

Пушино, 22 – 24 апреля 2008 г.

Многопараметрическая инфракрасная зависимость Талли-Фишера как инструмент картографирования КОСМИЧЕСКИХ ПОТОКОВ

О. Г. Кашибадзе, САО РАН

Материалы

Методы

Методы определения расстояний до галактик

Методы исследования и анализа поля пекулярных скоростей

Анализ инфракрасной зависимости Талли-Фишера

Поле пекулярных скоростей в Местном Объёме

Выводы

Заключение

Материалы

Методы

Методы определения расстояний до галактик

Методы исследования и анализа поля пекулярных скоростей

Анализ инфракрасной зависимости Талли-Фишера

Поле пекулярных скоростей в Местном Объёме

Выводы

Заключение

Материалы

В работе использованы данные по 907 галактикам, которые делятся на три выборки.

Материалы

В работе использованы данные по 907 галактикам, которые делятся на три выборки.

1. Выборка RGB+: 225 галактик. Большинство отснято на ACS HST, 41 — из дополнительных источников. Относительная погрешность измерения расстояний не более 10 %. Охватываемый объём ~ 8 Мпк.

Материалы

В работе использованы данные по 907 галактикам, которые делятся на три выборки.

1. Выборка RGB+: 225 галактик. Большинство отснято на ACS HST, 41 — из дополнительных источников. Относительная погрешность измерения расстояний не более 10 %. Охватываемый объём ~ 8 Мпк.
2. Выборка SBF: 272 галактики из работы Тонри (Tonry 2001). Средняя точность ~ 11 %, охватываемый объём ~ 40 Мпк.

Материалы

В работе использованы данные по 907 галактикам, которые делятся на три выборки.

1. Выборка RGB+: 225 галактик. Большинство отснято на ACS HST, 41 — из дополнительных источников. Относительная погрешность измерения расстояний не более 10 %. Охватываемый объём ~ 8 Мпк.
2. Выборка SBF: 272 галактики из работы Тонри (Tonry 2001). Средняя точность ~ 11 %, охватываемый объём ~ 40 Мпк.
3. Выборка TFIR: 410 спиральных галактик, видимых с ребра. Средняя точность ~ 24 %, охватываемый объём ~ 40 Мпк.

Материалы

Методы

Методы определения расстояний до галактик

Методы исследования и анализа поля пекулярных скоростей

Анализ инфракрасной зависимости Талли-Фишера

Поле пекулярных скоростей в Местном Объёме

Выводы

Заключение

Методы определения расстояний до галактик: зависимость Талли-Фишера

— зависимость между светимостью и скоростью вращения спиральных галактик (Tully, Fisher 1977).

Методы определения расстояний до галактик: зависимость Талли-Фишера

— зависимость между светимостью и скоростью вращения спиральных галактик (Tully, Fisher 1977).

При условии работы с данными наблюдений в инфракрасном диапазоне галактики, сильно наклонённые к лучу зрения, могут быть с успехом использованы для картографирования космических потоков на больших масштабах.

Методы определения расстояний до галактик: зависимость Талли-Фишера

— зависимость между светимостью и скоростью вращения спиральных галактик (Tully, Fisher 1977).

При условии работы с данными наблюдений в инфракрасном диапазоне галактики, сильно наклонённые к лучу зрения, могут быть с успехом использованы для картографирования космических потоков на больших масштабах.

В данной работе в инфракрасную зависимость Талли-Фишера были введены дополнительные регрессоры, что позволило заметно снизить дисперсию (до 0.52^m).

Методы определения расстояний до галактик: TRGB

Метод TRGB (Tip of the Red Giant Branch - верхушка ветви красных гигантов) впервые изложен в 1971 г. А. Сандиджем (Sandage 1971). Точность метода $< 0.1^m$. Его преимущества:

Методы определения расстояний до галактик: TRGB

Метод TRGB (Tip of the Red Giant Branch - верхушка ветви красных гигантов) впервые изложен в 1971 г. А. Сандиджем (Sandage 1971). Точность метода $< 0.1^m$. Его преимущества:

- ▶ слабо зависит от металличности в фильтре I ;

