

ДВИЖЕНИЯ ГАЛАКТИК В ПОЛОСЕ BOOTES

И.Д.КАРАЧЕНЦЕВ^{1,2}, В.Е.КАРАЧЕНЦЕВА¹, О.Г.НАСОНОВА¹

Поступила 11 июня 2014

Мы рассматриваем структуру и кинематику рассеянного волокна галактик, расположенного между Местной Пустотой и скоплением Virgo. Для этого мы используем выборку 361 галактики с лучевыми скоростями $V_{LG} < 2000 \text{ км с}^{-1}$ в области неба $\alpha = (13^{\text{h}}.0, 18^{\text{h}}.0)$ и $\delta = (-5^{\circ}, +10^{\circ})$. В настоящее время для 161 из них имеются индивидуальные оценки расстояния. Распределение галактик по пекулярным скоростям вдоль полосы показывает известный эффект падения галактик к скоплению Virgo при $\alpha < 14^{\text{h}}$, а также признаки оттока галактик от Местной Пустоты при $\alpha > 17^{\text{h}}$. Большинство галактик в полосе Bootes (56%) входят в состав 13 групп и 11 пар, где наиболее выделяется группа вокруг NGC 5846. Группы в полосе Bootes находятся от нас на расстояниях (17 - 27) Мпк, т.е. дальше, чем скопление Virgo. Волокно галактик в Bootes содержит суммарную звездную массу $2.7 \cdot 10^{12} M_{\odot}$ и суммарную вириальную массу $9.07 \cdot 10^{11} M_{\odot}$, имея среднюю плотность темной материи $\Omega_m = 0.09$, т.е. в 3 раза меньше средней глобальной космической плотности.

Ключевые слова: галактики; Virgo; рассеянное волокно; структура и кинематика

1. *Введение.* Современные массовые измерения лучевых скоростей галактик, дополняемые независимыми определениями расстояний до них, обещают в скором времени построить детальную карту распределения пекулярных скоростей галактик на масштабе Местного сверхскопления. Поскольку поле пекулярных лучевых скоростей галактик генерируется распределением темной материи в рассматриваемом объеме и его окрестностях, то анализ пекулярных скоростей с помощью N -body моделирования дает возможность восстановить рельеф крупномасштабной структуры, т.е. расположение основных аттракторов и пустот. Согласно [1], метод constrained simulations уже способен выявлять локализацию массивных близких аттракторов типа скопления Virgo с точностью около 5 Мпк.

Вместе с тем, как было отмечено многими авторами [2-5], оценки вириальных масс в группах и скоплениях галактик приводят к значению средней плотности материи в Местной вселенной $\Omega_m(\text{local}) = 0.08$, которое в 3 раза ниже глобального космологического значения $\Omega_m(\text{global}) = 0.24 \pm 0.03$ [6]. Одним из возможных объяснений этого противоречия является предположение, что недостающие 2/3 от общего количества темной материи распределены за пределами вириальных радиусов групп и скоплений галактик. Однако анализ Хаббловских потоков вокруг самых близких групп: the Local Group [7], группы M81 [8], группы Cen A [9] и самых близких скоплений:

Virgo [10] и Fornax [11] показывает, что полные массы этих групп и скоплений внутри "радиуса сферы нулевой скорости", R_0 , хорошо согласуются с вириальными оценками масс, при том, что радиус R_0 примерно в 4 раза больше вириального радиуса. Следовательно, основная масса недостающей темной материи распределена за пределами зон падения вокруг групп и скоплений. В литературе встречаются предположения, что значительные массы темной материи могут быть локализованы в "темных филаментах", по которым межгалактическая материя перетекает в горячие вириальные зоны [12,13].

Очевидно, что Местное сверхскопление является наиболее подходящим объектом для проверки таких предположений из-за высокой плотности наблюдательных данных о скоростях и расстояниях галактик. В наших предыдущих статьях были рассмотрены движения галактик в филаментах, примыкающих к скоплению Virgo как центру Местного сверхскопления, с его северной и южной стороны. В области Virgo Southern Extension [$\alpha = 12^{\text{h}}.5 - 13^{\text{h}}.5$, $\delta = -20^\circ - 0^\circ$] [14] и в области Ursa Majoris [$\alpha = 11^{\text{h}}.0 - 13^{\text{h}}.0$, $\delta = +40^\circ - +60^\circ$] [15] оценки средней плотности материи составили, соответственно, $\Omega_m = 0.11$ и 0.08 . Но в области Coma I [$\alpha = 11^{\text{h}}.5 - 13^{\text{h}}.0$, $\delta = +20^\circ - +40^\circ$] было заподозрено наличие темного аттрактора с массой $\sim 2 \times 10^{14} M_\odot$ [16]. Все эти три зоны расположены вдоль экватора Местного сверхскопления, где структура и кинематика групп галактик частично замываются эффектами проекции.

