасибо. Присаживайтесь. Третий официальный оппонент — Владимир Петрович Решетников, Санкт-Петербургский университет. Он у нас отсутствует. Отзыв зачитает секретарь совета.

Секретарь: Отзыв официального оппонента о диссертации Макарова Дмитрия Игоревича «Построение карты близкой Вселенной».

Диссертационная работа Макарова посвящена очень актуальной и важной проблеме - изучению пространственного распределения галактик в окружающей нас части Вселенной. Задачи, рассмотренные в работе, являются очень сложными, комплексными и в настоящее время они еще далеки от решения, поскольку только относительно недавно стали появляться наблюдательные возможности для их изучения.

Основу работы составляют наблюдения (как оригинальные, так и взятые из архивов), их обработка и интерпретация. Диссертация состоит из введения, в котором формулируются цели и задачи работы, обсуждается актуальность, и значимость результатов, четырех

основных глав, заключения и двух приложений. Первая глава посвящена повышению точности и усовершенствованию метода оценки расстояний до галактик по светимости звезд вершины ветви красных гигантов. Во второй главе описаны созданные Макаровым каталоги и базы данных расстояний до галактик, интегрированные в международную базу данных NuregLEDA. В третьей главе диссертационной работы изучается общая структура Местного Объема Вселенной, а в четвертой - системы галактик разной кратности (изолированные галактики, пары, триплеты, группы) в Местном Сверхскоплении и его окрестностях.

Диссертационная работа насыщена новыми результатами, среди которых я отмечу лишь следующие:

разработана методика определения расстояний до галактик по светимости звезд вершины ветви красных гигантов, позволяющая оценивать расстояния с точностью, не уступающей точности по зависимости «период - светимость» для цефеид, но требующая существенно меньшего наблюдательного времени;

найденны расстояния до 30 галактик в облаке Гончих и определено отношение масса - светимость для этой группы галактик;

созданы каталоги и базы данных, объединяющие разнообразные коллекции данных, связанных с определением расстояний до галактик, включая каталог 869 галактик в пределах 11 Мпк;

получены свидетельства в пользу того, что Местный Объем по ряду характеристик (плотность светимости, плотность темпа звездообразования, плотность HI) является типичным для нашей Вселенной;

построена функция скорости вращения галактик Местного Объема, объединяющая данные для галактик всех морфологических типов;

разработан новый алгоритм выделения физически-связанных группировок галактик, позволивший составить оригинальные каталоги систем разной кратности в Местном Сверхскоплении;

получена оценка средней плотности вещества Вселенной в пределах сферы радиусом 45-50 Мпк, оказавшаяся в 3-4 раза меньшей глобальной космологической плотности.

Все эти (и другие) результаты диссертационной работы Д.И. Макарова хорошо известны и широко используются международным астрономическим сообществом.

Замечания к диссертационной работе носят в основном характер уточнений.

Например, из описания программного комплекса для TRGBtool осталось неясным, есть ли он в открытом доступе и какие компьютерные ресурсы требуются для его работы.

В работе часто обсуждаются разного рода наблюдательные зависимости и соотношения, однако судить об их значимости можно лишь по визуальному впечатлению от картинок. В некоторых случаях (например, рис. 4.27, 4.40 и пр.) стоило привести значения коэффициентов корреляции и их ошибок.

В разделе 3.10 сравниваются предсказания «стандартной Λ CDM модели» с наблюдательными данными об обилии галактик Местного Объем с разными скоростями вращения. Такое сравнение, возможно, является отчасти преждевременным, поскольку многие аспекты физики формирования галактик в рамках Λ CDM модели поняты еще плохо. Вполне вероятно, что многие из нынешних проблем (например, «потерянные спутники», функция скорости для маломассивных галактик) являются либо чисто расчетными (использование малого числа частиц при расчетах), либо объясняются чересчур упрощенным описанием физических процессов при формировании и эволюции галактик.