Методы определения расстояний до галактик: TRGB

Метод TRGB (Tip of the Red Giant Branch - верхушка ветви красных гигантов) впервые изложен в 1971 г. А. Сандиджем (Sandage 1971). Точность метода $< 0.1^m$. Его преимущества:

- ▶ слабо зависит от металличности в фильтре I ;
- ▶ требует гораздо меньше наблюдательного времени, чем для переменных звёзд;

Методы определения расстояний до галактик: TRGB

Метод TRGB (Tip of the Red Giant Branch - верхушка ветви красных гигантов) впервые изложен в 1971 г. А. Сандиджем (Sandage 1971). Точность метода $< 0.1^m$. Его преимущества:

- ▶ слабо зависит от металличности в фильтре I ;
- ▶ требует гораздо меньше наблюдательного времени, чем для переменных звёзд;
- ▶ абсолютная звёздная величина в цвете I для TRGB $M_I = -4^m$, что на 4^m ярче, чем у звёзд типа RR Лир

Методы определения расстояний до галактик: TRGB

Метод TRGB (Tip of the Red Giant Branch - верхушка ветви красных гигантов) впервые изложен в 1971 г. А. Сандиджем (Sandage 1971). Точность метода $< 0.1^m$. Его преимущества:

- ▶ слабо зависит от металличности в фильтре I ;
- ▶ требует гораздо меньше наблюдательного времени, чем для переменных звёзд;
- ▶ абсолютная звёздная величина в цвете I для TRGB $M_I = -4^m$, что на 4^m ярче, чем у звёзд типа RR Лиры
- ▶ красные гиганты находятся вдалеке от областей звездообразования, эффекты поглощения для них малы.

Методы определения расстояний до галактик: TRGB

Метод TRGB (Tip of the Red Giant Branch - верхушка ветви красных гигантов) впервые изложен в 1971 г. А. Сандиджем (Sandage 1971). Точность метода $< 0.1^m$. Его преимущества:

- ▶ слабо зависит от металличности в фильтре I ;
- ▶ требует гораздо меньше наблюдательного времени, чем для переменных звёзд;
- ▶ абсолютная звёздная величина в цвете I для TRGB $M_I = -4^m$, что на 4^m ярче, чем у звёзд типа RR Лиры
- ▶ красные гиганты находятся вдалеке от областей звездообразования, эффекты поглощения для них малы.

При наблюдениях на ACS HST метод TRGB успешно применяется вплоть до расстояний ~ 10 Мпк.

Методы определения расстояний до галактик: цефеиды

На данное время цефеиды остаются наиболее точными индикаторами расстояний на шкале до 10 Мпк.

Для получения расстояния по цефеидам требуются длительные и точные ряды наблюдений.

Ошибка в определяемом расстоянии составляет около 30%, причиной чему служит разброс значений в зависимости период–светимость (PL). Для повышения точности требуется искать как можно больше цефеид в наблюдаемой галактике, и в итоге ошибку можно свести к 5–10 %.

Методы определения расстояний до галактик: метод флуктуаций поверхностной яркости

Применим, в основном, к галактикам ранних типов: к эллиптическим или к балджам некоторых спиралей, поскольку в них:

- ▶ меньше пыли → меньше поглощение;
- ▶ нет структур, подобных спиральным рукавам.

Точность метода — до 0.15^m , это на данное время один из наиболее точных методов.

Методы исследования и анализа поля пекулярных скоростей

1. Сглаживание рассчитанных пекулярных скоростей по небесной сфере с окном усреднения 20° .

Методы исследования и анализа поля пекулярных скоростей

1. Сглаживание рассчитанных пекулярных скоростей по небесной сфере с окном усреднения 20° .
2. Картографирование и графическое отображение поля пекулярных скоростей.

Методы исследования и анализа поля пекулярных скоростей

1. Сглаживание рассчитанных пекулярных скоростей по небесной сфере с окном усреднения 20° .
2. Картографирование и графическое отображение поля пекулярных скоростей.
3. Определение параметров коллективных движений галактик как функции глубины рассматриваемого объёма путём аппроксимации поля пекулярных скоростей диполем.