На карте распределения галактик с лучевыми скоростями $V_{LG} < 2000$ км/с (рис.1) видно, что к востоку от скопления Virgo имеется цепочка групп галактик, которая простирается от Virgo [$\alpha = 12^{\text{h}}.5$, $\delta = +12^\circ$] в направлении Local Void [$\alpha = 19^{\text{h}}.0$, $\delta = +3^\circ$]. На кинематику этой структуры должно

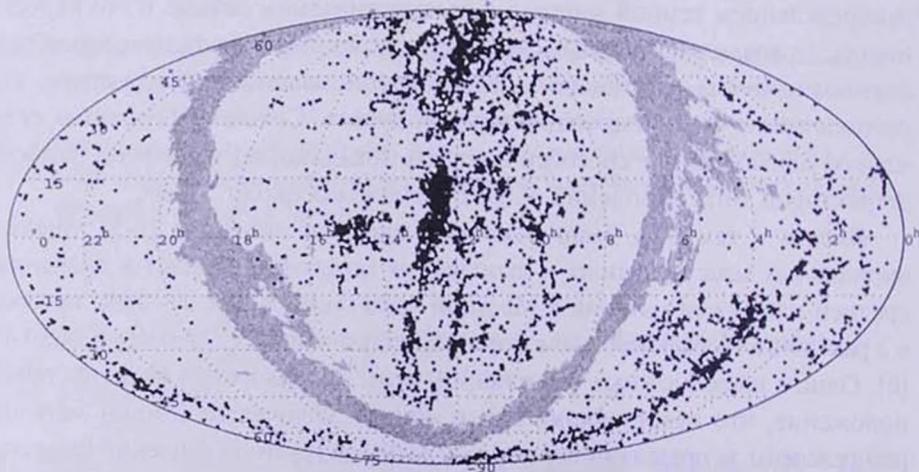


Рис.1. Распределение на небе галактик Местного сверхскопления в экваториальных координатах. Серой полосой показана зона сильного поглощения в Млечном Пути.

оказывать влияние как падение галактик в сторону аттрактора Virgo, так и движение более восточных галактик в направлении от центра расширяющегося Local Void [17]. Эта полоса на небе, пересекающая созвездие Bootes, была выбрана нами для детального рассмотрения в настоящей статье.

2. *Наблюдательные данные о галактиках в полосе Bootes.* Основываясь на Leda Extragalactic Database (<http://leda.univ-lyon1.fr>), мы отобрали в области неба, ограниченной экваториальными координатами [$\alpha = 13^{\text{h}}.0, 18^{\text{h}}.0$, $\delta = -5^{\circ}, +10^{\circ}$] галактики с лучевыми скоростями $V_{LG} \leq 2000$ км/с относительно центроида Местной группы. Среди 2515 отобранных объектов 2154 или 86% (!) оказались фиктивными галактиками, основная их масса представляет собой звезды Milky Way. В некотором количестве присутствуют также high velocity clouds, детектированные в HI-обзоре на радиотелескопе Arecibo.

Для нашей задачи преимуществом рассматриваемой полосы является то, что значительная часть ее находится в зоне оптического обзора неба SDSS [18], а также HI-обзоров HIPASS [19] и ALFALFA [20]. Используя эти обзоры, мы провели независимую морфологическую классификацию галактик и уточнили их видимые величины и лучевые скорости. При этом мы исключили ряд случаев, когда оценки видимой величины или лучевой скорости относились к фрагментам одной и той же галактики. Новые данные из ALFALFA обзора предоставили нам возможность определить расстояния многих галактик по соотношению Tully-Fisher [21] между светимостью галактики и шириной ее HI-линии, W_{50} , на уровне 50% от максимума.

После критического сравнения данных из разных источников и исключения сомнительных случаев, результирующий список 361 галактики в полосе Bootes представлен в табл.1¹. Ее столбцы содержат: (1) - номер галактики в известных каталогах и списках; (2) - экваториальные координаты на эпоху 2000.0; (3) - интегральную видимую величину в *B*-полосе, взятую из NASA Extragalactic Database (<http://ned.ipac.caltech.edu>), LEDA или SDSS; в ряде случаев с противоречивыми значениями B_r из разных источников мы полагались на собственные глазомерные оценки видимой величины; (4) - расстояние до галактики (в Мпк) с указанием способа его оценки: "sn" - по светимости Сверхновых, "rgb" - по светимости вершины ветви красных гигантов, "sbf" - по флуктуациям поверхностной яркости [22], "tf" или "TF" - по соотношению Tully-Fisher [21]; в большинстве случаев (64%) оценки расстояния D были сделаны нами независимо, используя соотношение Талли и др. [23]:

$$M_B = -7.27(\log W_{50} - 2.5) - 19.00,$$

наши оценки расстояния выделены большими буквами "TF"; при

¹ Полный текст табл.1 может быть получен по электронному адресу: phiruzi@gmail.com

Таблица 1

НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ О ГАЛАКТИКАХ В
ПОЛОСЕ BOOTES

Объект	RA (2000.0) DEC	B_i	D_{lin}	V_{LG}	err T	Группа
PGC044733	J130017.5-030359	15.88		963	21	Sm
NGC4900	J130039.2+023004	11.91	23.6 sn	832	8 Sc	N4900
PGC1084547	J130045.7-024304	18.12		991	89 Ir	
NGC4904	J130058.7-000139	12.67	22.8 tf	1051	8 Sc	
PGC214054	J130100.8-015834	17.39		1216	15 Im	
UGC08127	J130103.7-015712	15.57	29.0 TF	1321	10 Sm	
PGC1227695	J130153.4+022738	17.96		746	8 BCD	N4900
PGC045019	J130240.8+010427	17.47		787	20 BCD	N4900
PGC135818	J130344.2+020224	17.18		844	49 dS0	N4900
PGC170228	J130412.1-045327	14.83		765	64 S0	
UGCA322	J130431.2-033421	14.34		1211	9 Sm	
PGC1078534	J130431.9-025917	16.28	28.8 TF	1148	35 Im	P1078534
PGC3271456	J130436.5-024706	18.93		683	90 Ir	
PGC1080976	J130446.5-025216	16.37	29.8 TF	1113	89 Scd	P1078534
PGC3271328	J130646.8-041021	16.43		1109	64 BCD	
UGC08276	J131206.4+052832	17.12	24.4 TF	806	7 Sm	
UGC08285	J131233.3+071103	15.0	20.1 TF	800	9 Sm	
AGC238737	J131304.4+061707	18.3	23.9 TF	789	21 Im	
PGC046306	J131742.5-010006	15.97	24.9 TF	1116	13 Im	
PGC1128365	J131746.2-010215	16.56		1070	64 Im	
UGC08382	J132032.1+052428	15.22	12.6 TF	864	7 Sm	
UGC08385	J132038.1+094714	14.08	17.5 TF	1051	5 Sm	
AGC238691	J132517.6+053236	17.7		893	15 Ir	
PGC135826	J132615.9+022731	16.80	13.3 TF	917	7 Im	
NGC5147	J132619.6+020603	12.27		978	8 Sm	
KKSG 64	J132812.2+021643	17.44	16.2 TF	913	7 Im	
PGC135828	J132955.7+013239	16.55		939	21 Im	
PGC135829	J133133.9+021115	17.79		1243	89 dE	
SDSSJ13340	J133406.9+091543	17.70		958	39 dE	
KKH 84	J133437.9+084737	15.78	17.6 TF	1156	5 Im	N5248
UGC08575	J133545.6+085809	15.5	22.3 TF	1089	4 Sd	N5248
FGC1642	J133602.4+081108	16.8	34.8 TF	1168	5 Sd	N5248
CGCG73-051	J133643.7+083248	15.88	12.7 TF	1091	5 Ir	N5248
UGC08614	J133726.2+073842	13.21	12.6 TF	967	7 Im	