В разделе 4.9 упоминается возможность того, что заметная часть темной материи может быть сконцентрирована в темных сгустках, не связанных с вириальными массами систем галактик. Осталось неясным, есть ли наблюдательные указания на существование таких сгустков по полям peculiar скоростей галактик Местного Объем (автор работы имеет уникальную базу данных расстояний до галактик Местного Объем) или Местной Вселенной.

Некоторые формулировки, приведенные в диссертации, не совсем удачны.

Например, смысл слов «ниже 1 mag над фотометрическим пределом» (стр.20) не вполне очевиден. На стр. 45 приведены неправильные параметры эллипса на рис.1.15; 0.014 градуса - это не его большая ось, а полуось, кроме того, его эллиптичность сильно отличается от указанного в тексте значения 0.9. В подписях к рис. 2.1 и 4.52 упоминаются левый и правый рисунки, в то время как они расположены один над другим. В подписи к рис. 4.30 пишется о пунктирных линиях, а на самом деле они непрерывные.

Во всем тексте диссертационной работы слово «цефеиды» пишется с большой буквы. При всем уважении к цефеидам, это все-таки противоречит правилам русского языка.

Отмеченные замечания относятся к деталям работы и не затрагивают ее содержания. Представленная диссертация является самым глубоким комплексным исследованием структуры локальной Вселенной, которое мне известно. Работа имеет фундаментальный характер, значительно продвигая наше понимание того, как устроены ближайшие к Млечному Пути области Вселенной.

Оценивая работу в целом, можно сделать вывод, что диссертация Макарова представляет собой цельное научное исследование, в котором сделан важный шаг вперед в исследовании структуры и эволюции окружающей нас части Вселенной. Все результаты работы основаны на тщательном анализе и моделировании наблюдательных данных. В тех случаях, когда результаты диссертационной работы можно сравнить с результатами других авторов, они показывают согласие. Тем самым, обоснованность и достоверность результатов не вызывает сомнений. Кроме того, в работе Макарова содержится богатый наблюдательный материал для будущих исследований в этой области, в том числе, оригинальный пакет программ для оценки расстояний до галактик.

Диссертационная работа аккуратно оформлена, написана ясным языком. Небольшое количество описок и жаргонных терминов не портят общее впечатление от работы.

Выносимые на защиту результаты прошли широкую апробацию, они полностью опубликованы в научной печати, доложены на всероссийских и международных конференциях, автореферат правильно отражает содержание работы.

Диссертационная работа Дмитрия Игоревича Макарова удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК диссертациями на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор, безусловно, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.03.02 - астрофизика и звездная астрономия.

Д.ф.-м.н., профессор кафедры астрофизики математико-механического факультета СПбГУ
Решетников В.П. 03.10.2016

Макаров Д.И.: Большое спасибо за отзыв. Я согласен, что есть над чем работать в своих работах.

Насчет программы: Она не в свободном доступе, но предоставляется по личной просьбе. Если нужно кому работать я предоставляю код, даю рекомендации и помогаю в освоении метода. Связано это с тем, чтобы выложить программу, сделать ее полноценно автономной — это требует очень больших усилий, работы над документацией. До этого просто руки не доходят.

Действительно, часть картинок делалась исключительно иллюстративными целями. Там даже не проводились регрессии, а проводились некие характерные линии. В некоторых случаях можно было сделать регрессии с соответствующими доверительными интервалами.

Надо сказать, что функция скорости на данный момент является более удобным инструментом для сравнения теории и наблюдений, потому, что в функция светимости очень много намешано. Там сидит история звездообразования, история формирования галактик. Теоретики до сих пор не могут нормально воспроизводить, самосогласованно рассчитывать галактики в численных моделях. Поэтому, сравнение такой простой функции, где у нас только динамика частиц с наблюдениями гораздо проще. Поэтому, сейчас именно функция скорости рассматривается более удобным инструментом, хотя наверняка там тоже есть масса подводных камней с которыми приходится играть. Но, в любом случае остается наиболее хорошим инструментом для сравнения теории и наблюдений.