Материалы

Методы

Методы определения расстояний до галактик

Методы исследования и анализа поля пекулярных скоростей

Анализ инфракрасной зависимости Талли-Фишера

Поле пекулярных скоростей в Местном Объёме

Выводы

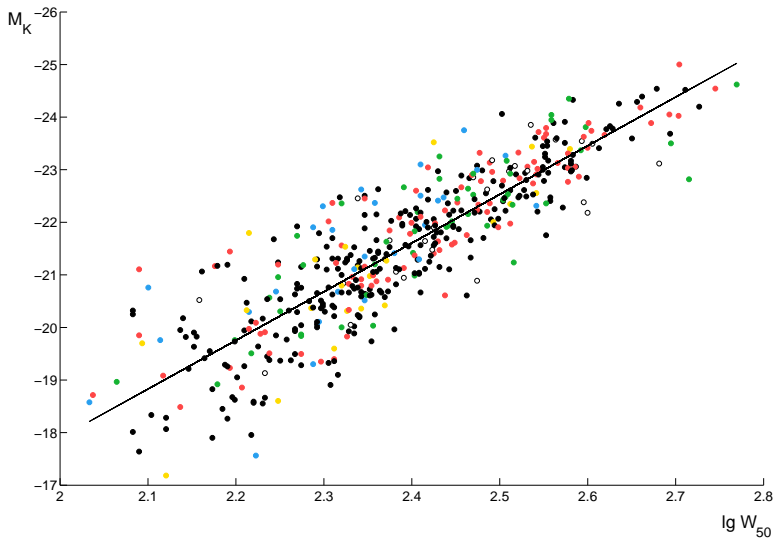
Заключение

Формирование выборки

На основе каталога 2MFGC был составлен большой массив данных по галактикам, лучевые скорости которых относительно центра Местной группы не превышают 3000 км/с.

Изображение каждой галактики в J -, H - и K -полосах из 2MASS-обзора, а также в оптическом диапазоне на сайте обзора ESO Online Digitized Sky Survey (<http://archive.eso.org/dss/dss>), было подвергнуто тщательной визуальной проверке на предмет обнаружения в кадре:

- ▶ множественных объектов внегалактического происхождения;
- ▶ наложения звёзд;
- ▶ срезанных изображений;
- ▶ галактик с баром;
- ▶ пекулярных галактик.



Многопараметрическая зависимость

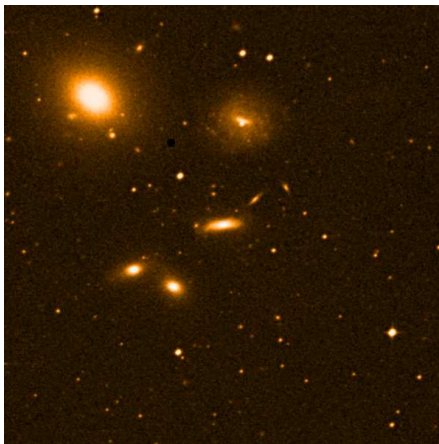
Талли-Фишера

$$M_K = -(4.83 \pm 1.49) - (7.19 \pm 0.31) \lg W_{50} - (0.50 \pm 0.28) \lg(b/a) - (0.45 \pm 0.19)(J - K) + (0.26 \pm 0.03)(K - m_{21}) + (0.10 \pm 0.05)SB_K \quad (1)$$

Регрессоры многопараметрической зависимости

Талли-Фишера и соответствующие им p -уровни значимости

$\lg W_{50}$	$\sim 3 \cdot 10^{-72} \%$
$K - m_{21}$	$\sim 1 \cdot 10^{-14} \%$
$J - K$	1.66 %
SB_K	5.42 %
$\lg(b/a)$	7.73 %



Объект 2MFGC 2480 как пример тесной системы, исключенной из выборки TFIR.



Объект 2MFGC 12022 (Agn 261), пекулярная галактика, давшая на диаграмме Талли-Фишера отскок около 3σ .