определении поправки к W_{50} за наклон карликовых галактик мы принимали, что их объемная форма соответствует эллипсоиду вращения с отношением осей 1:2 [24]; (5) - лучевая скорость галактики относительно центронада Местной группы и ее погрешность в км/с; (6) - морфологический тип, согласно нашему определению; (7) - имя ярчайшей галактики в группе [4] или в паре [25], членом которой является данная галактика. Как следует из данных этой колонки, более половины (56%) всех галактик полосы входят в системы различной кратности.

Верхняя панель рис.2 представляет распределение 361 галактики в полосе Bootes по лучевым скоростям, шкала которых показана под панелью. Кроме очень близкой карликовой галактики ККН 86 с $V_{LG} = 209$ км/с и $D = 2.6$ Мпк, все остальные имеют лучевые скорости $V_{LG} > 650$ км/с. Большинство галактик со значениями лучевых скоростей (700 - 1300 км/с) располагаются на западной стороне полосы по соседству со скоплением Virgo. Отрезок окружности вблизи $\alpha = 14^b$ отмечает положение радиуса

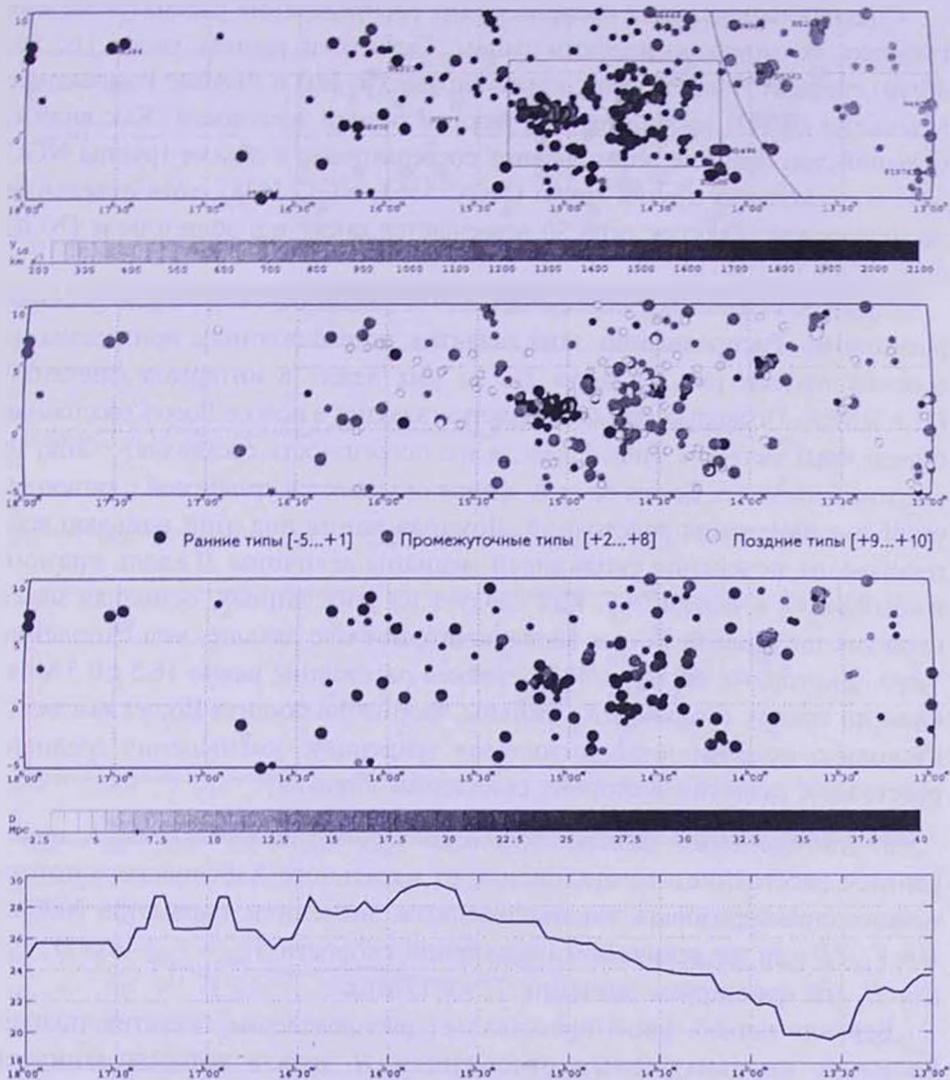


Рис.2. Распределение галактик полосы Bootes по лучевым скоростям (верхняя панель), морфологическим типам (средняя панель) и расстояниям (нижняя панель). Карликовые галактики с абсолютными величинами $M_b > -17.0$ показаны мелкими кружками. Ломаная линия под нижней панелью показывает поведение скользящей медианы расстояния с окном усреднения $0^b.5$.

