

ПЕКУЛЯРНЫЕ СКОРОСТИ 3000 СПИРАЛЬНЫХ ГАЛАКТИК ИЗ КАТАЛОГА 2MFGC

И.Д.КАРАЧЕНЦЕВ¹, Ю.Н.КУДРЯ², В.Е.КАРАЧЕНЦЕВА³,
С.Н.МИТРОНОВА¹

Поступила 13 июня 2006

Используемый нами 2MFGC-каталог содержит 18020 галактик, отобранных среди протяженных источников инфракрасного обзора неба 2MASS по отношению видимых осей $b/a < 0.3$; большинство из них являются спиральными галактиками поздних морфологических типов, диски которых видны почти с ребра. Для 2724 галактик 2MFGC с известными скоростями вращения и лучевыми скоростями определены их индивидуальные расстояния по многопараметрической инфракрасной зависимости Талли-Фишера. Представлен список расстояний и пекулярных скоростей этих галактик. Коллективное движение 2MFGC галактик относительно космического микроволнового излучения характеризуется скоростью $V = 199 \pm 37$ км/с в направлении $l = 304^\circ \pm 11^\circ$, $b = -8^\circ \pm 8^\circ$. Приводимый нами список является наиболее представительной и однородной выборкой для анализа нехаббловских движений галактик на масштабе ~ 100 Мпк.

1. *Введение.* Согласно общепринятому определению, красное смещение галактик есть сумма двух слагаемых: скорости изотропного космологического расширения и пекулярной скорости, возникающей в результате гравитационного притяжения со стороны окружающего вещества. Чтобы определить пекулярную скорость галактики на практике, надо знать как ее наблюдаемую лучевую скорость относительно какой-либо системы отсчета, так и расстояние до галактики, найденное независимо от лучевой скорости. Наиболее массовым методом определения индивидуальных расстояний до спиральных галактик является метод Талли-Фишера, ТФ [1]. Пиблз [2] показал, что в рамках линейной теории гравитационной нестабильности пекулярные скорости галактик связаны с флуктуациями массы через космологические параметры. Таким образом, по наблюдаемому полю пекулярных лучевых скоростей галактик в достаточно большом объеме можно восстановить распределение материи в нем, задаваясь набором космологических параметров, а также граничных условий [3].

Для решения такой задачи необходимы обширные однородные выборки галактик, равномерно и достаточно плотно распределенные по небу и имеющие большую глубину. Этим условиям удовлетворяет каталог плоских спиральных галактик, видимых с ребра, RFGC [4]. RFGC содержит 4236 галактик с оптическим угловым диаметром

$a \geq 0.6$ и видимым отношением осей $a/b \geq 7$. На 2000 год только 1327 RFGC-галактик (31% от всего каталога) имели измеренные лучевые скорости и амплитуды вращения (либо ширины W_{30} , W_{20} линии H I, либо оптические V_{max}). Для них была построена многопараметрическая ТФ-зависимость, основанная на каталожных характеристиках галактик, и определены пекулярные скорости [5]. Точность определения расстояния составила примерно 20-25%. Эти данные были использованы для оценки параметров коллективного движения и построения двумерного поля скоростей [6]. Фельдман и др. [7] сравнили зависимость разниц скоростей галактик в парах от их взаимного расстояния для разных выборок: Mark III [8], SFI [9,10], ENEAR [11] и RFGC. Было показано, что, хотя эти каталоги составлены независимо, включают разные по морфологии галактики, различны по объему и геометрии выборки, результаты определения космологического параметра плотности материи и амплитуды флуктуаций плотности устойчивы и достаточно хорошо взаимосогласованы.

К сожалению, накопление данных о скоростях вращения RFGC-галактик и в радио- и в оптическом диапазонах идет довольно медленно. С момента публикации списка [5] число галактик с известными лучевыми скоростями и амплитудами вращения увеличилось примерно на четверть.

Начиная с первых работ Ааронсона и др. [12-14], исследователи широко используют инфракрасную ТФ-зависимость (ИКТФ). Ее преимущества подробно описаны в обзоре Страусса и Виллика [3]. Мы построили ИКТФ-зависимость в полосах J , H , K_s для RFGC-галактик [15], используя фотометрические характеристики из 2MASS Extended Source Catalog, XSC [16]. Выбрав затем в качестве опорной кроновскую J_c -величину и построив линейную многопараметрическую ИКТФ-зависимость, мы определили амплитуду и апекс коллективного движения: $V = 199 \pm 61$ км/с, $l = 301^\circ \pm 18^\circ$, $b = -2^\circ \pm 15^\circ$ для выборки 971 галактики со скоростями в пределах 18000 км/с [17]. Этот результат находится в хорошем согласии с определениями других авторов (см. обзор [18]).

2. Новая выборка и зависимость Талли-Фишера. Успешное применение ИКТФ-зависимости к галактикам RFGC показало новую возможность для отбора уплощенных спиральных галактик из каталога XSC на основе их 2MASS-характеристик. Новый 2MASS selected Flat Galaxy Catalog, 2MFGC [19] содержит 18020 галактик с отношением инфракрасных осей $b/a < 0.3$, что примерно соответствует оптическому отношению осей $a/b > 6$. Статистический анализ характеристик 2MFGC-галактик показывает, что, несмотря на слабую чувствительность обзора 2MASS по отношению к галактикам низкой поверхностной яркости и голубым карликовым системам, каталог 2MFGC вполне адекватен

"оптическому" каталогу RFGC: новый каталог содержит в основном спиральные галактики поздних типов. Преимуществом каталога 2MFGC по сравнению с RFGC является вчетверо больший объем выборки, а также гораздо большая глубина и лучшая полнота данных в области Млечного Пути. Очень важно также, что фотометрические параметры 2MASS-галактик измерены единообразным способом для подавляющего числа объектов (исключая самые большие по угловым диаметрам).