Материалы

Методы

Методы определения расстояний до галактик

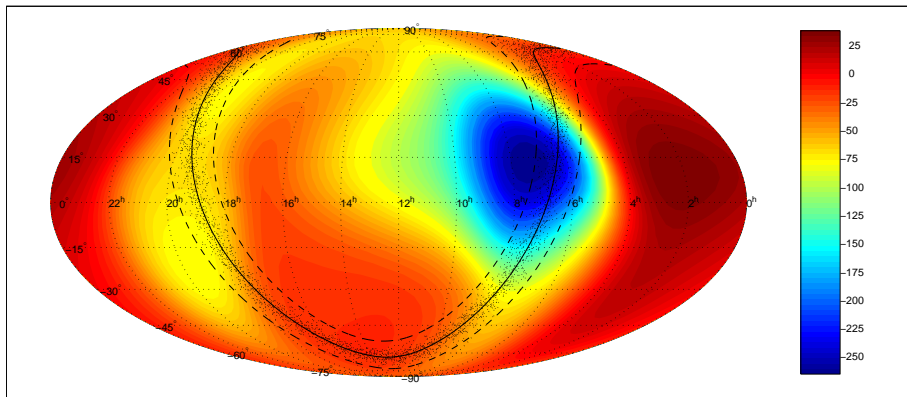
Методы исследования и анализа поля пекулярных скоростей

Анализ инфракрасной зависимости Талли-Фишера

Поле пекулярных скоростей в Местном Объёме

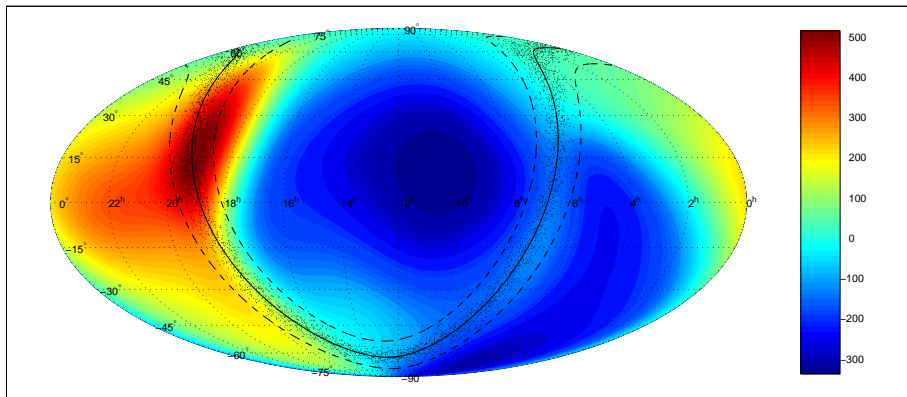
Выводы

Заключение



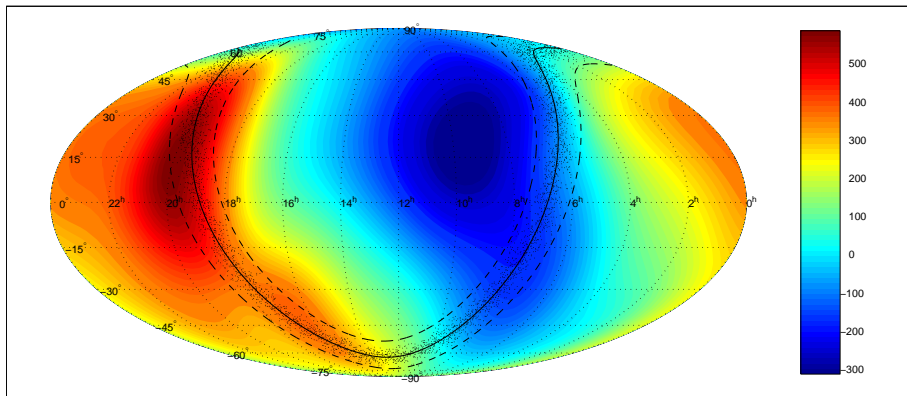
RGB+
The Local Group reference frame

Распределение по небесной сфере пекулярных скоростей относительно центра Местной группы для галактик выборки RGB+ в экваториальных координатах.