сферы нулевой скорости, R_0 , которая отделяет галактики, падающие к центру Virgo, от тех, что участвуют в общем космологическом расширении. Для скопления Virgo значение R_0 составляет 7.2 Мпк, или 25° [26]. МК-группы [4] помечены на рисунке именами их ярчайших членов. Наиболее примечательной особенностью распределения галактик в полосе Bootes является компактная группа NGC 5846, которая насчитывает 74 члена с измеренными лучевыми скоростями (часть из них превосходит выбранный нами предел в 2000 км/с).

Средняя панель рис.2 воспроизводит распределение рассматриваемых галактик по морфологическим типам. Галактики ранних типов (E, S0, dSph), спирали типов Sa-Sdm, иррегулярные (Ir, Im) и голубые компактные галактики (BCD) изображены кружками разной плотности. Как видим, большинство галактик ранних типов сосредоточено в объеме группы NGC 5846 и нескольких других групп (NGC 5363, NGC 5638), хотя отдельные представители галактик типа S0 встречаются также и в общем поле (NGC 6010, CGCG 052-15).

Среди 361 галактики полосы Bootes 161 галактика (45%) имеют оценки расстояния. Распределение этих галактик по расстояниям приведены на нижней панели рис.2. Около $2/3$ из них лежат в интервале значений (25 ± 5) Мпк. Поскольку для большинства галактик в полосе Bootes расстояния определены методом Tully-Fisher, а его погрешность составляет $\sim 20\%$, то ширина филамента Bootes по лучу зрения оказывается сравнимой с типичной ошибкой измерения расстояний. Ломаная линия под этой панелью воспроизводит поведение скользящей медианы величины D вдоль прямого восхождения с окном $0^h.5$. Как следует из этих данных, основная масса галактик филамента Bootes располагается от нас дальше, чем скопление Virgo, у которого, согласно [27], среднее расстояние равно 16.5 ± 0.5 Мпк. Судя по тренду скользящей медианы, форма филамента Bootes выглядит несколько искривленной, показывая тенденцию уменьшения среднего расстояния галактик в сторону скопления Virgo.

3. *Хаббловский поток в полосе Bootes.* Для галактики с измеренным расстоянием ее отклонение от идеального Хаббловского потока можно характеризовать индивидуальным значением параметра Хаббла $H = V_{LG}/D$ или же величиной пекулярной скорости $V_{pec} = V_{LG} - H_0 \times D$, где для H_0 мы фиксируем значение 72 км/с/Мпк.

Верхняя панель рис.3 представляет распределение галактик полосы Bootes по индивидуальным отношениям H , шкала которых занимает диапазон от 25 до 100 км/с/Мпк. Ломаная линия под H -шкалой показывает дрейф скользящей медианы с окном $0^h.5$ вдоль α . Самым характерным значением является $H = 62$ км/с/Мпк, которое остается более-менее постоянным от $\alpha = 13^h.7$ до $17^h.3$. У галактик в зоне падения к Virgo

отчетливо заметен завал медианы H , а вблизи границы Local Void виден ее подъем, ожидаемый при разбегании галактик от центра пустоты (статистика галактик здесь, к сожалению, невелика).

Распределение галактик полосы по пекулярным скоростям имеет аналогичный вид (нижняя панель рис.3). Основное тело филамента Bootes характеризуется приблизительно постоянным значением $V_{pec} \approx -250$ км/с с тенденцией подъема V_{pec} возле границы Local Void и значимым падением V_{pec} вблизи скопления Virgo до -600 км/с.