Для составления сводки лучевых скоростей V_A , ширин водородных линий W_{20} , W_{50} и оптических оценок амплитуды вращения V_{max} мы использовали следующие источники:

- 1) Последние версии баз данных LEDA и NED.
- 2) Список RFGC-галактик с пекулярными скоростями [5].
- 3) Список южных RFGC-галактик, отождествленных в обзоре HIPASS [20] и в каталоге Килборна и др. [21].
- 4) Данные наших наблюдений на 100-м телескопе в Эффельсберге [22,23].
- 5) Сводный каталог профилей водородной линии 21 см у оптически отобранных галактик [24].
- 6) Спектры в линии $H\alpha$, полученные на 5-м Паломарском телескопе [25].

Всего в наш массив данных вошло около 5700 2MFGC-галактик с измеренными лучевыми скоростями, в том числе 3110 галактик, для которых также имелись оценки скоростей вращения. Далее мы провели очистку выборки от случаев ненадежной фотометрии (соседство с яркой звездой), низкого отношения сигнал/шум для профиля линии $H\beta$, возможного влияния на профиль $H\beta$ -линии близких соседей, а также исключили галактики с пекулярной морфологией. В результате осталось 5653 галактики с измеренными V_A , из которых 3074 галактики имеют измеренные скорости вращения, что составило 31% и 17% от полного числа галактик в 2MFGC-каталоге, соответственно.

По сравнению с выборкой, использованной в нашей предыдущей работе [26], число галактик с измеренными скоростями вращения увеличилось на 309 объектов.

Там же [26] мы подробно обосновали использование в качестве базовой ширину водородной линии W_{50} . Здесь для пересчета W_{20} , V_{max} в W_{50} мы используем найденные ранее соотношения: $W_{50} = W_{20} - (29.5 \pm 0.5)$ км/с, $W_{50} = 2V_{max} + (27.4 \pm 7.8)$ км/с.

Вычисления проводились в два этапа. На первом этапе мы калибруем линейную многопараметрическую ИКТФ-зависимость, принимая ее в виде:

$$M = C_0 + C_1 \cdot \log W_{50}^c + C_2 \cdot \log(a/b) + C_3 \cdot Jhl + C_4 \cdot (J_{fe}^c - K_{fe}^c) + C_5 \cdot Jcdex, \quad (1)$$

где W_{30}^c - ширина водородной линии W_{30} , исправленная за космологическое уширение, J_{hl} - эффективная поверхностная яркость в J -полосе, J_{cdex} - индекс концентрации (отношение радиусов, внутри которых сосредоточено $3/4$ и $1/4$ света галактики), $J_{je}^c = J_{je} - A_J$, $K_{je}^c = K_{je} - A_K$ - кроновские J - и K -величины, исправленные, согласно [27], за поглощение в Галактике (разность величин мы используем как показатель цвета), a/b - отношение осей.

Абсолютную звездную величину мы вычисляли по видимой J_{je}^c обычным образом:

$$M = J_{je}^c - 25 - 5 \log r. \quad (2)$$

Для калибровки зависимости (1) мы оценивали фотометрическое расстояние r (в Мпк) постхаббловской зависимостью

$$r = V_{3K} \{1 - (q_0 - 1)V_{3K}/2c\} / H_0, \quad (3)$$

справедливой для однородной изотропной космологической модели. (Здесь c - скорость света). Лучевая скорость V_{3K} в системе микроволнового фона вычислялась на основании гелиоцентрической лучевой скорости $V_h = cz$ с использованием параметров движения Солнца относительно микроволнового фона в [28]. Постоянная Хаббла принималась равной $H_0 = 75$ км/с/Мпк. Значение параметра замедления $q_0 = -0.55$ соответствует стандартной космологической модели с холодной темной материей и космологической постоянной ($\Omega_m = 0.3$, $\Omega_\Lambda = 0.7$). Коэффициенты зависимости (1) находим, минимизируя сумму квадратов отклонений правых частей (1) и (2) с учетом (3).

На втором этапе, после калибровки ИКТФ-зависимости, мы находим расстояния в соответствии с формулами (1) и (2) и вычисляем в постхаббловском приближении индивидуальную пекулярную скорость галактики:

$$V_{pec} = V_{3K} - H_0 r \{1 + (q_0 - 1)H_0 r / 2c\}. \quad (4)$$

Для выборки $N = 3074$ мы получили довольно большой разброс точек на ИКТФ-диаграмме, $\sigma_{TF} = 0^m.76$. Аналогично работе [26], мы исключили галактики, которые отклоняются на ИКТФ-диаграмме больше, чем на $3\sigma_{TF}$, а также те галактики, чьи индивидуальные пекулярные скорости в $3K$ -системе превышают 3000 км/с, полагая, что такие отклонения обусловлены ошибками наблюдений, а не физическими причинами. Проведя последовательно несколько итераций исключения (до сходимости процесса), мы получили выборку $N = 2724$ галактики, которая характеризуется разбросом $\sigma_{TF} = 0^m.47$.