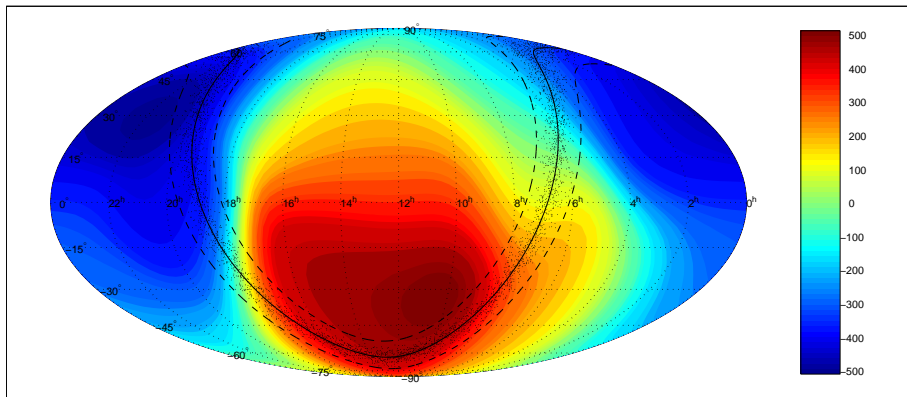
SBF
The Local Group reference frame

Распределение по небесной сфере пекулярных скоростей относительно центра Местной группы для галактик выборки SBF в экваториальных координатах.



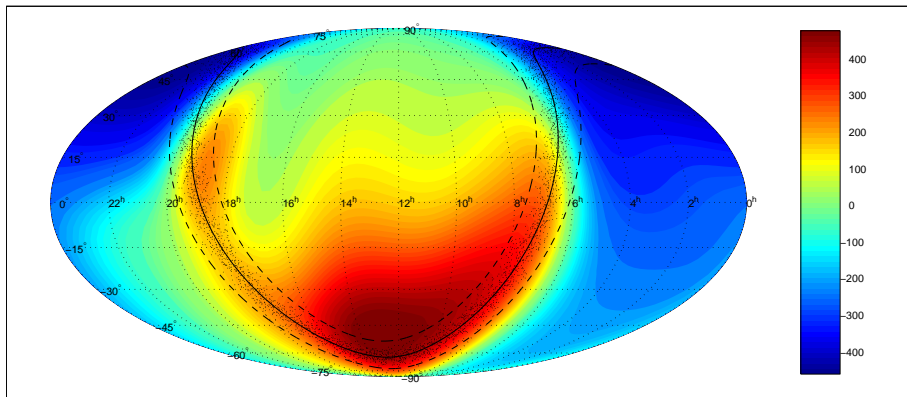
TFIR
The Local Group reference frame

Распределение по небесной сфере пекулярных скоростей относительно центра Местной группы для галактик выборки TFIR в экваториальных координатах.



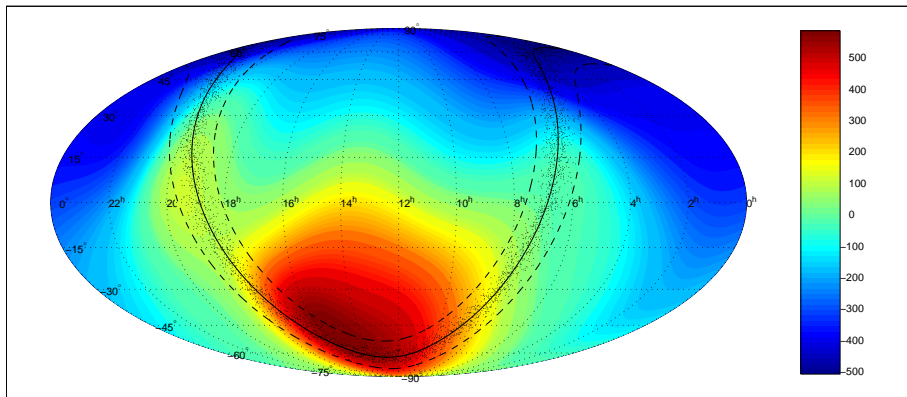
RGB+
3K background reference frame

Распределение по небесной сфере пекулярных скоростей относительно фона реликтового излучения для галактик выборки RGB+ в экваториальных координатах.