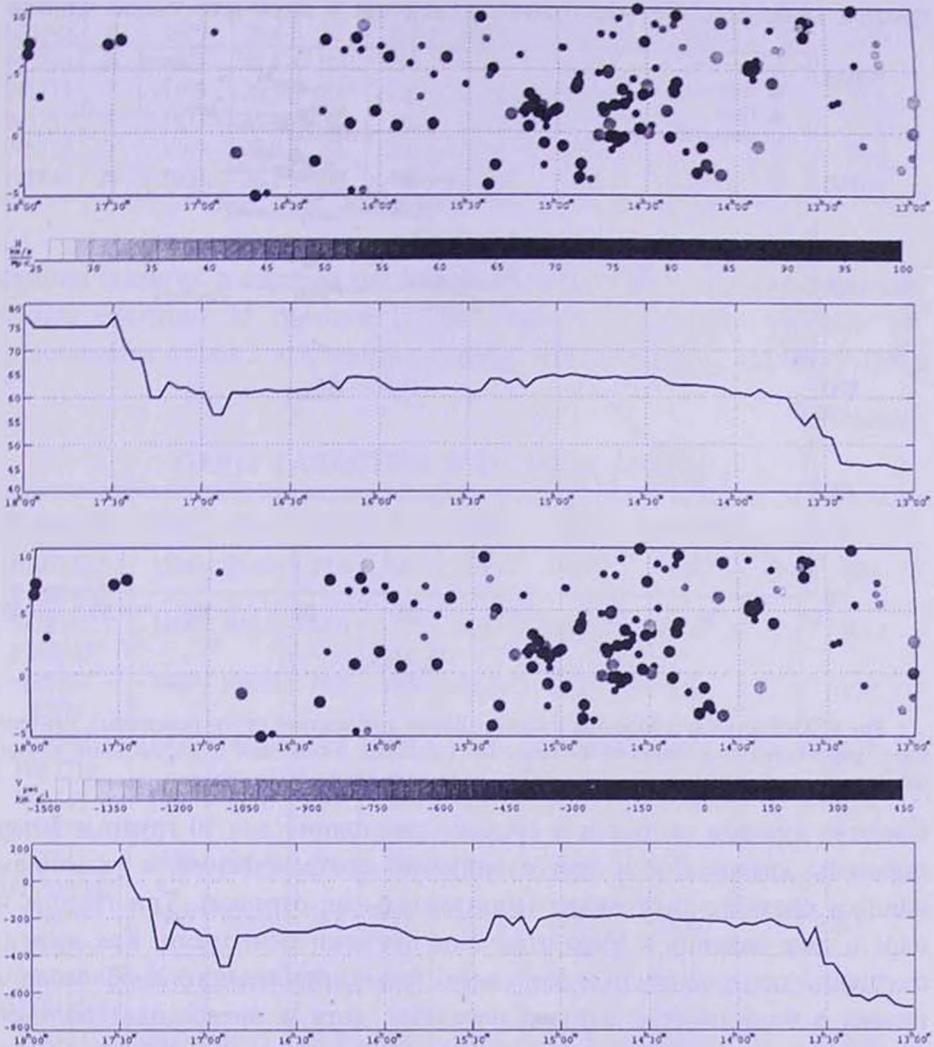


Рис.3. Распределение галактик полосы Bootes по индивидуальным значениям параметра Хаббла (верхняя панель) и пекулярной скорости (нижняя панель). Ломаные линии под панелями соответствуют скользящим медианам с окном $0^{\circ}.5$. Карликовые галактики показаны мелкими кружками.

Соотношение между лучевыми скоростями и расстояниями галактик в полосе Bootes приведено на рис.4, где прямая линия соответствует параметру Хаббла $H_0 = 72$ км/с/Мпк. Галактики в зоне падения Virgo ($\alpha < 14^h 0$) изображены пустыми кружками, остальные одиночные галактики показаны сплошными кружками. Из-за погрешности определения расстояния ($\sim 20\%$), на этой Хаббловской диаграмме возникает нелинейный эффект смещения Malmquist'a: абсолютные ошибки расстояния у далеких галактик больше, чем у близких, и весь массив галактик фиктивно смещается вправо. Чтобы ослабить влияние эффекта Malmquist'a, мы приводим на рис.4 пары и группы галактик, где расстояния измерены у двух или более членов.

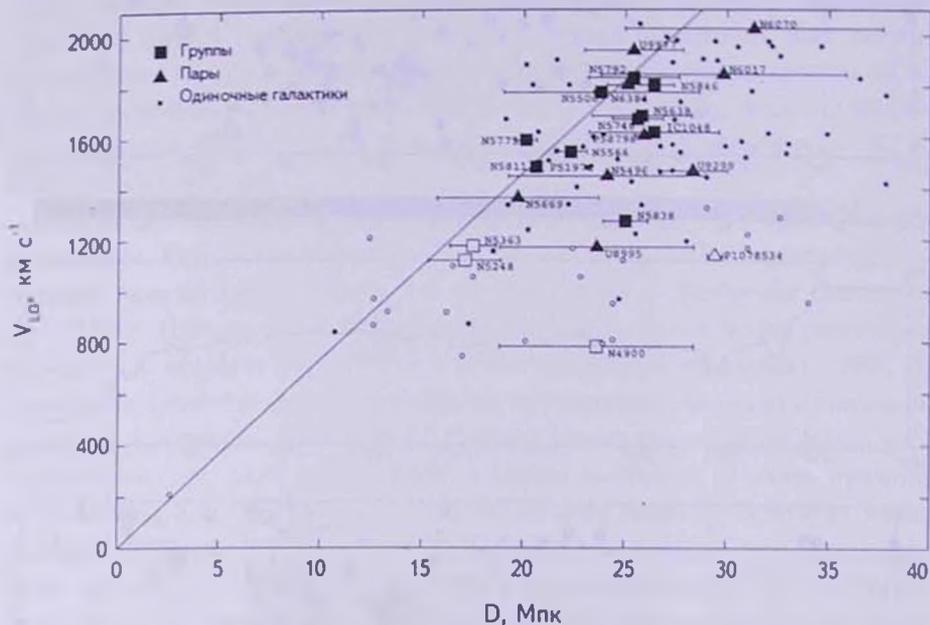


Рис.4. Хаббловская диаграмма в полосе Bootes для центров групп (квадраты), центров пар (треугольники) и одиночных галактик (кружки). Галактики и их системы в зоне падения к скоплению Virgo с $\alpha < 14^h 0$ показаны пустыми символами.

Средние лучевые скорости и средние расстояния для 10 групп и 5 пар показаны квадратами и треугольниками, соответственно, с указанием ошибки среднего расстояния (горизонтальные отрезки). Три группы и пара в зоне падения к Virgo отмечены пустыми символами. Как видим, смещения центров групп и пар относительно глобального Хаббловского потока в большинстве случаев невелики, хотя и превосходят ошибки положения центров. Сильнее всего вне зоны падения отклоняется группа NGC 5838, пекулярная скорость которой ~ 500 км/с, вероятно, обусловлена влиянием соседней массивной группы NGC 5846.

