

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
СПЕЦИАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ

На правах рукописи

УДК 524.77-333

НАСОНОВА Ольга Гивиевна

**Массы близких групп и скоплений по  
движениям окрестных галактик**

Специальность: 01. 03. 02 – астрофизика и звёздная астрономия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени  
кандидата физико-математических наук

Работа выполнена в Специальной астрофизической обсерватории  
Российской академии наук.

**Научный руководитель:**

доктор физико-математических наук  
профессор

И. Д. Караченцев  
(САО РАН)

**Официальные оппоненты:**

доктор физико-математических наук  
профессор

В. А. Гаген-Торн  
(СПбГУ)

г. Санкт-Петербург

кандидат физико-математических наук

А. И. Копылов  
(САО РАН)

пос. Ниж. Архыз

**Ведущая организация:**

Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга МГУ  
г. Москва

**Защита состоится** 14 апреля 2011 г. в 9<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д 02.203.01 при учреждении Российской академии наук

Специальной астрофизической обсерватории РАН по адресу:

369167, САО РАН, п. Нижний Архыз,

Карачаево-Черкесская республика, Россия

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке САО РАН.

Автореферат разослан 11 марта 2011 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,

кандидат физ.-мат. наук

Е. К. Майорова

## Актуальность темы

Согласно современным представлениям, крупномасштабная структура Вселенной включает в себя совокупность вытянутых волокон (филаментов) и «листов», разделённых пустотами. На пересечениях филаментов образуются области повышенной концентрации так называемой тёмной материи, гравитационный потенциал которой обеспечивает дальнейшее натекание вещества вдоль филаментов на эти тяготеющие центры. Так формируются сверхскопления и скопления галактик — гравитационно связанные комплексы, в которых доминирует тёмная материя. Более мелкой структурной единицей являются группы галактик. Отдельные филаменты и «листы» разделены областями, в которых практически нет светящейся материи, — войдами.

Плотность энергии видимого (барионного) вещества составляет всего 4 % от общей плотности энергии Вселенной, а плотность энергии тёмной материи — 23 %. Остальные 73 % приходятся на тёмную энергию, обеспечивающую ускоренное расширение Вселенной.

Наличие больших концентраций тёмной и светлой материи на разных масштабах, а также громадных пустых объёмов (войдов) приводит к образованию космических течений, которые искажают линейную хаббловскую зависимость между скоростями и расстояниями галактик, имеющую место в случае расширения однородной Вселенной. В одном из таких космических «гольфстримов» участвует и наша Местная группа галактик, двигаясь со скоростью более 600 км/с относительно фона реликтового излучения.

Изучение не-хаббловских течений позволяет найти ответы на многие вопросы внегалактической астрономии и космологии. Для этой цели необходимы достаточно точные и независимые измерения как лучевых скоростей, так и расстояний для большого числа галактик, формирующих полную и репрезентативную выборку.

Объём накопленных данных, необходимых для решения поставленной задачи, растёт по экспоненциальному закону. В последнее десятилетие база данных по расстояниям до близких галактик была существенно расширена, в частности, благодаря многочисленным наблюдениям, выполненным на космическом телескопе «Хаббл». Высокоточные фотометрические модули расстояния определялись по светимости вершины ветви красных гигантов (TRGB). Другим способом, менее точным, но зато массовым и не требующим больших наблюдательных затрат, является определение расстояний до галактик по зависимости Талли-Фишера, и этот метод ощутимо пополнил накопленные данные по расстояниям. Существуют и другие методы определения расстояний, которые подробно рассмотрены в § 3.1 главы I. Кроме того, со временем улучшаются и точности измерения расстояний.

Быстрый рост количества и качества измеренных расстояний до галактик в достаточно представительном объёме  $V_{LG} < 3000$  км/с, который включает в себя около 10 000 галактик, открыл уникальную возможность восстановить для означенной области пространственное распределение вещества, изучить его структуру и кинематику, обусловленные рельефом тёмной материи, исследовать поле пекулярных скоростей галактик, определить массы близких групп и скоплений и, наконец, тестировать наличие тёмной энергии, обеспечивая тем самым космологическую значимость данных по скоростям и расстояниям близких галактик. Таким образом, современная космология становится в полном смысле этого слова наукой наблюдательной, «практической», — термин, который впервые употребил Аллан Сэндидж в 1995 году.