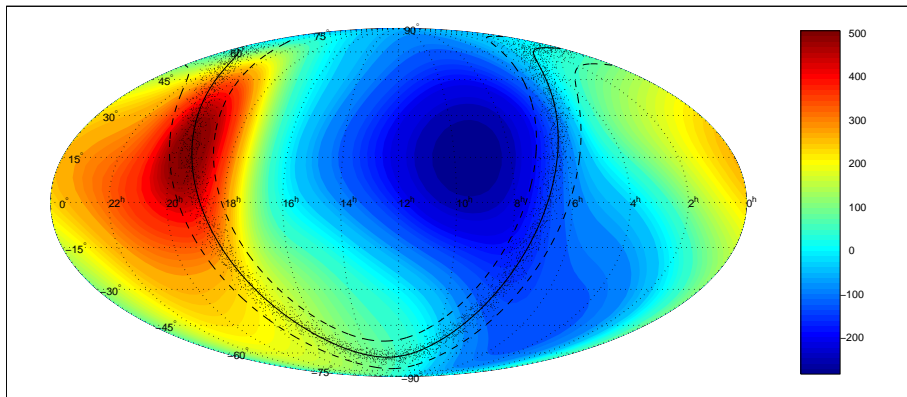
SBF
3K background reference frame

Распределение по небесной сфере пекулярных скоростей относительно фона реликтового излучения для галактик выборки SBF в экваториальных координатах.



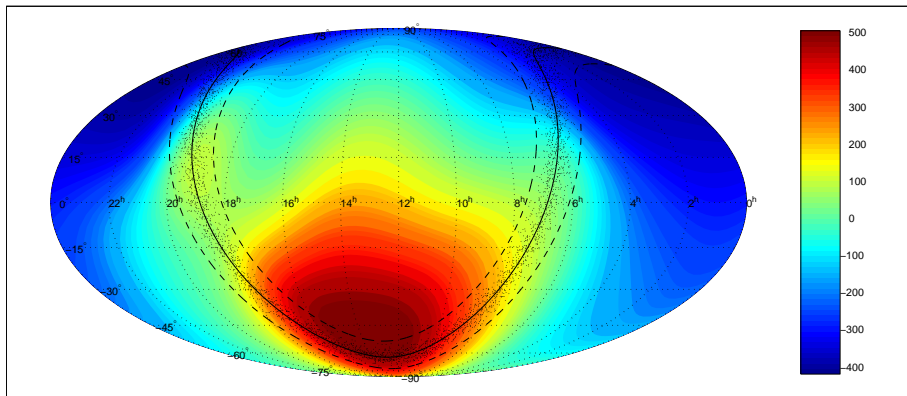
TFIR
3K background reference frame

Распределение по небесной сфере пекулярных скоростей относительно фона реликтового излучения для галактик выборки TFIR в экваториальных координатах.



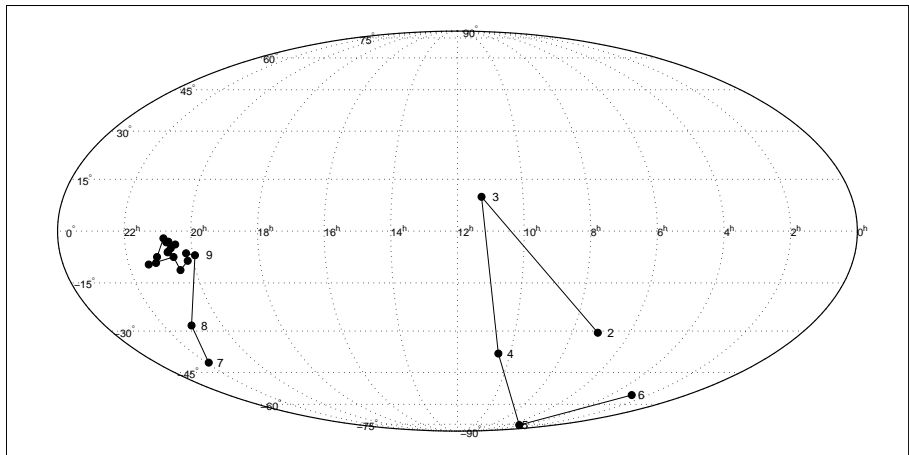
N = 870
The LG reference frame

Распределение по небесной сфере пекулярных скоростей относительно центра Местной группы для галактик объединённой выборки в экваториальных координатах.