4. Суб-структуры в волокне Bootes. Согласно критерию группи-

имя ярчайшего члена группы: (2) - число членов группы с измеренными лучевыми скоростями; (3) - среднюю лучевую скорость относительно центроида Местной группы; (4) - расстояние до группы (в Мпк), соответствующее среднему модулю расстояния ($m - M$); (5) - стандартное отклонение лучевой скорости; (6) - средний гармонический радиус группы в проекции на небе; (7) - логарифм звездной массы группы, определяемой по суммарной светимости ее членов в K -полосе; (8) - логарифм проекционной массы группы [28]:

$$M_p = (32/\pi G) \times (N-3/2)^{-1} \sum_{i=1}^N \Delta V_i^2 \times R_i,$$

где ΔV_i и R_i - радиальная скорость и проекционное расстояние i -ой галактики относительно центра системы, а G - постоянная гравитации; (9) - отношение проекционной массы к суммарной звездной массе в логарифмической шкале; (10) - число членов группы с индивидуальными оценками расстояния; (11) - средняя квадратичная разность модулей расстояния у членов группы; в случаях $N_D = 1$ мы формально полагали $\sigma(m-M) = 0^m.4$, что соответствует ошибке расстояния 20%.

В аналогичной манере данные о парах галактик представлены в табл.3. Здесь проекционная (т.е. орбитальная) масса определялась как

$$M_p = (16/\pi G) \times \Delta V_{12}^2 \times R_{12},$$

где ΔV_{12} и R_{12} - взаимная разность лучевых скоростей и взаимное проекционное расстояние компонентов пары.

а) *Группы галактик.* Наиболее примечательным элементом структуры в полосе Bootes выглядит группа NGC 5846. Будучи компактной системой с обилием галактик ранних типов, группа NGC 5846 очевидно находится на продвинутой стадии динамической эволюции. Mulchaey & Zabludoff [29] отметили наличие X-гау эмиссии вокруг NGC 5846, как центральной галактики группы. Население этой группы исследовалось в работах [30-32]. Согласно [31], группа NGC 5846 содержит около 250 членов с абсолютными величинами ярче $M_R = -12^m$, а вириальная масса группы составляет $8.4 \times 10^{13} M_{\odot}$. Эти же авторы отметили высокую степень обособленности группы по лучу зрения: на площади группы в 10 кв. градусов перед группой нет ни одной галактики, а позади группы ближайшие соседи на луче зрения появляются только при $V_{IG} \geq 6000$ км/с. Опираясь на данные о распределении X-гау эмиссии, авторы выделили две подгруппы вокруг эллиптических галактик NGC 5846 и NGC 5813. Однако по кинематическим признакам помимо самой группы NGC 5846 в рассматриваемом объеме выделяется другая группа из 9 галактик вокруг S0-галактики NGC 5838. Обе эти группы находятся на почти одном и том же расстоянии (26.4 Мпк и 25.0 Мпк), но значительно различаются по средней лучевой скорости

(1803 км/с и 1269 км/с). При этом дисперсия лучевых скоростей 320 км/с согласно [31], уменьшается до 228 км/с (NGC 5846) и 53 км/с (NGC 5838), вследствие чего оценка вириальной массы всего комплекса галактик вокруг NGC 5846 снижается с $8.4 \times 10^{13} M_{\odot}$ до $4.8 \times 10^{13} M_{\odot}$.

Рис.5 воспроизводит распределение галактик в области группы NGC 5846 более крупным планом. К западу от NGC 5846 располагается другая населенная группа вокруг Sb-галактики NGC 5746, а также группа вокруг E-галактики NGC 5638, группа вокруг Sab-галактики NGC 5566 и еще несколько менее населенных групп и пар. Радиусы сферы нулевой скорости у них при обозначенных в табл.2 вириальных массах составляют: 2.8 Мпк (NGC 5846), 1.0 Мпк (NGC 5838), 2.0 Мпк (NGC 5746) и 1.4 Мпк (NGC 5566). При среднем взвешенном расстоянии $D=26$ Мпк угловые радиусы зон падения вокруг этих групп равны, соответственно, $6^{\circ}.1$, $2^{\circ}.2$, $4^{\circ}.4$ и $3^{\circ}.2$. Следовательно, зоны падения рассматриваемых групп значительно

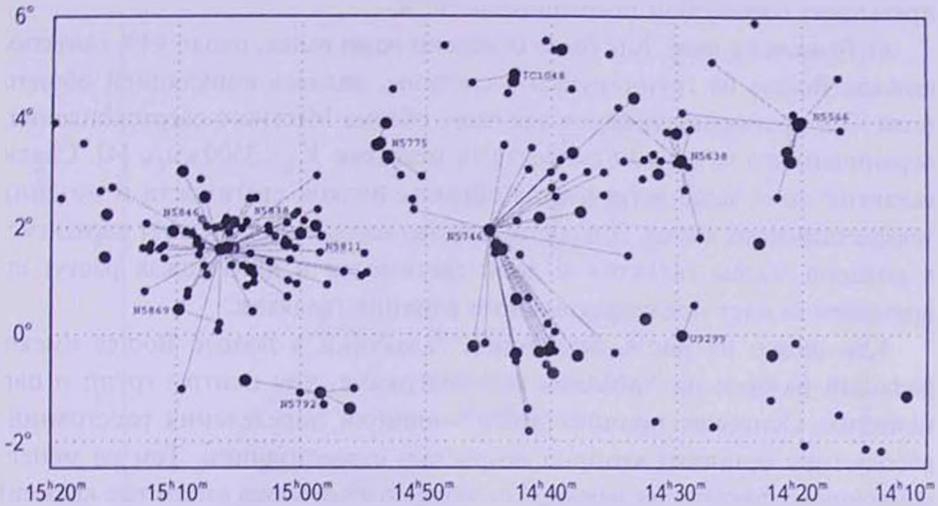


Рис.5. Увеличенный участок полосы Bootes в области групп галактик NGC 5846 и NGC 5746. Члены групп и пар соединены прямыми с их главными галактиками.