Стоит подчеркнуть, что в основе настоящей работы лежат данные по близким и, как следствие, наиболее исследованным окрестностям Местной группы. Так, впервые появилась возможность обнаружить проявления тёмной энергии на малых (до 7 Мпк), а не на космологических ( $z \sim 1$  и более — по сверхновым первого типа) масштабах. Фактически, в настоящее время

исследования рассматриваемого объёма  $V_{LG} < 3000$  км/с при быстрой аккумуляции наблюдательного материала ведутся на самом переднем фронте науки, что и обеспечивает актуальность исследования по выбранной теме.

## Цели и задачи работы

Целью настоящей работы является изучение структуры и кинематики Местного сверхскопления и его окрестностей, обусловленных рельефом тёмной материи.

Это подразумевает прежде всего **определение масс Местной группы, групп М 81 / М 82, Centaurus A / М 83, близких скоплений Virgo и Fornax методом измерения радиуса поверхности нулевой скорости (здесь и далее  $R_0$ ).**

До недавнего времени использование вириального соотношения  $2T + U = 0$  между кинетической ( $T$ ) и потенциальной ( $U$ ) энергией группы или скопления галактик являлось единственным методом вычисления массы систем галактик. Однако недостаток сведений о пространственной структуре скоплений, возможное отсутствие предполагаемого вириального равновесия, а также неизвестный характер преобладающих движений в скоплениях и группах делают вириальные оценки массы не вполне надёжным инструментом.

Как было показано в начале 80-х гг. XX века, любая достаточно плотная система галактик может быть охарактеризована сферической «поверхностью нулевой скорости», которая отделяет коллапсирующую концентрацию массы от окружающего хаббловского расширения. Радиус этой поверхности связан с массой системы галактик и позволяет вычислить последнюю. Очевидно, что метод определения массы системы галактик в модели сферического коллапса на гравитирующий центр посредством измерения радиуса поверхности нулевой скорости нуждается в более подробном обсуждении.

Кроме того, поставленная цель подразумевает также рассмотрение структуры и кинематики Местной космической пустоты.

При работе над диссертацией были поставлены и решены следующие задачи:

1. Усовершенствовать инфракрасную зависимость Талли-Фишера, дополнив её новыми регрессорами. Использовать выборку галактик с расстояниями, определёнными этим методом, для исследования поля пекулярных скоростей на масштабах  $V_{LG} < 3000$  км/с.
2. Реализовать аппроксимацию наблюдательных данных скользящей медианой, позволяющей оценить радиус поверхности нулевой скорости  $R_0$ , и разработать применительно к этой задаче соответствующий аппарат статистического моделирования Монте-Карло для оценки статистической значимости результатов.
3. Определить методом  $R_0$  полные массы близких групп и скоплений.
4. Рассмотреть наблюдаемую асимметрию распределения негативных лучевых скоростей галактик внутри скопления Virgo и интерпретировать этот наблюдательный факт.
5. Рассмотреть структуру и кинематику Местной космической пустоты, используя все имеющиеся наблюдательные данные.

## Научная новизна

Новизна работы определяется следующими достижениями:

1. Впервые показана значимость «показателя цвета»  $K - m_{21}$  как индикатора содержания нейтрального водорода в галактиках для определения их расстояний методом Талли-Фишера.

2. Впервые на основе новых точных данных о расстояниях галактик определены полные массы близких групп и скоплений с помощью метода Линден-Белла-Сэндиджа (по внешним движениям). Метод даёт оценку массы независимо от внутренних движений (теоремы вириала).
3. Впервые отмечены проявления тёмной энергии на локальных масштабах.

## Практическая ценность

При подготовке диссертации была проделана большая работа по систематизации разнородного наблюдательного материала о расстояниях и скоростях галактик в объёме  $V_{LG} < 3000$  км/с. Полученная в результате выборка позволяет восстановить для означенной области пространственное (трёхмерное) распределение вещества и может быть в дальнейшем использована для изучения его структуры и кинематики, обеспечивая материалам диссертации широкое практическое применение. Апробированный в работе усовершенствованный метод Галли-Фишера может успешно применяться для массового определения расстояний до галактик, что востребовано при решении многих задач внегалактической астрофизики и космологии. Наконец, детально проработан метод определения масс систем галактик по поверхности радиуса нулевой скорости. Будучи независимым от вириального и других методов, этот подход представляется очень перспективным в условиях современной быстрой аккумуляции наблюдательных данных о расстояниях галактик и, очевидно, будет использоваться и в дальнейшем.