Председатель: Сгустки темной материи...

Сильченко О.К.: По пекулярным скоростям...

Макаров Д.И.: По пекулярным скоростям. Я не зря упомянул работу по группе вокруг M94, потому, что это возможный агрегат который имеет большое окружение из темной материи, но при этом сравнительно малое количество светящегося вещества. Как ранее упоминалось у нас пространство может быть заполнено достаточно большим количеством галактик экстремально низкой поверхностной яркости, которые вообще непонятно как искать. Если мы не видим группу галактик, то вообще не можем померить массу. Это надо мерить гравлинзированием, но непонятно куда смотреть. Такие работу, кстати сказать, уже были. По гравлинзированию того, чего нет. Но это пока еще единичные случаи. Соглашусь, что, к сожалению, в диссертацию проникли опечатки. На часть я уже ответил про эллиптичность.

Председатель: С эллипсами проблема.

Макаров Д.И.: Да. С эллипсами — проблема.

Председатель: Так. Спасибо. Надо посоветоваться с членами ученого совета. Мы сейчас могли бы объявить перерывчик небольшой на 15 минут. Как вы считаете? Перед общей дискуссией.

Клочкова В.Г.: Может не стоит? Пока есть свет.

Афанасьев В.Л.: Пока есть свет и тепло... провести дискуссию, голосование, а потом...

Председатель: Нет желание перерыв сделать? Нет желания. Тогда переходим к общей дискуссии. Пожалуйста желающие выступить по представленной работе. Верховданов.

Верходанов О.В.: Я поддерживаю работу. И призываю совет голосовать «за». Единственное, что в защиту хочу сказать LCDM-модели Дмитрия Макарова, что в принципе то отличие, о котором он говорил оно действительно будет двояким от LCDM-моделей по числу карликовых галактик. С одной стороны мы видим не все объекты, с другой точные расчеты говорят, что их и должно быть мало. Это первое. Второе. То, что сказала Ольга Сильченко, в поддержку того, что не всегда видимая материя следует за невидимой. Типичный пример скопление «пуля». Когда темная материя прошло одно облако сквозь друг друга, а видимое зацепилось. Это говорит о том, что было взаимодействие. И третье, в дополнение к тому вопросу, который задал Сергей Фабрика у меня пожелание. Если мы измеряем плотность материи в локальной Вселенной не нужно ее, наверно, обозначать параметром глобальной плотности, которая получается, по реликтовому излучению и барионным осцилляциям SDSS-обзора. Это в поддержку того, что сказал Решетников. А вывод такой — я предлагаю поддержать.

Председатель: Так. Спасибо. Еще желающие? Афанасьев.

Афанасьев В.Л.: Я не буду говорить слова поддержки. Я предпочту в бюллетене это выражать. Я хочу сказать вот, что в современной астрофизике даже при бурном развитии и попытках построить модель всего на свете, она тем не менее базируется на наблюдательных данных и экспериментальных данных. И когда мы говорим о наблюдательных данных, есть работы двух типов. Один тип работ когда создано лекало - они сейчас наиболее популярные — есть великое множество приемников, телескопов и этими работами наводнены журналы. Есть другой тип работ, где вначале идет попытка улучшить точность, увеличить размер выборки, улучшить предел, и именно в таких работах получается новое качество. И отмечу, достижения последних 20 лет как раз и связано, новая астрофизика связана с увеличением точности. Если говорить о работе Макарова, наблюдательной работе, наблюдательная сейчас более широкий смысл имеют. Не обязательно сидеть на спутнике и наблюдать, не обязательно париться на телескопе, можно работать и с базами данных. Она в первую очередь, в начале, обратили внимание на улучшение точности метода. Это отличие профессионала от ремесленника. Ремесленник пользуется тем, что ему дали. Профессионал начинает точить нож. Вот в начале, Дмитрий Игоревич долго точил нож. И потом получились действительно интересные вещи. Эта сторона работу, как мне кажется. Наиболее ценна. Но, то, что было сказано, что космологи и теоретики всегда оправдают когда мы это имели ввиду