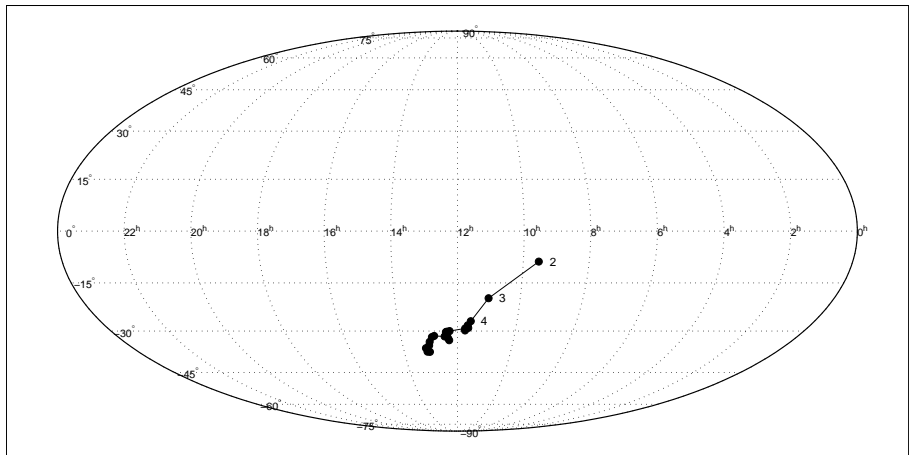
N = 870
3K reference frame

Распределение по небесной сфере пекулярных скоростей относительно фона реликтового излучения для галактик объединённой выборки в экваториальных координатах.



Equatorial
The Local Group reference frame

Траектория смещения апекса в экваториальных координатах для выборок галактик различной глубины; цифры рядом с маркерами обозначают радиус рассматриваемого объёма. Система центроида Местной группы.



Equatorial
3K reference frame

Траектория смещения апекса в экваториальных координатах для выборок галактик различной глубины; цифры рядом с маркерами обозначают радиус рассматриваемого объёма. Система фона реликтового излучения.

Параметры диполя как функция радиуса рассматриваемого объёма

R_{max} N_{gal}		The LG reference frame				3K reference frame			
		<i>RA</i>	<i>Dec</i>	Ампл.	Смещ.	<i>RA</i>	<i>Dec</i>	Ампл.	Смещ.
2	10	7.10	-30.54	25.63	-29.23	9.53	-8.76	547.52	4.52
3	30	11.27	9.89	31.76	-14.97	11.01	-19.61	566.50	12.37
4	93	10.45	-37.74	19.96	-18.15	11.55	-26.77	547.36	18.54
5	143	4.42	-75.84	14.27	-25.27	11.65	-28.09	523.64	18.70
6	162	2.87	-55.06	19.16	-26.60	11.63	-28.97	522.68	19.22
7	174	21.90	-41.11	30.91	-26.01	11.74	-29.80	509.45	19.06
8	189	21.05	-28.15	41.62	-34.42	11.74	-29.12	499.62	14.09
9	195	19.93	-6.93	121.05	-8.29	12.27	-29.99	474.03	34.77
10	207	20.19	-6.38	138.68	-8.89	12.37	-30.20	466.34	34.01
11	220	20.18	-8.54	141.41	-5.88	12.40	-30.33	465.18	37.30
12	231	20.47	-11.25	146.46	-0.35	12.41	-31.25	463.59	42.20
14	259	20.59	-7.44	156.78	7.73	12.36	-31.06	460.27	44.27
16	310	21.39	-9.60	172.67	26.08	12.30	-33.06	432.74	59.18
18	362	21.16	-9.17	184.35	34.43	12.33	-32.42	427.25	61.08
20	420	21.09	-7.43	182.33	28.90	12.45	-31.79	417.66	47.70
25	569	20.83	-2.08	236.42	44.47	12.82	-31.60	387.55	43.84
30	699	20.49	-3.83	247.08	66.24	12.90	-31.97	399.40	46.86
35	785	20.69	-3.03	265.51	67.31	13.00	-33.62	387.30	33.07
40	838	20.75	-3.21	269.63	50.51	13.03	-34.86	384.49	7.87
45	859	20.63	-4.95	277.41	37.52	13.17	-35.82	397.51	-9.68
50	867	20.72	-5.88	277.08	29.69	13.13	-37.08	395.30	-17.90
55	870	20.75	-6.09	270.84	22.36	13.04	-37.13	397.36	-27.14