Коэффициенты ИКТФ-зависимости (1) вместе с их значимостями по критерию Фишера (указанными в скобках) оказались следующими:

$$C_0 = -9.95 \pm 0.43(541), \quad C_1 = -6.53 \pm 0.08(6696), \quad C_2 = 1.17 \pm 0.05(466), \\ C_3 = 0.228 \pm 0.016(208), \quad C_4 = -0.53 \pm 0.07(55), \quad C_5 = -0.016 \pm 0.009(3).$$

Кратко прокомментируем роль коэффициентов при регрессорах.

$\log(a/b)$: положительное значение коэффициента C_2 означает, что у более плоских/наклоненных галактик светимость слабее средней;

Jhl : положительное значение коэффициента C_3 означает, что у более диффузных галактик светимость слабее (сказывается недооценка периферии);

$J_{je}^c - K_{je}^c$: отрицательное значение коэффициента C_4 означает, что у более красных галактик, где меньше роль диска, светимость выше средней (малы потери на периферии);

$Jcdex$: коэффициент C_5 практически незначим может быть потому, что индекс концентрации $Jcdex$ скоррелирован с Jhl и/или с $J_{je}^c - K_{je}^c$.

Далее уместно сделать два замечания. 1) Исключив при очистке выборки 11% галактик, мы в 1.6 раза уменьшили разброс на ИКТФ-диаграмме. Дополнительная проверка исключенных галактик показывает, что использование новых, более точных данных устраняет, как правило, сильные отклонения. 2) В каталог 2MFGC не были включены примерно 600 RFGC-галактик с известными V_R , W , V_{max} , поскольку они по той или иной причине не прошли принятый критерий отбора; из них 188 имеют 2MASS-фотометрию. В принципе, возможно включение в анализ

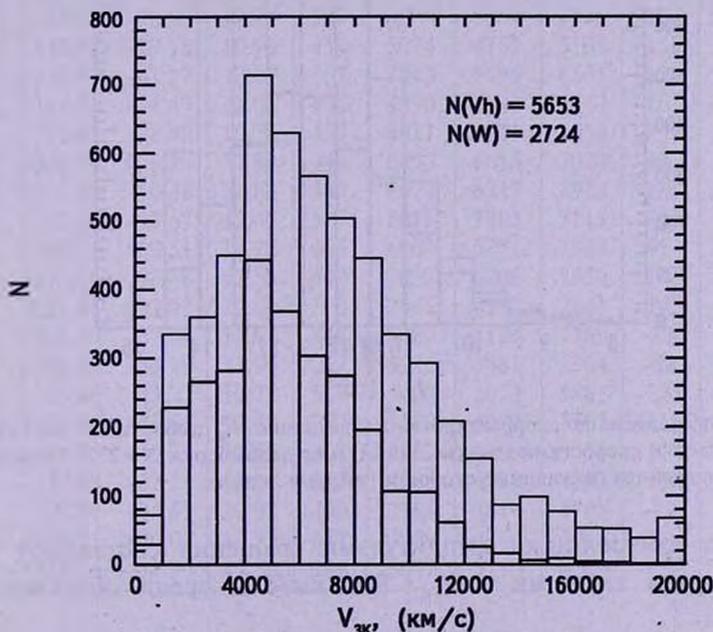


Рис.1. Распределение по V_{pec} $N=5539$ галактик выборки с лучевыми скоростями $V_{lk} < 20000$ км/с (тонкие линии) и ее подвыборки $N=2724$ галактик, для которых вычислены пекулярные скорости (жирные линии).

и этих данных, но из соображений однородности мы в этой работе не объединяли 2MASS- и оптические характеристики.

2MFGC-галактики с измеренными лучевыми скоростями ($N = 5653$) охватывают широкий диапазон V_{3k} вплоть до 52300 км/с со средним значением 7450 км/с. На рис.1 мы приводим распределение по лучевым скоростям $N = 5539$ 2MFGC-галактик этой выборки в интервале (0-20000) км/с (тонкие линии). Галактики с измеренными амплитудами вращения, для которых мы представляем пекулярные скорости ($N = 2724$), расположены ближе: максимальная скорость в этой выборке $V_{3k} = 19100$ км/с и среднее значение $V_{3k} = 5670$ км/с. Жирными линиями на рис.1 показано распределение галактик этой подвыборки.

На рис.2 приведены распределения по скорректированной видимой величине обеих выборок: $N = 5653$ галактики с измеренными лучевыми скоростями (тонкие линии) и $N = 2724$ галактики, для которых мы представляем пекулярные скорости. Из этих рисунков видно, что