## Личный вклад автора

1. Систематизация разнородного наблюдательного материала о расстояниях и скоростях галактик в окрестностях близких групп и скоплений.
2. Участие в анализе и интерпретации наблюдательных данных.
3. Усовершенствование метода Талли-Фишера за счёт использования фотометрических данных в ближней инфракрасной полосе (2MASS-обзор) и потоков в HI (LEDA). Показано, что «показатель цвета»  $K - m_{21}$  является вторым по значимости регрессором после амплитуды внутренних движений в галактике.
4. Применение техники скользящей медианы с окном переменной ширины; проверка статистической значимости результатов с помощью методики варьирования данных в пределах их ошибок (статистического моделирования Монте-Карло).

## Структура диссертации

**Глава I** содержит некоторые общие моменты. Так, в разделе 1 рассматриваются окрестности Местного сверхскопления галактик ( $V_{LG} < 3000$  км/с) как объект исследования. В разделе 2 приводится история изучения этого объёма. В разделе 3 подробно изложен послуживший основой для диссертации наблюдательный материал по расстояниям до галактик вплоть до  $\sim 40$  Мпк. В разделе 4 рассмотрены некоторые методические замечания, касающиеся модели сферического коллапса. Материалы главы так или иначе фигурировали во всех опубликованных автором работах.

**Глава II** посвящена возможности использования многопараметрической инфракрасной зависимости Талли-Фишера для картографирования космиче-



ских потоков. В разделе 1 обсуждаются наблюдательные данные. В разделе 2 анализируется метод определения расстояний до спиральных галактик, видимых с ребра, по зависимости Талли-Фишера. Излагаемый в разделе подход подразумевает использование фотометрических данных в ближней инфракрасной полосе и потоков в НІ, а также введение в зависимость Талли-Фишера дополнительных регрессоров. Раздел 3 посвящён картографированию поля пекулярных скоростей на шкале  $V_{LG} \leq 3000$  км/с и обсуждению наблюдаемой картины.

Проанализировано поле пекулярных скоростей 907 галактик с гелиоцентрической лучевой скоростью  $V_H \leq 3000$  км/с. Данные делятся на три выборки, сформированные по принципу метода определения расстояний до галактик: по светимости верхушки ветви красных гигантов (TRGB), по флуктуациям поверхностной яркости и по инфракрасной зависимости Талли-Фишера для спиральных галактик, видимых с ребра. Последняя выборка насчитывает 410 галактик. При определении расстояний до галактик этой выборки в зависимость Талли-Фишера были введены дополнительные регрессоры, в частности, «показатель цвета»  $K - m_{21}$ , учитывающий морфологический тип галактики и имеющий очень низкий  $p$ -уровень значимости. Это позволило снизить дисперсию относительно линии регрессии с  $0.69^m$  до  $0.52^m$  и достичь точности, приемлемой для исследования поля пекулярных скоростей и моделирования космических потоков.

Все три выборки показали хорошее согласование между собой в распределении пекулярных скоростей. На основе каждой из них, а также на основе объединенной выборки, построены детальные карты поля пекулярных скоростей галактик в объеме  $V_H \leq 3000$  км/с. Анализ его показывает, что большинство наблюдаемых особенностей можно объяснить крупномасштабными вариациями плотности в распределении галактик. Так, в системе фона реликтового излучения максимум амплитуды пекулярных скоростей совер-

шенно очевидно расположен в направлении на Большой Аттрактор и концентрацию Шепли; от этого максимума вдоль сверхгалактического экватора в направлении скопления Virgo отходит протяженная область (клин) положительных пекулярных скоростей, что объясняется концентрацией внешних гравитирующих аттракторов в сверхгалактической плоскости; положение минимума амплитуды пекулярных скоростей близко к направлению на пустоту (войд) в Волопасе. В системе центроида Местной группы обращает на себя внимание «местная аномалия скоростей», природа которой остается предметом обсуждения различных авторов.

Результаты главы II опубликованы в работе [4].