перекрываются, а сами субструктуры могут слиться со временем в единую динамическую систему.

Следует подчеркнуть, что галактики объединялись в МК-группы по их лучевым скоростям и взаимным проекционным расстояниям с учетом звездных масс (K -светимостей) галактик. При этом индивидуальные оценки расстояния до галактик во внимание не принимались. Поскольку для большинства галактик в полосе Bootes расстояния оценивались по соотношению Tully-Fisher, погрешность которого составляет $\sim 20\%$ или $0^m.4$, то разброс оценок модуля расстояния для членов одной и той же группы должен быть $\sim 0^m.4$. Данные последнего столбца табл.2 показывают,

что средняя квадратичная разность $\sigma(m-M)$, взвешенная по числу членов групп, N_D , составляет $0^m.35$. Следовательно, использованный алгоритм объединения галактик в МК-группы [4] не привносит в состав групп заметного количества ложных членов.

б) *Двойные галактики.* Пары галактик, представленные в табл.3, характеризуются медианным расстоянием 25.9 Мпк, типичным для всего населения полосы Bootes. Медианная разность лучевых скоростей у компонентов 11 пар составляет всего 22 км/с, подтверждая физическую природу этих систем. Медианное проекционное расстояние между компонентами пар равно 180 кпк, что также типично для динамически связанных пар. Проекционная масса ансамбля двойных галактик имеет медиану $0.8 \times 10^{10} M_{\odot}$ и характерное отношение проекционной массы к суммарной звездной массе компонентов $M_p/M_* = 7$. Для пяти пар галактик, где оценки расстояния сделаны для обоих компонентов, разброс значений $(m-M)$ не превышает ожидаемой погрешности $\sim 0^m.4$.

в) *Галактики поля.* Как было отмечено нами выше, около 44% галактик полосы Bootes не группируются в системы, являясь популяцией общего поля. Эта пропорция типична для всего объема Местного сверхскопления, ограниченного лучевыми скоростями галактик $V_{LG} < 3500$ км/с [4]. Среди галактик поля чаще встречаются объекты низкой светимости и поздних морфологических типов. Это обстоятельство хорошо соответствует парадигме, в которой массы галактик и доля светимости в их балджах растут со временем за счет последовательного слияния галактик.

Как видно из рис.4, одиночные галактики в полосе Bootes имеют больший разброс на Хаббловской диаграмме, чем центры групп и пар галактик. Основная причина этого - ошибки определения расстояний, абсолютная величина которых возрастает с расстоянием. Тем не менее, одиночные галактики на западной стороне полосы Bootes (открытые кружки) также показывают эффект падения к скоплению Virgo, аналогично центрам групп и пар. Необходимо отметить, что у некоторых галактик расстояния, определяемые методом Tully-Fisher, значительно отличаются от ожидаемых по их лучевой скорости (даже с учетом близости галактик к зоне падения вокруг Virgo). Часть таких оценок расстояния мы исключили, например, у карликовых галактик SDSS 1430+07 и CGCG 75-063, чьи фиктивные ширины $W_{50} \sim 170$ км/с обусловлены путаницей HI-потокот от соседних спиральных галактик. Тем не менее, в табл.1 остается несколько загадочных случаев с сильным несоответствием лучевых скоростей и расстояний. Одним из них является одиночная галактика AGC 238769 с лучевой скоростью 953 км/с и оценкой расстояния 34.0 Мпк. К таким случаям относится и плоская галактика FGC 1642 с $V_{LG} = 1168$ и $D = 34.6$ Мпк, которую мы исключили из членов группы NGC 5248 при оценке дисперсии

модулей ($m-M$) в этой группе. Значительные отклонения таких галактик на Хаббловской диаграмме, не вызванные ошибками в определении ширины их HI-линии W_{50} или угла наклона галактики, могут свидетельствовать о реально больших пекулярных движениях этих немногочисленных галактик.

5. *Локальная плотность материи в полосе Bootes.* Распределение групп и пар галактик в рассматриваемой полосе по величине их суммарной звездной массы и проекционной (вириальной) массы изображено на рис.6 квадратами и треугольниками. Между звездной и вириальной массой