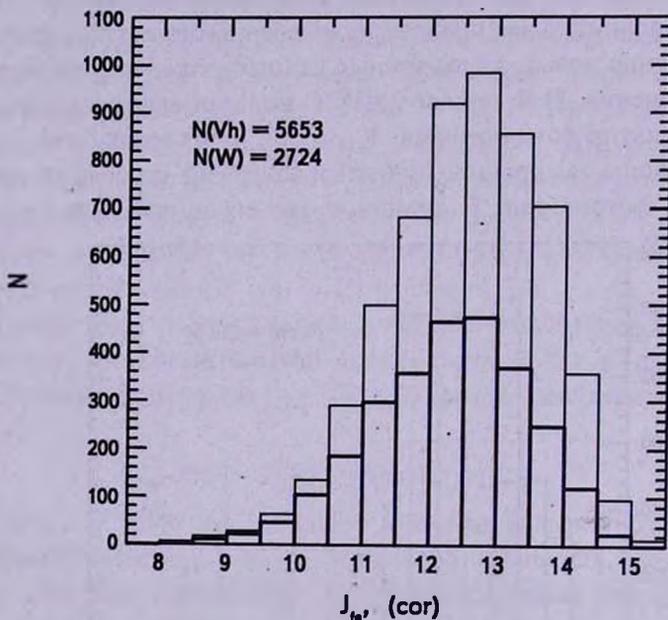


Рис.2. Распределение по скорректированной величине J_{ra}^c выборки $N = 5653$ галактик выборки с лучевыми скоростями (тонкие линии) и ее подвыборки $N = 2724$ галактик, для которых представляются пекулярные скорости (жирные линии).

галактики с измеренными амплитудами вращения составляют более половины среди галактик с $V_{3k} < 8000$ км/с и среди объектов ярче $J_{ra}^c = 13^m$.

Распределение по небу 2724 галактик из табл.1 представлено на рис.3 в галактических координатах.

3. Список пекулярных скоростей и характеристики коллективного движения. В табл.1 приводится список пекулярных скоростей 2724 2MFGC-галактик¹. Содержание колонок следующее: (1) номер в каталоге 2MFGC; (2) галактические координаты (в градусах); (3) J_{je}^c - кроновская "эллиптическая" звездная величина, исправленная за поглощение в Галактике; (4) W_{50} - ширина линии 21 см, исправленная

Таблица 1

КАТАЛОГ ПЕКУЛЯРНЫХ СКОРОСТЕЙ 2MFGC ГАЛАКТИК

2MFGC	<i>l</i>	<i>b</i>	J_{je}^c	W_{50}^c	V_h	V_{3K}	$H_0 r$	V_e	V_{pec}	V_p
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
2	91.89	-65.99	12.15	389	6547	6196	6323	-43	-24	19
13	108.04	-40.87	12.43	422	6804	6453	6704	-125	-135	-10
16	102.30	-54.33	12.40	595	14747	14386	13452	-84	1402	1486
23	100.87	-57.05	13.60	246	6339	5979	5521	-75	537	612
31	110.45	-34.25	13.64	280	7610	7272	6663	-143	724	867
38	104.12	-52.16	12.47	300	5538	5178	5530	-92	-273	-181
49	320.05	-64.94	12.97	404	10618	10426	10025	105	661	556
52	102.26	-56.47	12.51	541	11563	11204	11512	-78	34	112
53	109.09	-40.63	9.42	383	2310	1961	2032	-126	-61	65
58	103.56	-54.73	13.05	271	5071	4712	6115	-84	-1307	-1223
59	103.41	-55.06	13.10	207	3113	2754	4693	-83	-1883	-1800
82	110.16	-39.03	13.69	255	6597	6251	6885	-131	-511	-380
88	332.05	-73.41	10.66	291	1542	1304	2346	76	-1028	-1104
100	61.29	-78.97	12.24	507	10178	9864	8766	10	1296	1287
105	112.95	-29.18	10.98	454	5074	4751	5103	-155	-284	-129
112	110.17	-41.17	12.67	367	7843	7495	8361	-126	-686	-560
122	114.23	-24.47	11.06	432	4390	4082	4847	-165	-704	-539
123	113.47	-28.42	10.75	453	4811	4491	4533	-157	11	168
127	358.00	-79.76	11.92	444	6890	6615	7024	48	-281	-329
128	107.49	-50.48	11.89	480	6674	6317	8912	-99	-2390	-2291
136	112.68	-33.67	12.44	377	8216	7883	7115	-145	898	1044
137	322.31	-69.51	10.76	466	6004	5791	4933	91	921	830
138	112.96	-32.86	12.53	449	7037	6706	7950	-147	-1080	-933
147	113.05	-33.93	12.64	373	7445	7112	7841	-145	-570	-425
155	106.69	-55.94	12.68	348	8480	8124	7189	-82	1069	1151
172	108.15	-54.19	13.96	217	5836	5481	5304	-88	249	337
177	111.80	-43.27	10.70	562	5400	5052	5861	-121	-720	-599
184	111.45	-45.61	12.58	277	5620	5270	5505	-115	-157	-43
190	111.55	-45.77	11.55	308	4209	3859	3715	-114	180	294
197	114.68	-32.15	13.34	227	4863	4537	4995	-150	-394	-244
198	109.07	-54.65	10.92	400	3968	3614	4705	-87	-1034	-946
205	116.71	-20.05	12.59	347	5059	4769	7040	-174	-2142	-1968
214	114.04	-37.39	12.50	320	6047	5710	6260	-137	-449	-312

¹ Здесь для иллюстрации мы даем начало таблицы. Полная сводка пекулярных скоростей будет представлена в базе данных astro-ph.