В **главе III** рассматриваются три близкие группы галактик: Местная группа (раздел 1), группа M 81 / M 82 (раздел 2) и группа Centaurus A / M 83 (раздел 3). Для каждой группы определена полная масса методом поверхности нулевой скорости. Кроме того, в случае Местной группы анализируется и поле пекулярных скоростей галактик в её окрестностях.

В целях определения свойств локального хаббловского потока были использованы обновлённые данные о расстояниях и радиальных скоростях галактик в ближайшем окружении Местной Группы. Для 30 близких галактик с расстояниями  $0.7 < R_{LG} < 3.0$  локальный космологический поток характеризуется постоянной Хаббла  $H_{loc} = (80 \pm 5)$  км/(с·Мпк), среднеквадратичной пекулярной скоростью  $\sigma_v = 21$  км/с (с учётом ошибок измерения лучевых скоростей  $\sim 5$  км/с и расстояний  $\sim 10$  км/с) и радиусом поверхности нулевой скорости  $R_0 = (0.96 \pm 0.03)$  Мпк. Минимальное значение  $\sigma_v$  достигается при положении центроида местной группы  $D_c = (0.55 \pm 0.05)D_{M31}$  в направлении на M 31, что соответствует отношению масс нашей Галактики и M 31  $M_{MW}/M_{M31} \simeq 4/5$ . По отношению к 30 рассмотренным галактикам Местная группа имеет небольшую пекулярную скорость  $(30 \pm 10)$  км/с в направлении

на созвездие Скульптора. Полученное значение  $R_0$  соответствует полной массе группы  $M_T = 1.97_{-0.18}^{+0.19} \cdot 10^{12} M_\odot$  при  $\Omega_m = 0.24$ , что хорошо согласуется с суммой вириальных оценок массы для нашей Галактики и М 31. Результаты по Местной группе опубликованы в работах [1], [5], а также в трудах конференций [10], [11].

На основе высокоточных измерений расстояний до близких галактик на космическом телескопе «Хаббл» радиус сферы нулевой скорости для группы галактик М 81 / М 82, оценён как  $0.89 \pm 0.05$  Мпк. Это значение даёт полную массу группы  $M_T = 1.57_{-0.25}^{+0.28} \cdot 10^{12} M_\odot$ . Используемый метод  $R_0$  позволил определить и отношение масс у двух самых ярких членов группы: варьируя положение центра масс между М 82 и М 81 и добиваясь минимального рассеяния галактик на хаббловской диаграмме, мы получили отношение масс  $0.54 : 1.00$  в хорошем согласии с наблюдаемым отношением светимостей этих галактик. Результаты по группе М 81 / М 82 опубликованы в работах [1], [3], а также в трудах конференций [10], [11].

Радиус поверхности нулевой скорости для группы Centaurus A / М 83, согласно представленным в работе данным, расположен на расстоянии  $R_0 = 1.40 \pm 0.11$  Мпк от доминирующей галактики Cen A. Этому соответствует полная масса  $M_T = 6.1_{-1.3}^{+1.6} \cdot 10^{12} M_\odot$ , что хорошо согласуется с вириальными и орбитальными оценками массы группы и подтверждает довольно высокое отношение массы к светимости для этой группы с доминирующей галактикой раннего типа. Для галактик поля, равно как и для обеих подсистем группы, связанных с Cen A и М 83, характерны очень низкие значения ( $< 25$  км/с) пекулярных скоростей относительно хаббловской зависимости с  $H_0 = 68$  км/(с·Мпк). Результаты по группе Centaurus A / М 83 опубликованы в работах [2], [12], а также в трудах конференций [10], [11].

**Глава IV** посвящена скоплению галактик Virgo. В разделе 1 обсуждает-

ся хаббловский поток вокруг скопления и оценки массы, основанные на измерении радиуса поверхности нулевой скорости. Особое внимание уделено проявлениям наблюдательных эффектов селекции, затрагивающих хаббловский поток вокруг Virgo. В разделе 2 рассматриваются те галактики скопления Virgo, скорость которых относительно Местной группы  $V_{LG} < 0$ , и приводится возможная интерпретация того факта, что центр распределения таких галактик на небе не совпадает с динамическим центром скопления Virgo.