— это имеет место быть (в отзыве Лукаша прозвучало). Конечно, эта сторона работы очень привлекательна. Недостатки очень трудно искать. Современная астрофизика настолько обширна... Знаете, можно взять любую картину классическую и взявши лупу обнаружить, что масло не так, цвета какие-то не те. Цельное впечатление от картины мы получаем. Цельное впечатление от диссертации очень хорошее. Она безусловно заслуживает всех тех слов, которые произнесли оппоненты.

Председатель: Спасибо. Еще есть желающие выступить? Игорь Дмитриевич Караченцев.

Караченцев И.Д.: Я хочу обратить внимание только на одну сторону работ Макарова. А именно их востребованность. Еще в 95 году, т. е. Через год после окончания Московского университета Макаров опубликовал в *Astronomical Journal* статью, определены параметры апекса движения Солнца по отношению к окрестным галактикам. И эти параметры, этот апекс стал классическим. Он используется в базе данных NED уже более 20 лет. И никто эти параметры не исправил, не уточнял. Это первое. Второе. Макаров является автором статья, которая на сегодняшний день испытала уже 500 ссылок на эту работу. И среди астрономов, которые работают в России буквально единицы, которые имеют такой уровень цитирования. Третье. Метод определения расстояний по хаббловским снимкам, который разработал Макаров, тоже набирает все большую силу. Мне приходится довольно часто рецензировать статьи, которые посылают в *Astrophysical Journal*, *Astronomical Journal*, и там где, авторы, используя данные Хаббловского телескопа не используют метод Макарова, я обращаю внимание и предлагаю доработать эту статью, и, как правило, авторы послушно следуют этому указанию.

Афанасьев В.Л.: Вы его рекламный агент.

Караченцев И.Д.: И последний момент, касающийся работы Макарова по продвижению вперед базы данных *HyperLEDA*. Эта затея сделать такую базу данных принадлежит Антуанетте и Жерару де Вакулерам, которые отталкивались от своих реферативных каталогов. Дальше это было развито Жоржем Патюрелем как лионская база данных. Потом наступила такая смутная эпоха, когда эти продолжал заниматься Филипп Прунель. Но делал это как-то не очень интенсивно. И в конкуренции, на сегодняшний момент есть две базы внегалактических данных. НЕДовская, NASA база данных, которая финансируется, наверное в сто раз более интенсивно, чем проект ЛЕДА и *HyperLEDA*. И несмотря на очень скоромное финансирование именно в последние годы благодаря Макарову эта база данных успешно конкурирует с НАСОВской. Скажем такой пример, если вы посмотрите самые свежие данные, которые опубликованы в обзоре на радиотелескопе Аресибо, то в *HyperLEDA* эти данные уже присутствуют, а в NED базе данных их нет. Что я хочу закругляясь сказать. Что Макаров не успев толком посидеть уже стал классиком и этот его статус мы сегодня мы фиксируем в нашей работе.

Председатель: Спасибо. Есть еще желающие выступить? Фабрика.

Фабрика С.Н.: Добрый день. Я сильно поддерживаю представление и защиту диссертации Дмитрия Игоревича. Абсолютно уверен, что он настоящий доктор наук. Он работает своими руками, своей головой. В отличии от некоторых других докторов наук, которые могут как-то еще подстраиваться. Это все очень правильно. И, конечно, если бы раньше он представил

свою диссертацию было бы еще лучше. Я с ним контактировал как звездник, хотя половина моих работ по галактикам. И тем не менее. По LBV звездам, по статистике сверхновых. Которые, кстати, Дмитрий Игоревич, намерен вставить в базу данных ЛЕДА. И Я абсолютно уверен, что и в звездной астрофизике он достаточно глубокий специалист. Полностью поддерживаю его докторскую диссертацию. Прошу всех проголосовать «за».