за космологическое уширение (ширины W_{20} и амплитуды вращения V_{pec} приведены к W_{20} , согласно соотношениям, указанным в разделе 2); (5) V_A - гелиоцентрическая лучевая скорость; (6) V_{3K} - лучевая скорость в 3К-системе, вычисленная согласно [28]; (7) $H_0 r$ - фотометрическое расстояние, полученное с использованием уравнений (1) и (2); (8) V_d - дипольная составляющая индивидуальной лучевой скорости галактики (часть радиальной скорости галактики, определяемая дипольным коллективным движением); (9) V_{pec} - пекулярная скорость галактики, вычисленная в постхаббловском приближении по формуле (4); (10) $V_p = V_{\text{pec}} - V_d$ - шумовая составляющая пекулярной скорости (смысл ее такой же, как и в столбце (12) списка пекулярных скоростей работы [5]). Значения в колонках 4-10 выражены в км/с.

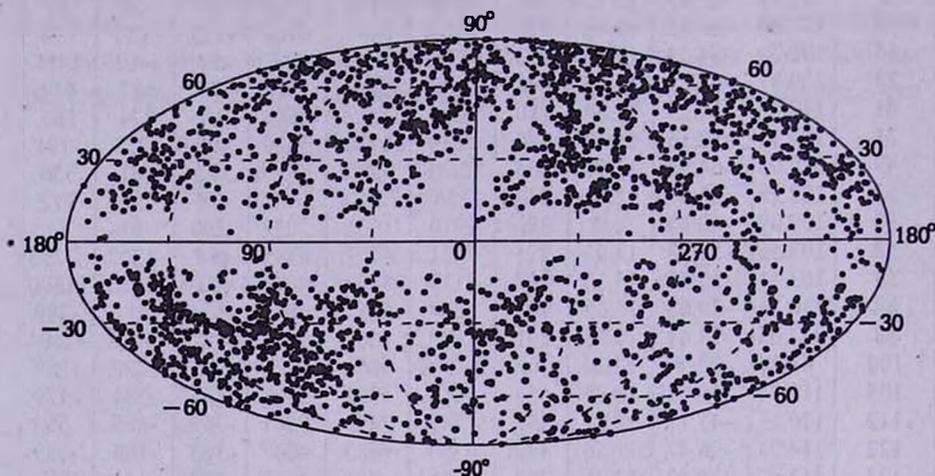


Рис.3. Распределение по небу $N=2724$ 2MFGC-галактик в галактических координатах.

Массив пекулярных скоростей V_{pec} из табл.1 был использован для вычисления ортогональных компонент $\vec{V} = (V_x, V_y, V_z)$ дипольной составляющей коллективной скорости

$$V_{\text{pec},i} = \vec{V} \cdot \vec{e}_i + V_{p,i} \quad (5)$$

путем минимизации суммы квадратов "шумовой" составляющей $V_{p,i}$ пекулярной скорости (i - порядковый номер галактики в выборке). Здесь $\vec{e}_i = (\cos l_i \cos b_i, \sin l_i \cos b_i, \sin b_i)$ - единичный вектор направления на i -ю галактику в репере, связанном с галактическими координатами l, b . По ортогональным компонентам (V_x, V_y, V_z) мы вычислили модуль и направление коллективного движения 2724 2MFGC-галактик: $V = 199 \pm 37$ км/с, $l = 304^\circ \pm 11^\circ$, $b = -8^\circ \pm 8^\circ$ при $\sigma_{TF} = 0^m.47$ и $\sigma_V = 1018$ км/с. Ошибки V, l, b мы вычисляли таким образом. Сначала мы нашли

диагональные компоненты B_{V_V} , B_{I_I} , B_{b_b} ковариационной матрицы B в базе $\{\bar{e}_V, \bar{e}_I, \bar{e}_b\}$, и затем определили ошибки как $\Delta V = (B_{V_V})^{1/2}$, $\Delta I = \arctan\{(B_{I_I})^{1/2}/V\}$, $\Delta b = \arctan\{(B_{b_b})^{1/2}/V\}$.

Подчеркнем, что эти результаты получены для спиральных галактик поздних типов, отобранных по их инфракрасным фотометрическим характеристикам в XSC-каталоге. Сравнение с работой [17] показывает отличное взаимное согласие вычисленных значений V , I , b . Следовательно, манера выделения дискообразных галактик по их оптическим признакам (RFGC) или же инфракрасным характеристикам (2MFGC) мало влияет на искомые параметры дипольного решения. Переход к новой выборке (RFGC \rightarrow 2MFGC) позволил почти втрое увеличить число галактик в выборке до глубины 19000 км/с. За счет этого точность определения V , I , b улучшилась почти в два раза, значимость диполя по критерию Фишера увеличилась с 3.5 до 9.8, а значение "показателя качества" $G = (N/100)^{1/2}/\sigma_{TF}$ выросло с 7.4 до 11.1.

На рис. 4 представлена зависимость модуля коллективной скорости как функции предельной глубины выборки. Из этой диаграммы видно, что с возрастанием рассматриваемого объема происходит значимое уменьшение амплитуды коллективного движения галактик от 360 до 200 км/с. Эффект затухания амплитуды нехаббловских движений при увеличении масштаба (эффект конвергенции) является ожидаемым в