Материалы

Методы

Методы определения расстояний до галактик

Методы исследования и анализа поля пекулярных скоростей

Анализ инфракрасной зависимости Талли-Фишера

Поле пекулярных скоростей в Местном Объёме

Выводы

Заключение

Выводы

1. Исследована инфракрасная зависимость Талли-Фишера для спиральных галактик, видимых с ребра; в неё введены дополнительные регрессоры (в частности, «показатель цвета» $K - m_{21}$, учитывающий долю газа HI в галактике и имеющий очень низкий p -уровень значимости), что позволило снизить дисперсию относительно регрессии до 0.52^m и использовать полученную многопараметрическую зависимость для массового определения расстояний до галактик с точностью, приемлемой для исследования поля пекулярных скоростей и моделирования космических потоков.

Выводы

1. Исследована инфракрасная зависимость Талли-Фишера для спиральных галактик, видимых с ребра; в неё введены дополнительные регрессоры (в частности, «показатель цвета» $K - m_{21}$, учитывающий долю газа HI в галактике и имеющий очень низкий p -уровень значимости), что позволило снизить дисперсию относительно регрессии до 0.52^m и использовать полученную многопараметрическую зависимость для массового определения расстояний до галактик с точностью, приемлемой для исследования поля пекулярных скоростей и моделирования космических потоков.
2. С помощью вышеуказанного метода определены расстояния до 410 галактик Местного Объёма, составляющих довольно репрезентативную и равномерно охватывающую всё небо выборку.

Выводы

3. На основе трёх выборок, насчитывающих, в общей сложности, 907 галактик, построены детальные карты поля пекулярных скоростей в Местном Объёме.

Выводы

3. На основе трёх выборок, насчитывающих, в общей сложности, 907 галактик, построены детальные карты поля пекулярных скоростей в Местном Объёме.
4. Большинство наблюдаемых деталей поля пекулярных скоростей можно объяснить крупномасштабными вариациями плотности в распределении галактик. Так, в системе фона реликтового излучения максимум пекулярных скоростей совершенно очевидно расположен в направлении на Большой Аттрактор и концентрацию Шепли; наблюдается отчётливая тенденция к повышению пекулярных скоростей вдоль супергалактического экватора, что объясняется концентрацией внешних гравитирующих аттракторов в супергалактической плоскости; положение минимума пекулярных скоростей близко к направлению на войд в Волопасе.

Выводы

5. Природа наиболее бросающейся в глаза детали на картах пекулярных скоростей в системе центроида Местной группы — «местной аномалии скоростей» — остаётся предметом обсуждения разных авторов и определяет одно из направлений будущей работы по анализу поля пекулярных скоростей в Местном Объёме.

Материалы

Методы

Методы определения расстояний до галактик

Методы исследования и анализа поля пекулярных скоростей

Анализ инфракрасной зависимости Талли-Фишера

Поле пекулярных скоростей в Местном Объёме

Выводы

Заключение

Заключение

Автор приносит свою благодарность научному руководителю И. Д. Караченцеву, С. Н. Митроновой за предоставленные данные и добрые советы и Д. И. Макарову за поддержку и помощь на всех стадиях выполнения работы.

В этой работе использовались данные обзора 2MASS (Two Micron All-Sky Survey — совместный проект университета штата Массачусеттс и Калифорнийского технологического института, спонсируемый NASA).

Использованы базы данных LEDA (<http://leda.univ-lyon1.fr>),
NED (<http://nedwww.ipac.caltech.edu>)

Работа поддержана РФФИ (06-02-04017-ННИО-а «Структура и кинематика Местного сверхскопления»,
07-02-00005а «Темная материя в Местном сверхскоплении»).