Председатель: Спасибо. Есть еще желающие выступить? Коллеги? Нет желающих. Спасибо, большое. Таким образом дискуссия у нас завершена. И хотелось бы выставить от себя пожелание, чтобы это исследование продолжалось в главном, почему пекулярные скорости галактик не коррелируют с распределением темного вещества требует объяснения. Это очень интересно.

Дорогие коллеги, заключительное слово соискателя.

Макаров Д.И.: Спасибо за хорошие отзывы. Было очень приятно выслушать их в свой адрес. Я хочу выразить большую, искреннюю признательность Игорю Дмитриевичу Караченцеву, благодаря которому эта работа и стала возможна. Я приехал сюда на практику в 90х годах, где-то на втором курсе университета к Дмитрию Игоревичу Караченцеву. Он меня принял. Я приехал сюда после КраО. Все ГАИШевцы проходят практику в Крымской астрофизической обсерватории на ГАИШевской станции. Но СаО меня настолько впечатлило, что после первого приезда, я больше никуда не ездил, приезжал сюда и на каникулах и вне каникул. С удовольствием всегда приезжал в обсерваторию. Игорь Дмитриевич всегда с радостью меня принимал. Позволял работать. После этого я поступил в аспирантуру и это стало началом нашего плодотворного научного сотрудничества. Я крайне рад опыту нашей совместной научной работы, и восхищен трудолюбием и энтузиазмом Игоря Дмитриевича, который даст фору многим из нас по интенсивности работы. Конечно же, моя работа балы бы невозможна без постоянной поддержки моей жены Макаровой Лидии Николаевны. Постоянная поддержка помогла мне в возможности работать плодотворно в астрономии. Огромное спасибо Лиде, Гале Коротковой, Наталье Обориной, Роману Уклеину за помощь в подготовке текста диссертации. Я благодарен нашей замечательной лаборатории за плодотворное сотрудничество и постоянную дружескую поддержку. Большое спасибо всем сотрудникам Специальной астрофизической обсерватории и администрации за создание той уникальной атмосферы которая царит в нашей обсерватории и поселке. В ходе выполнения проекта я познакомился с большим количеством очень интересных людей, как в нашей обсерватории, о которых я уже сказал, так и за рубежом. Так я познакомился с Брентом Талли, Эдом Шея, Джоржем Патюрелем, Филиппом Прюнелем, Еленой Куртуа, Люкой Рицци. Значительная часть работы явилась плодом нашего сотрудничества. Ну и как вишенка на торте, Я очень признателен хирургам глазного центра в Краснодаре, Федоровской клинике, что они смогли восстановить, не восстановить, но, скажем так существенно подправить мое зрение. Все. Спасибо.

Председатель: Спасибо. Так, коллеги. Продолжаем работу. Нам сейчас надо комиссию для подсчета голосов избрать. Предлагается Фабрика, как провинившийся, я потом объясню, Романюк, и кто там у нас еще? Мингалиев. Фабрика, Романюк, Мингалиев. Кто за то, чтобы

утвердить состав? Прошу проголосовать. Кто против? Кто воздержался? Принимается. Комиссию прошу приступить к работе. Никто из членов ученого совета не выходит из помещения!

(проводится процедура тайного голосования)

Председатель: Так. Члены ученого совета, прошу садиться. Слово предоставляется председателю счетной комиссии.