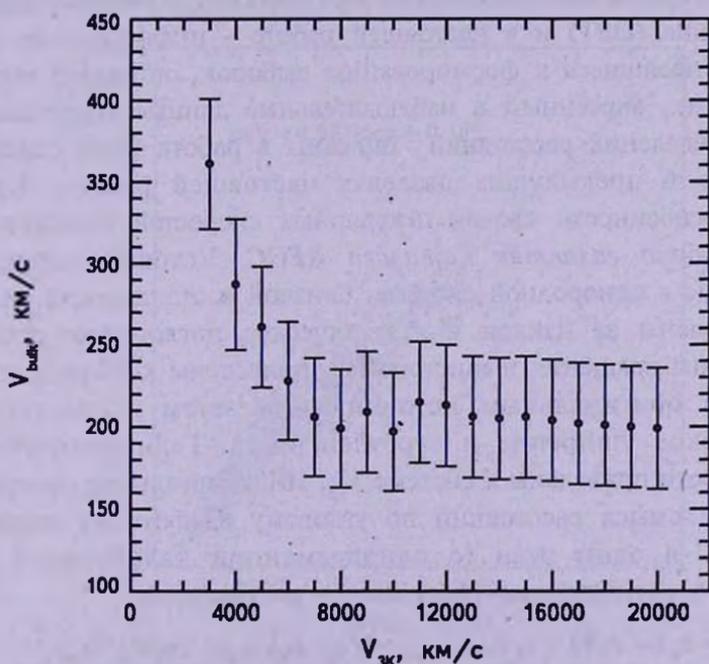


Рис.4. Значение модуля коллективной скорости в зависимости от максимальной радиальной скорости галактик в рассматриваемой выборке. Вертикальные отрезки указывают стандартную ошибку скорости.

стандартной модели образования крупномасштабной структуры Вселенной с холодной темной материей и космологической постоянной. За пределами $V_{лк} = 10000$ км/с представительность нашей выборки резко падает, поэтому обнаруженный эффект конвергенции реально соответствует масштабам от $z = 0.01$ до 0.03 .

4. *Обсуждение результатов.* Сравним полученные результаты с нашими предыдущими оценками. В разделе 2 мы привели значения параметров коллективного движения для очищенной выборки 971 оптически отобранных на фотографических обзорах неба плоских спиральных RFGC-галактик, полученные с использованием многопараметрической ИКТФ-зависимости [17]. Повторим эти результаты: модуль скорости $V = 199 \pm 61$ км/с, координаты апекса $l = 301^\circ \pm 18^\circ$, $b = -2^\circ \pm 15^\circ$ при $\sigma_{TF} = 0^m.42$ и $\sigma_V = 1045$ км/с. Максимальная глубина рассмотренной выборки составляла $V_{лк} = 18000$ км/с, а средняя $V_{лк} = 6160$ км/с.

Приведем также нашу раннюю оценку параметров коллективного движения для очищенной выборки 919 RFGC-галактик с $V_{лк} < 18000$ км/с. По оптическим параметрам этих галактик мы получили: $V = 300 \pm 75$ км/с, $l = 328^\circ \pm 15^\circ$, $b = +7^\circ \pm 15^\circ$, при $\sigma_V = 1160$ [6]. Здесь значения V , l , b были вычислены на основе нашего первого списка пекулярных скоростей [5]. Мы можем выполнить прямое сравнение выборок, методов оценки расстояния и индивидуальных расстояний, полученных в работе [5] - оптические (OPT) и в настоящей работе - инфракрасные (IR).

Детали, относящиеся к формированию выборок, описанию характеристик галактик, внесенным в наблюдательные данные коррекциям и способам определения расстояний описаны в работе [6] и ссылках в ней, а также в предыдущих разделах настоящей работы. Кратко перечислим особенности сводок пекулярных скоростей галактик.

OPT. Выборка галактик каталога RFGC. Угловые изофотные диаметры даны в однородной системе, близкой к стандартной системе a_{25} , и исправлены за наклон и галактическое поглощение согласно [29]. Амплитуды вращения и ширины W_{20} приведены к ширине линии W_{50} согласно оригинальным источникам и затем исправлены за космологическое уширение и турбулентность. Гелиоцентрические лучевые скорости приведены к системе $V_{лк}$. Индивидуальные расстояния $H_0 r$, имеющие смысл расстояний по угловому изофотному диаметру, определялись в один этап (с одновременной калибровкой ТФ-зависимости и вычислением расстояний) по формуле

$$H_0 r = [(c_1 + c_2 B + c_3 B T + c_4 a_{red} / a_{blue}) \cdot W_{50} + c_5] / a_{red} + c_6 (W_{50} / a_{red})^2 \quad (6)$$

(формула (1) в работе [6]), где B - индекс оптической поверхностной яркости, T - морфологический тип в цифровом выражении, a_{red} , a_{blue}

- угловые диаметры, измеренные на *E* и *O* Паломарских картах, соответственно. При этом регрессия строилась для подвыборки 1132 галактик, в которую не вошли галактики с ненадежными профилями HI линий и далекие галактики с $z > 0.06$ исходной выборки 1327 RFGC-галактик. Пекулярные скорости определялись как

$$V_p = V_{3K} - H_0 r - V_d, \quad (7)$$

где V_d - дипольная составляющая радиальной скорости галактик выборки.

IR. Выборка галактик каталога 2MFGC. Кроновские J_p величины из XSC-каталога исправлены за галактическое поглощение. Амплитуды вращения и ширины W_{20} приведены к W_{30} по соотношениям, найденным для данной выборки. W_{30} корректировались за космологическое уширение. Гелиоцентрические лучевые скорости приведены к системе V_{3K} . Индивидуальные (фотометрические) расстояния для галактик вычислялись в два этапа с использованием многопараметрической линейной ИКТФ-зависимости. Здесь учитывались релятивистские поправки в зависимостях между расстоянием и красным смещением. Пекулярные скорости V_{pec} определялись по формуле (4) настоящей работы для выборки 2724 2MFGC-галактик.