Для изучения соотношения «скорость–расстояние» в виргоцентрических координатах использована выборка, насчитывающая 1371 галактику, с расстояниями, измеренными различными методами. Радиус поверхности нулевой скорости для скопления Virgo оценивается в пределах (5.0 – 7.5) Мпк, что соответствует интервалу  $(17 - 26)^\circ$  при среднем расстоянии членов скопления в 17.0 Мпк. В сферически симметричном случае при космологическом параметре  $\Omega_m = 0.24$  и возрасте Вселенной  $T_0 = 13.7$  миллиардов лет это даёт полную массу скопления Virgo в пределах  $M_T = (2.8 - 9.4) \cdot 10^{14} M_\odot$ , в разумном согласии с вириальными оценками массы этого скопления. Результаты раздела опубликованы в работах [6] и [8].

Рассмотрена выборка 65 галактик в скоплении Virgo, имеющих отрицательные лучевые скорости относительно Местной группы. Отмечены некоторые особенности этой выборки. Все эти объекты располагаются компактно внутри вириальной зоны скопления радиусом  $6^\circ$ , однако положение их центроида смещено относительно динамического центра скопления, М 87, на  $1^\circ 1'$  в северо-западном направлении. Карликовые галактики этой выборки обнаруживают скучивание на шкале  $\sim 10'$  (50 кпк). Наблюдаемая асимметрия в распределении галактик с голубыми смещениями может быть вызвана падением группы галактик вокруг М 86 на основное тело скопления. Другая попытка объяснить это явление, предложенная в работе, предполагает наличие у Местной группы и скопления галактик Virgo взаимной тангенциальной

скорости  $\sim 300$  км/с, вызванной их отталкиванием от Местной космологической пустоты. Результаты раздела опубликованы в работе [7].

В **главе V** обсуждается комплекс Fornax / Eridanus, представляющий несколько более сложный случай для анализа движения окрестных галактик в рамках модели поверхности нулевой скорости, поскольку комплекс является сложной структурой, ещё не достигшей равновесия и насчитывающей несколько динамических центров.

Получены новые оценки массы скопления Fornax и комплекса Fornax / Eridanus. Показано, что метод поверхности нулевой скорости работает в том числе и тогда, когда не выполняется предположение о равновесии системы, что, очевидно, имеет место в случае скопления Fornax, ещё находящегося в стадии формирования. Поле скоростей галактик в пределах 20 Мпк от центра скопления Fornax было рассмотрено по движениям 562 галактик с точно измеренными расстояниями (средняя ошибка в модуле расстояния  $0.31^m$ ). Масса скопления Fornax в пределах радиуса поверхности нулевой скорости  $R_0 = 3.6$  Мпк равна  $(1.04 \pm 0.24) \cdot 10^{14} M_\odot$ ; между тем масса всего комплекса Fornax / Eridanus в целом в пределах 4.6 Мпк равна  $(2.18 \pm 0.45) \cdot 10^{14} M_\odot$ .

Другой примечательный результат заключается в том, что среднее значение отношения пекулярных скоростей галактик относительно хаббловского потока в окрестностях группы или скопления и скоростей внутри вириального радиуса практически постоянно, не зависит от массы системы и составляет примерно  $1/3$  в случае Местной группы, групп М 81 / М 82 и Centaurus A / М 83, скоплений Virgo и Fornax.

В небольшой по объёму **главе VI** излагаются результаты анализа поля пекулярных скоростей в окрестностях Местной космической пустоты, расположенной в направлении созвездий Орла и Геркулеса. Отмечаются свидетельства её расширения со скоростью около 300 км/с.

Для изучения поля пекулярных скоростей в окрестностях Местной космической пустоты, расположенной в направлении созвездий Орла и Геркулеса, были систематизированы имеющиеся данные о расстояниях и лучевых скоростях галактик. С этой целью была использована выборка 1056 галактик с расстояниями, измеренными различными методами. Найденное значение амплитуды скорости оттока галактик составляет  $\sim 300$  км/с. Средняя плотность числа галактик внутри пустоты примерно в пять раз меньше средней плотности числа галактик вне её. Население Местной космической пустоты характеризуется, в среднем, меньшей светимостью и более поздним морфологическим типом с медианными значениями  $M_B = -15.7^m$  и  $T = 8$  (Sdm) соответственно.