Фабрика С.Н.: Еще раз добрый день. Протокол номер 100. Заседание счетной комиссии, избранной диссертационным советом Д002 и так далее, от 20 октября 16 года. Состав избранной комиссии: Фабрика, Мингалиев, Романюк. Комиссия избрана для подсчета голосов при тайном голосовании по диссертации Макарова Д.И. на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. Состав диссертационного совета утвержден в количестве 19 человек, на срок действия номенклатуры специальности действия научных работников, утвержденной приказом Минобрнауки от такого-то такого-того. Присутствовало на заседании 14 членов совета, в том числе докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации: 13. Роздано бюллетеней: 14. Осталось не розданных бюллетеней: 5. Оказалось в урне: 14. Результаты голосования по вопросу присуждения ученой степени доктора физ.-мат. наук Макарову Д.И.: «за» - 14. против — 0, недействительных — 0.

Фабрика С.Н.: Председатель счетной комиссии такой-то. Члены комиссии: Мингалиев, Романюк.

Председатель: Члены совета, кто за то, чтобы утвердить протокол комиссии прошу проголосовать? Кто против? Кто воздержался? Принимается.

Председатель: Вот теперь можно похлопать, поздравить.

(члены совета обсуждают проект заключения)

Председатель: Тогда предлагаю заключение принять с этими оговорками. Кто «за» прошу проголосовать. Кто против? Воздержался? Принимается.

Заключение принимается единогласно в следующей редакции:

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.203.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
НАУКИ СПЕЦИАЛЬНОЙ АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК.

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 20 октября 2016 г. № 100

О присуждении Макарову Дмитрию Игоревичу, Российская Федерация, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Построение карты близкой Вселенной» по специальности 01.03.02 - "Астрофизика и звездная астрономия" принята к защите 18 июля 2016, протокол № 96 диссертационным советом Д 002.203.01, 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 Дмитрий Игоревич, 1971 года рождения. В 1994 году соискатель окончил Московский государственный университет с присвоением квалификации «Астронома». Диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук защитил 27 ноября 2000г. в совете Д002.203.01, созданном при Специальной астрофизической обсерватории Российской Академии Наук. На данный момент работает в должности заведующего лабораторией внегалактической астрофизики и космологии в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук.

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

1. Сильченко Ольга Касьяновна, доктор физико-математических наук, зав. отделом физики эмиссионных звезд и галактик, Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ
2. Васильев Евгений Олегович, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник отдела радиофизики и космических исследований НИИ Физики, Южный федеральный университет
3. Решетников Владимир Петрович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры астрофизики математико-механического факультета, Санкт-Петербургский государственный университет

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация Астрокосмический центр Физического института им. П.Н.Лебедева РАН, г. Москва, в своем положительном заключении, составленном доктором физико-математических наук В.Н. Лукашем, подписанном доктором физико-математических наук С.Ю. Савиновым, зам. директора ФИ им. П.Н. Лебедева РАН, указала, что диссертация является законченным научным исследованием, выполненным на высоком научном уровне, и удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.03.02 - "Астрофизика и звездная астрономия", а ее автор Д.И. Макаров заслуживает присуждения ему искомой степени.

Соискатель имеет 37 опубликованных работ по теме диссертации (общим объемом 425 страниц), среди которых 22 напечатаны в рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. H. M. Courtois, R. B. Tully, D. I. Makarov, S. Mitronova, B. Koribalski, I. D. Karachentsev, and J. R. Fisher. Cosmic Flows: Green Bank Telescope and Parkes HI observations. MNRAS, 414, 2005–2016, July 2011.
2. B. A. Jacobs, L. Rizzi, R. B. Tully, E. J. Shaya, D. I. Makarov, and L. Makarova. The Extragalactic Distance Database: Color-Magnitude Diagrams. AJ, 138, 332–337, August 2009