Сравнение расстояний для 724 общих галактик в списках OPT и IR дано на рис.5.

Видно, что до 12000 км/с OPT- и IR-расстояния в среднем связаны

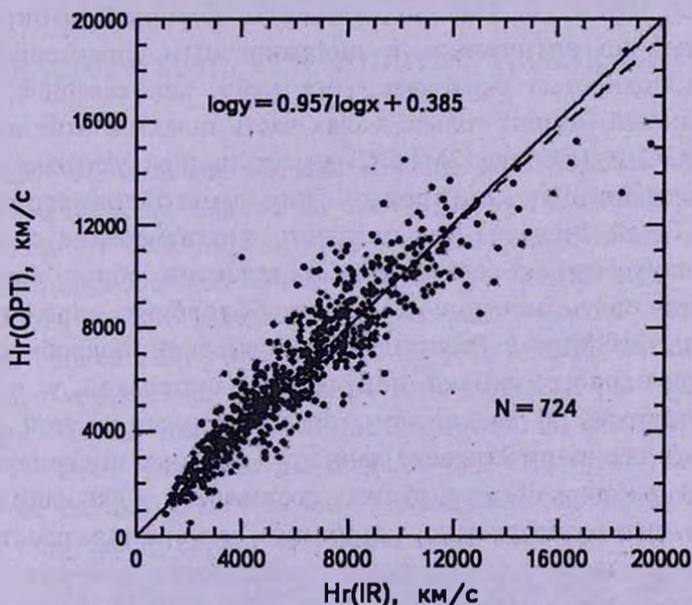


Рис.5. Зависимость OPT-расстояний от IR-расстояний для выборки 724 общих галактик. Штриховая линия - линейная МНК-регрессия логарифмов расстояний. Уравнение регрессии приведено на панели рисунка.

линейной зависимостью. Различия методов обработки наблюдательных данных (двух- или одношаговый способ определения расстояния, использование ИК-величины или оптического диаметра и др.) приводят к случайному разбросу относительно линейной в среднем зависимости. Но начиная примерно с 12000 км/с намечается отклонение от линейности. Нетрудно показать, что основной причиной этой нелинейности является наличие в модели (6) квадратичного по ширине W_{30} слагаемого, существенного на больших расстояниях. Введение этого слагаемого на 3% уменьшает дисперсию "тепловых" пекулярных скоростей (7), но его физическое обоснование остается неясным. Одной из причин значимости этого слагаемого в (6) по критерию Фишера может быть эффект селекции, когда с дальних расстояний мы выбираем более крупные галактики.

Мы не можем пока определенно сказать, какое из двух расстояний является более "правильным". Однако заметим, что точность вычисления модуля коллективной скорости для IR-выборки примерно вдвое выше, чем для OPT-выборки (37 км/с против 75 км/с).

Для изучения крупномасштабных движений галактик в объеме радиусом ~ 100 Мпк мы сделали ставку на тонкие дискообразные галактики поздних типов, которые имеют простую структуру, богаты газом и к тому же избегают центральных областей скоплений галактик с их большими вириальными скоростями. С этой целью были созданы два каталога: RFGC и 2MFGC, объекты которых выбирались, соответственно, по оптическим и инфракрасным характеристикам. Оба каталога полностью охватывают все небо, как северное, так и южное. На данный момент только малая часть галактик этих выборок (23% для RFGC и 15% для 2MFGC) имеет индивидуальные оценки расстояний, сделанные по простой или многопараметрической зависимости Талли-Фишера. Мы полагаем, что измерение скоростей вращения и лучевых скоростей у всех галактик обоих каталогов позволит обрисовать местное поле нехаббловских движений на масштабах до ~ 200 Мпк с беспрецедентно высокой подробностью.

Сравнение первого списка пекулярных скоростей у плоских спиральных галактик [5] со списком, представленным в этой работе, показывает хорошее взаимосогласие данных. Типичные индивидуальные пекулярные скорости в обеих выборках составляют $\sim (900-1000)$ км/с и обусловлены преимущественно ошибками измерения расстояний галактик. Рассматриваемое в дипольном приближении поле пекулярных скоростей показывает амплитуду $\sim (200 + 300)$ км/с в направлении $l \cong 301^\circ + 304^\circ$, лежащем вблизи галактической плоскости $b \cong -2^\circ + -8^\circ$. Величина и направление диполя оказались практически независимыми

от способа отбора галактик по оптическим или инфракрасным характеристикам, а также от использования в зависимости Талли-Фишера оптических угловых диаметров или же инфракрасных звездных величин. Устойчивость полученных нами параметров диполя и их согласие с оценками V , l , b по наиболее представительным выборкам других авторов [8-11] позволяет считать, что величина дипольного вектора на масштабах ~ 100 Мпк определена сейчас с точностью до ± 40 км/с, а его направление - с точностью $\pm 12^\circ$. Прямое сравнение индивидуальных расстояний у плоских галактик по их оптическим и по инфракрасным характеристикам демонстрирует взаимное согласие данных в диапазоне скоростей $V_{3K} \leq 12000$ км/с.

В нашей работе использованы данные 2MASS-обзора и базы данных NED и LEDA.