Результаты главы опубликованы в работе [9].

**Выводы и Заключение** резюмируют основные положения работы и намечают дальнейшие шаги в изучении структуры и кинематики Местного сверхскопления и его окрестностей, обусловленных рельефом тёмной материи.

Диссертация содержит 23 таблицы, 59 иллюстраций, список использованной литературы, включающий в себя 271 наименование, и два приложения.

## Выносимые на защиту результаты

На защиту выносятся следующие основные результаты работы:

1. Определение расстояний до 402 галактик, видимых с ребра, с помощью модифицированного метода Талли-Фишера с привлечением инфракрасной фотометрии и дополнительных регрессоров.
2. Определение полных масс близких групп и скоплений галактик (включая Местную группу) по наблюдаемому торможению хаббловского по-

тока вокруг них.

3. Вывод о том, что основная масса тёмной материи содержится в пределах вириального ядра группы или скопления, что следует из сопоставления оценок масс, полученных на разных масштабах.
4. Вывод о том, что наблюдаемое согласие оценок масс у близких групп и скоплений по внутренним и по внешним движениям галактик возможно именно в рамках стандартной космологической модели с  $\Omega_\Lambda = 0.72$ . Таким образом, проявления тёмной энергии видны не только на космологических расстояниях, но и на локальных.
5. Обнаружение наблюдательных свидетельств, указывающих на расширение ближайшей космической пустоты.

## Апробация работы

Результаты работы излагались на семинарах САО РАН, ГАИШ МГУ, обсерватории Côte d'Azur (Ницца, Франция); на российских и международных конференциях и школах (11 докладов на 11 конференциях).

1. XII Международная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных по фундаментальным наукам «Ломоносов-2005», Москва, 2005;
2. 12<sup>th</sup> Young Scientists' Conference on Astronomy and Space Physics, Киев, 2005;
3. Всероссийская школа-конференция для молодых учёных «Физика галактик», Н. Архыз, 2007;
4. XXV конференция «Актуальные проблемы внегалактической астрономии», Пущино, 2008;

5. «Problems of Practical Cosmology 2008», Санкт-Петербург, 2008;
6. XXVI конференция «Актуальные проблемы внегалактической астрономии», Пущино, 2009;
7. 16<sup>th</sup> Young Scientists' Conference on Astronomy and Space Physics, Киев, 2009;
8. «Nearby Dwarf Galaxies», Н. Архыз, 2009;
9. 17<sup>th</sup> Young Scientists' Conference on Astronomy and Space Physics, Киев, 2010;
10. Всероссийская астрономическая конференция «От эпохи Галилея до наших дней» (ВАК-2010), Н. Архыз, 2010;
11. 32<sup>nd</sup> International School for Young Astronomers ISYA-2010, Бюракан, 2010.

## Публикации по теме диссертации

Основные результаты работы опубликованы в рецензируемых журналах (9 статей общим объёмом 111 страниц, в т.ч. 8 статей, написанных совместно с другими авторами):

- [1] *Караченцев И. Д., Кашибадзе О. Г.* Оценка массы Местной Группы и группы М 81 по искажениям окрестного поля скоростей. *Астрофизика*, **49**, 5–22 (2006), arXiv:0509207.
- [2] *Karachentsev I. D., Tully R. B., Dolphin A., Sharina M., Makarova L., Makarov D., Kashibadze O. G., Karachentseva V., Sakai S., Shaya E. J., Rizzi L.* The Hubble flow around the Cen A / M 83 galaxy complex. *Astronomical Journal*, **133**, 504–517 (2007), arXiv:0603091.