3. E. I. Kaisina, D. I. Makarov, I. D. Karachentsev, and S. S. Kaisin. Observational database for studies of nearby universe. *Astrophysical Bulletin*, 67, 115–122, January 2012
4. I. D. Karachentsev and D. I. Makarov. Binary galaxies in the local supercluster and its neighborhood. *Astrophysical Bulletin*, 63, 299–345, December 2008
5. I. D. Karachentsev, V. E. Karachentseva, W. K. Huchtmeier, and D. I. Makarov. A Catalog of Neighboring Galaxies. *AJ*, 127, 2031–2068, April 2004
6. I. D. Karachentsev, D. I. Makarov, V. E. Karachentseva, and O. V. Melnik. Optical identifications of 230 HIPASS radio sources. *Astronomy Letters*, 34, 832–838, December 2008
7. I. D. Karachentsev, D. I. Makarov, V. E. Karachentseva, and O. V. Melnyk. Catalog of nearby isolated galaxies in the volume $z < 0.01$. *Astrophysical Bulletin*, 66, 1–27, January 2011
8. I. D. Karachentsev, D. I. Makarov, and E. I. Kaisina. Updated Nearby Galaxy Catalog. *AJ*, 145, 101, April 2013
9. V. E. Karachentseva, O. V. Melnyk, I. B. Vavilova, and D. I. Makarov. Virial and total masses of galaxy triplets in the Local Supercluster. *Astronomische Nachrichten*, 326, 502–502, August 2005
10. A. Klypin, I. Karachentsev, D. Makarov, and O. Nasonova. Abundance of field galaxies. *MNRAS*, 454, 1798–1810, December 2015
11. D. Makarov and I. Karachentsev. Galaxy groups and clouds in the local ($z \sim 0.01$) Universe. *MNRAS*, 412, 2498–2520, April 2011
12. D. Makarov, L. Makarova, L. Rizzi, R. B. Tully, A. E. Dolphin, S. Sakai, and E. J. Shaya. Tip of the Red Giant Branch Distances. I. Optimization of a Maximum Likelihood Algorithm. *AJ*, 132, 2729–2742, December 2006
13. D. Makarov, P. Prugniel, N. Terekhova, H. Courtois, and I. Vauglin. HyperLEDA. III. The catalogue of extragalactic distances. *A&A*, 570, A13, October 2014
14. D. I. Makarov and I. D. Karachentsev. Galaxy triplets in the local supercluster. *Astrophysical Bulletin*, 64, 24–49, January 2009
15. D. I. Makarov and R. I. Uklein. A list of groups of dwarf galaxies in the local

- supercluster. *Astrophysical Bulletin*, 67, 135–146, April 2012
16. D. I. Makarov, L. N. Makarova, and R. I. Uklein. Distances to dwarf galaxies of the Canes Venatici I cloud. *Astrophysical Bulletin*, 68, 125–138, April 2013
 17. O. V. Melnyk, V. E. Karachentseva, I. D. Karachentsev, D. I. Makarov, and I. V. Chilingarian. Search for companions of nearby isolated galaxies. *Astrophysics*, 52, 184–191, April 2009
 18. L. Rizzi, R. B. Tully, D. Makarov, L. Makarova, A. E. Dolphin, S. Sakai, and E. J. Shaya. Tip of the Red Giant Branch Distances. II. Zero-Point Calibration. *ApJ*, 661, 815–829, June 2007
 19. A. V. Tikhonov and D. I. Makarov. Correlation Properties of the Galaxies in the Local Supercluster. *Astronomy Letters*, 29, 289–297, May 2003
 20. A. V. Tikhonov, D. I. Makarov, and A. I. Kopylov. Investigation of clustering of galaxies, clusters and superclusters by the method of correlation Gamma-function. *Bulletin of the Special Astrophysics Observatory*, 50, 39–50, 2000
 21. R. B. Tully, L. Rizzi, E. J. Shaya, H. M. Courtois, D. I. Makarov, and B. A. Jacobs. The Extragalactic Distance Database. *AJ*, 138, 323–331, August 2009
 22. R. B. Tully, H. M. Courtois, A. E. Dolphin, J. R. Fisher, P. Héraudeau, B. A. Jacobs, I. D. Karachentsev, D. Makarov, L. Makarova, S. Mitronova, L. Rizzi, E. J. Shaya, J. G. Sorce, and P.-F. Wu. Cosmicflows-2: The Data. *AJ*, 146, 86, October 2013

На автореферат отзывы не поступили.