¹ Специальная астрофизическая обсерватория РАН,
Россия, e-mail: ikar@sao.ru

² Астрономическая обсерватория Киевского национального университета
им. Тараса Шевченко, Украина

PECULIAR VELOCITIES OF 3000 SPIRAL GALAXIES FROM THE 2MFGC CATALOGUE

I.D.KARACHENTSEV¹, Yu.N.KUDRYA², V.E.KARACHENTSEVA²,
S.N.MITRONOVA¹

The 2MFGC catalogue we used contains 18020 galaxies selected among extended sources of the infrared sky survey, 2MASS, according to their apparent axial ratio $b/a < 0.3$. Most of them are spiral galaxies of late morphological types whose discs are seen almost edge-on. We determined individual distances to 2724 2MFGC galaxies with known radial velocities based on a multi-parametric infrared Tully-Fisher relation. Here we present a list of TF-distances and peculiar velocities for the galaxies. Bulk motion of the 2MFGC galaxies with respect to the cosmic microwave background is characterized with the velocity $V = 199 \pm 37$ km/s in the direction to $l = 304^\circ \pm 11^\circ$, $b = -8^\circ \pm 8^\circ$. At present, our list turns out to be most representative and homogeneous sample to study non-Hubble motion of galaxies on a scale of ~ 100 Мпс.

Key words: *galaxies: Tully-Fisher relation: large-scale motions*

ЛИТЕРАТУРА

1. *R.B.Tully, J.P.Fisher*, *Astron. Astrophys.*, **54**, 661, 1977.
2. *P.J.E.Peebles*, *The Large-Scale Structure of the Universe*, Princeton University Press, 1980.
3. *M.Strauss, J.A.Willick*, *Phys. Reports*, **261**, 271, 1995.
4. *I.D.Karachentsev, V.E.Karachentseva, Yu.N.Kudrya et al.*, *Bull. Spec. Astrophys. Observ.*, **47**, 5, 1999.
5. *I.D.Karachentsev, V.E.Karachentseva, Yu.N.Kudrya et al.*, *Bull. Spec. Astrophys. Observ.*, **50**, 5, 2000.
6. *И.Д.Караченцев, В.Е.Караченцева, Ю.Н.Кудря и др.*, *Астрон. ж.*, **77**, 175, 2000.
7. *H.A.Feldman, R.Juszkiewicz, P.Ferreira et al.*, *Astrophys. J.*, **596**, L131, 2003.
8. *J.A.Willick, S.Courteau, S.M.Faber et al.*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **109**, 333, 1997.
9. *M.P.Haynes, R.Giovanelli, J.Salzer et al.*, *Astron. J.*, **117**, 1668, 1999.
10. *M.P.Haynes, R.Giovanelli, P.Chamaraux et al.*, *Astron. J.*, **117**, 2039, 1999.
11. *L.N. da Costa, M.Bernardi, M.V.Alonso et al.*, *Astrophys. J.*, **537**, L81, 2000.
12. *M.Aaronson, J.P.Huchra, J.R.Mould*, *Astrophys. J.*, **229**, 1, 1979.
13. *M.Aaronson, J.R.Mould, J.P.Huchra*, *Astrophys. J.*, **237**, 655, 1980.
14. *M.Aaronson, J.P.Huchra, J.R.Mould et al.*, *Astrophys. J.*, **258**, 64, 1982.
15. *I.D.Karachentsev, S.N.Mitronova, V.E.Karachentseva et al.*, *Astron. Astrophys.*, **396**, 431, 2002.
16. *T.H.Jarrett, T.Chester, R.Cutri et al.*, *Astron. J.*, **119**, 2498, 2000.
17. *Yu.N.Kudrya, V.E.Karachentseva, I.D.Karachentsev et al.*, *Astron. Astrophys.*, **407**, 889, 2003.
18. *S.Zaroubi*, *astro-ph/0206052*, 2002.
19. *S.N.Mitronova, I.D.Karachentsev, V.E.Karachentseva et al.*, *Bull. Spec. Astrophys. Observ.*, **57**, 5, 2004.
20. *И.Д.Караченцев, А.А.Смирнова*, *Астрофизика*, **45**, 547, 2002.
21. *V.A.Kilborn, R.L.Webster, L.Stavely-Smith et al.*, *A Catalog of HI Selected Galaxies from the South Celestial Cap Region of Sky*, 2002.
22. *W.K.Huchtmeier, I.D.Karachentsev, V.E.Karachentseva et al.*, *Astron. Astrophys.*, **435**, 459, 2005.
23. *С.Н.Митронова, В.К.Хухтмайер, И.Д.Караченцев и др.*, *Письма в Астрон. ж.*, **31**, 563, 2005.
24. *C.M.Springob, M.P.Haynes, R.Giovanelli, B.R.Kent*, *Astroph. J. Suppl. Ser.*, **160**, 149, 2005.
25. *B.Catinella, R.Giovanelli, M.P.Haynes*, *Astron. J.*, **130**, 1037, 2005.
26. *Ю.Н.Кудря, В.Е.Караченцева, И.Д.Караченцев и др.*, *Письма в Астрон. ж.*, **32**, 83, 2006.
27. *D.J.Schlegel, D.P.Finkbeier, M.Davis*, *Astrophys. J.*, **500**, 525, 1998.
28. *A.Kogut, C.Lineweaver, G.F.Smoot et al.*, *Astrophys. J.*, **419**, 1, 1993.
29. *И.Д.Караченцев*, *Письма в Астрон. ж.*, **17**, 97, 1991.