- [3] *Chernin A. D., Karachentsev I. D., Kashibadze O. G., Makarov D. I., Teerikorpi P., Valtonen M. J., Dolgachev V. P., Domozhilova L. M.* Local dark energy: HST evidence from the vicinity of the M 81 / M 82 galaxy group. *Астрофизика*, **50**, 493–505 (2007), arXiv:0706.4171.
- [4] *Кашибадзе О. Г.* Многопараметрическая инфракрасная зависимость Талли-Фишера как инструмент картографирования космических потоков. *Астрофизика*, **51**, 409–422 (2008).
- [5] *Karachentsev I. D., Kashibadze O. G., Makarov D. I., Tully R. B.* The Hubble flow around the Local Group. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **393**, 1265–1274 (2009), arXiv:0811.4610.
- [6] *Karachentsev I. D., Nasonova O. G.* The observed infall of galaxies towards the Virgo Cluster. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **405**, 1075–1083 (2010), arXiv:1002.2085.
- [7] *Караченцев И. Д., Насонова (Кашибадзе) О. Г.* Галактики с голубым смещением в скоплении Virgo. *Астрофизика*, **53**, 41–51 (2010), arXiv:1007.1580.
- [8] *Chernin A. D., Karachentsev I. D., Nasonova O. G., Teerikorpi P., Valtonen M. J., Dolgachev V. P., Domozhilova L. M., Byrd G. G.* Dark energy domination in the Virgocentric flow. *Astronomy & Astrophysics*, **520**, 104–110 (2010), arXiv:1006.0555.
- [9] *Nasonova O. G., Karachentsev I. D.* О кинематике Местной космической пустоты. *Астрофизика*, **54**, 5–19 (2011), arXiv:1011.5985.
- Другие публикации по теме работы (2 статьи в трудах конференций, 1 статья в нерецензируемом журнале):
- [10] *Кашибадзе О. Г.* Интегральные массы близких групп галактик по наблюдениям хаббловского потока вокруг них // Тезисы XII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых по фундаментальным наукам «Ломоносов-2005». Москва, 2005.

- [11] *Kashibadze O. G.* Total Masses of the Nearby Groups of Galaxies From the Surrounding Hubble Flow. // 12th Young Scientists' Conference on Astronomy and Space Physics, held in Kyiv, Ukraine, April 19–23, 2005, Eds.: Simon, A.; Golovin, A., Kyiv University Press, p. 58, 2005.
- [12] *Chernin A. D., Karachentsev I. D., Makarov D. I., Kashibadze O. G., Teerikorpi P., Valtonen M. J., Dolgachev V. P., Domozhilova L. M.* Local dark energy: HST evidence from the expansion flow around Cen A / M 83 galaxy group. *Astronomical & Astrophysical Transactions*, **26**, 275–283 (2007), arXiv:0704.2753.

В совместных работах автору принадлежит паритетное участие в решении задачи и анализе результатов.

## Заключение

Исследование близкого и наиболее доступного объёма Вселенной, ограниченного лучевыми скоростями галактик  $V_{LG} < 3000$  км/с, может дать ключи к пониманию процессов, происходящих на более значительных масштабах. Поэтому изучение наших ближайших окрестностей — Местной группы и других близких групп, скоплений галактик Virgo и Fornax, Местного сверхскопления и Местной космической пустоты — представляет несомненный интерес как один из важных этапов в познании Вселенной. Данная работа позволяет рассмотреть этот довольно репрезентативный объём в целом и сопоставить рисунок поля пекулярных скоростей с внутренними и внешними вариациями плотности, а также более детально изучить населяющие этот объём объекты, относящиеся к различным иерархическим уровням. Апробированные в работе подходы и полученные результаты не только актуальны сегодня, но и задают направление исследований на будущее.

Выводы исследования базируются на значительном объёме накопленных

данных по точным расстояниям до галактик и их скоростям. Наблюдательная основа включает в себя материал, относящийся к нескольким тысячам галактик, расстояния до которых определены различными методами. Объединение всех их в единую выборку вполне правомерно, поскольку сравнение пересекающихся подвыборок показывает хорошее согласие нуль-пунктов. Стоит подчеркнуть, что расстояния до  $\sim 400$  галактик, видимых с ребра, определённые автором работы, составили базис исследования наравне с другими доступными данными.

Выполненная работа по определению масс близких групп и скоплений галактик требует не только тщательного анализа наблюдательных данных, но и особого внимания к возможным эффектам селекции.

Учёт всех упомянутых моментов позволил сделать выводы, имеющие значимость для наблюдательной или «практической» (по Сэндиджу) космологии и, в частности, ещё раз убедиться в том, какое значение имеет аккуратное измерение расстояний до галактик для анализа крупномасштабной структуры Вселенной и для оценки космологических параметров.