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:

- проведено совершенствование метода TRGB определения расстояний до галактик и для него получена новая калибровка;

- получены оценки расстояния до большого количества близких галактик, в частности для 30 галактик в облаке Гончих Псов;
- построена функция скорости вращения галактик в Местном Объеме и проведено сравнение с предсказанием теории;
- разработан критерий выделения кратных систем галактик, созданы каталоги групп в объеме пространства радиусом 48 Мпк, и получена оценка средней плотности вещества Местной Вселенной.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что репрезентативные выборки близких галактик являются источником важных сведений о формировании и эволюции крупномасштабной структуры Вселенной. Роль таких выборок чрезвычайно велика для детального сравнения предсказаний теории по реальным наблюдательным данным. В рамках данной работы а) создана наиболее полная выборка галактик Местного Объема; б) для большого количества близких галактик определены высокоточные модули расстояния; в) построены масштабные соотношения, характеризующие галактики выборки; г) построены функция светимости и функция круговых скоростей галактик Местного Объема; д) проведено сравнение предсказаний теории с наблюдательными данными и показано, что теория сильно расходится с наблюдениями в области карликовых галактик; е) созданы каталоги пар, триплетов, и групп большей кратности; ж) оценена средняя плотность Местной Вселенной.

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

- представленная в диссертации методика определения положения вершины ветви красных гигантов активно применяется для определения расстояний галактик, разрешаемых на индивидуальные звезды, различными группами исследователей как в САО РАН, так и в других учреждениях (Institute for Astronomy, University of Hawaii; University of Texas at Austin; University of Minnesota).

- Полученная в работе калибровка абсолютной величины обрыва функции светимости звёзд ветви красных гигантов легла в основу массового, единообразного и однородного определения расстояний до галактик Местного Объёма, наблюдавшихся на космическом телескопе им. Хаббла. На данный момент этим методом оценено расстояние примерно для 400 галактик.
- База данных HyperLEDA и каталог расстояний в ней, база данных галактик Местного Объёма и база данных внегалактических расстояний (the Extragalactic Distance Database) активно используются профессиональными астрономами. На основе собранных данных о галактиках проводится анализ их свойств и физических характеристик. Эти информационные ресурсы играют важную роль для изучения распределения вещества и космических потоков в ближней Вселенной. Они представляют интерес и активно используются для сравнений теории и результатов численного моделирования эволюции Вселенной с наблюдениями.
- На основе баз данных были созданы каталоги групп и изолированных галактик внутри сферы диаметром 40–50 Мпк. Эти каталоги являются важными источниками данных для изучения концентраций галактик, оценки массы групп галактик, исследования населенности систем и связи свойств галактик с окружением. Каталоги могут использоваться для выделения объектов и их систем для дальнейшего, более подробного изучения. Характеристики структур местной Вселенной важны для сравнения наблюдений с численными моделями.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- методы и алгоритмы, развитые в данной работе, тестировались на модельных и реальных данных;
- полученные результаты непротиворечивы и хорошо согласуются с данными, полученным другими авторами с применением иных подходов;

- результаты диссертации апробированы на российских и международных симпозиумах и конференциях, и опубликованы в ведущих астрофизических журналах.

Личный вклад соискателя является определяющим в работах, где диссертант стоит первым автором. Разработка алгоритмов, написание программ, создание каталогов групп проводилось лично диссертантом. Анализ данных и обсуждение результатов проводилось наравне с соавторами.

На заседании 20 октября 2016 г. диссертационный совет принял решение присудить Макарову Дмитрию Игоревичу ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 13 докторов наук по специальности 01.03.02, участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 14, против - 0, недействительных бюллетеней - 0.

Председатель
диссертационного совета



Балега Ю.Ю.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Шолухова О.Н.

20 октября 2016 г.