Сказанное относится, во-первых, к проблеме тёмной материи. Сопоставляя оценки массы групп и скоплений, полученные на масштабах вириального радиуса  $R_{vir}$  и на масштабах радиуса поверхности нулевой скорости  $R_0$ , который в 3.5–4 раза превышает вириальный, мы обнаружили, что эти оценки совпадают в пределах точности измерений ( $\sim 30$ – $40\%$ ). Это позволяет заключить, что основная масса тёмной материи содержится в пределах вириального ядра группы или скопления.

Во-вторых (и в ещё большей степени), значимость точных данных о расстояниях галактик можно проиллюстрировать на примере космологической постоянной  $\Lambda$ . Как было сказано, полученное в работе отношение  $R_0/R_{vir}$  для всех рассмотренных систем галактик составляет примерно 3.7–3.8. В то же время теоретическое значение этого отношения является модельно зави-

симым (поскольку  $R_0$  зависит от значения  $\Lambda$ , принятого в модели) и может лежать в интервале от 3.4 до 3.8. Таким образом, разница между  $R_0/R_{vir}$  в модели без  $\Lambda$ -члена и  $R_0/R_{vir}$  в модели с  $\Lambda$ -членом составляет примерно 10–15 %. Поскольку масса системы галактик пропорциональна кубу её характерного размера, это даёт расхождение в массе на 30–50 %, что вполне можно заметить при настоящей точности определения массы. Точности, о которых идёт речь (20–25 % для теоремы вириала и  $\sim 30$  % для метода поверхности нулевой скорости) стали возможными только в последние 5–7 лет, когда были измерены высокоточные расстояния до близких галактик.

Освещая эту же ситуацию под другим углом, можно заметить, что использование старой классической модели сферического коллапса без  $\Lambda$ -члена приводило бы к парадоксальной ситуации, когда вириальная масса в пределах вириального радиуса оказывалась больше, чем масса, заключённая внутри поверхности нулевой скорости, при том что  $R_{vir} < R_0$ . Это недоразумение естественным образом устраняется, если использовать современную стандартную модель с космологической постоянной. В этом случае, как и следует ожидать,  $M(R_0) \gtrsim M(R_{vir})$ . Таким образом, в работе впервые показана возможность зондировать наличие тёмной энергии на малых масштабах (1–7 Мпк), а не на космологических ( $z \sim 1$  и больше по сверхновым типа Ia). Эта возможность даёт независимое подтверждение проявления  $\Lambda$ -члена (космологического вакуума) в непосредственных окрестностях Местной группы, и в этом заключается принципиальная новизна настоящего исследования.

Наконец, в работе впервые отмечены свидетельства расширения ближайшей космической пустоты.

Нужно сказать, что наблюдательные возможности изучения объёма  $V_{LG} < 3000$  км/с далеко не исчерпали себя. В окрестностях Местной группы существуют галактики, расстояния до которых могут быть измерены по светимости верхушки ветви красных гигантов с точностью 5 %. Некоторые из

них, представляющие наибольший интерес в плане продолжения тематики настоящего исследования, расположены «стратегически»: вблизи поверхности нулевой скорости групп и скоплений, в направлении на аттракторы либо на передней границе Местной космической пустоты. Несомненный интерес представляет также определение расстояний у галактик со скоростями более 550 км/с, расположенных между нами и скоплением Virgo. Имеются также и спиральные галактики, видимые почти с ребра, для которых пока отсутствуют фотометрические данные и достаточно точные наблюдения в линии нейтрального водорода 21 см. Наблюдательное определение расстояний до близких галактик задаёт один из векторов дальнейшей работы.

В заключение хотелось бы отметить, что перспективы изучения объёма  $V_{LG} < 3000$  км/с, несомненно, связаны также и с возможностями численного моделирования этой ближайшей к нам области Вселенной.

Работа частично поддержана РФФИ (проекты 06-02-04017-ННИО-а «Структура и кинематика Местного сверхскопления», 07-02-00005-а «Темная материя в Местном сверхскоплении», 10-02-92650-ИНД-а «Газ и звездообразование в галактиках наименьшей массы»), а также программой Henri Poincaré Junior Fellowship of ADION, Observatoire de la Côte d'Azur, CNRS, Франция.





Бесплатно

О. Г. Насонова

Массы близких групп и скоплений по движениям окрестных галактик

Зак. №1с Уч.изд.лит. 2.0 Тираж 100

---

Российская Академия Наук Специальная астрофизическая обсерватория