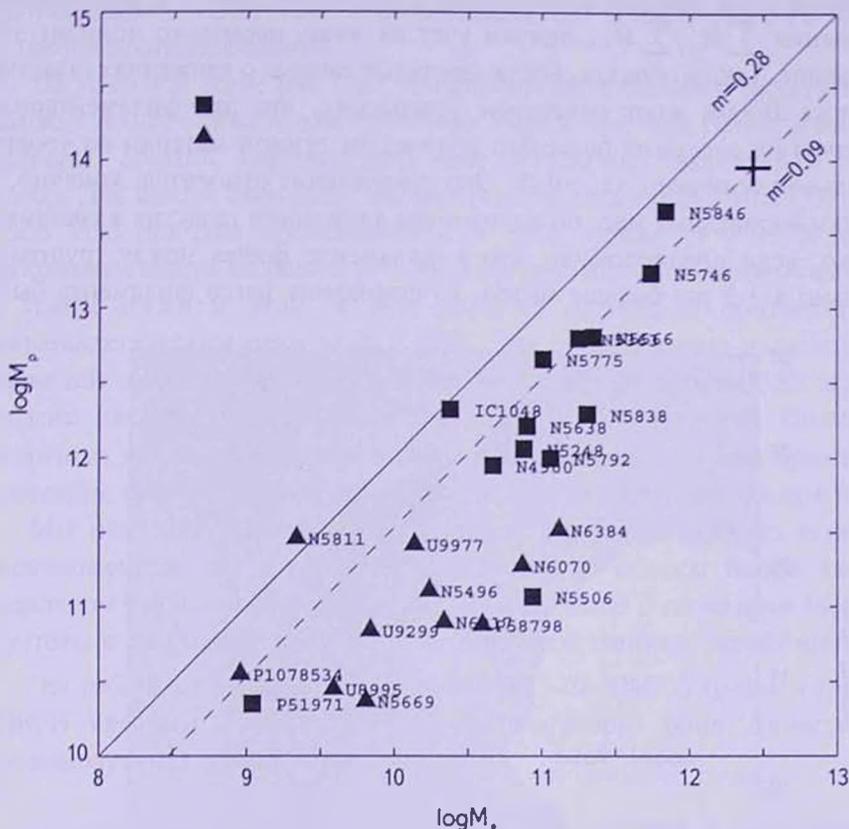


Рис.6. Соотношение между проекционной (вириальной) массой и суммой звездных масс для групп (квадраты) и пар (треугольники). Крестом помечено значение суммарной проекционной массы для всей полосы Bootes. Сплошная и штриховая линии показывают значение глобальной и локальной средней плотности материи.

наблюдается положительная корреляция, хорошо известная также по другим данным. При малых значениях масс значительный разброс систем по вертикальной шкале обусловлен, в основном, факторами проекции.

Согласно [33], средняя плотность звездной массы во вселенной равна $4.6 \times 10^8 M_{\odot} \text{ Мпк}^{-3}$ при $H_0 = 72 \text{ км/с/Мпк}$. Глобальная плотность материи $\Omega_m = 0.28$ в стандартной Λ CDM модели с этим параметром Хаббла

эквивалентна отношению темной материи к звездной $M_{DM}/M_* = 97$. Эта величина показана в виде диагонали на рис.6. Все группы и все, кроме одной, пары галактик в полосе Bootes располагаются ниже этой прямой линии. Отношение суммы вириальных масс всех групп и пар к сумме их звездных масс, $\sum M_p / \sum M_*$, = 33.6, изображено на рис.6 крестом. Штриховая прямая, проведенная через крест, соответствует средней плотности массы Ω_m (Bootes) = 0.09, что в три раза меньше глобальной космической плотности. Мы не учитывали здесь вклад одиночных галактик. Но, очевидно, галактики поля привносят вклад как в числитель, так и в знаменатель отношения $\sum M_p / \sum M_*$, причем учет их лишь несколько понизит это отношение. Таким образом, наблюдательные данные о движениях галактик в полосе Bootes дают основание утверждать, что эта филаментарная структура не содержит большого количества темной материи на уровне глобальной величины $\Omega_m = 0.28$. Это утверждение относится, конечно, к оценкам вириальных масс по внутренним движениям галактик в системах. Однако, если предположить, что в филаменте Bootes между группами упрятано в 3-5 раз больше массы, то суммарная масса филамента была

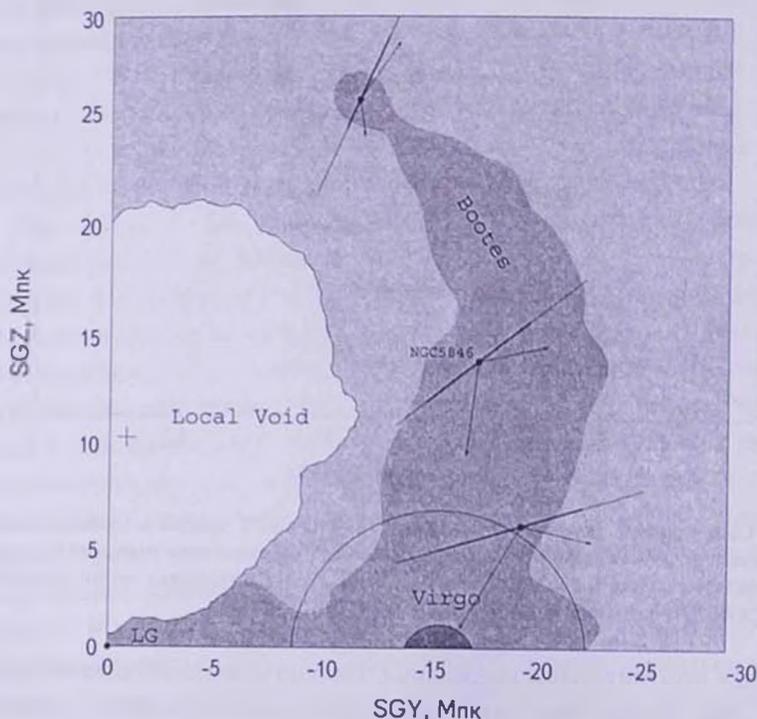


Рис.7. Схема взаимного расположения филамента Bootes, скопления Virgo и части Local Void. Внутренний и внешний радиусы вокруг Virgo соответствуют вириальной зоне и радиусу нулевой скорости R_0 . Компоненты скорости падения к Virgo и скорости удаления от центра Local Void имеют различные проекции в разных участках филамента. Наблюдатель (LG) расположен в левом нижнем углу схемы.

бы сравнима с массой скопления Virgo, и дисперсия скоростей у центров групп и пар тогда была бы заметно больше наблюдаемой.

6. *Заключительные замечания.* Реконструкция трехмерного распределения космических потоков в Местной вселенной, предпринятая Куртуа и др. [34] с использованием Wiener Filter показывает сложный характер движений галактик в области между Local Void и скоплением Virgo. Если пространственное положение скопления Virgo и картина радиальных движений к нему представляются вполне определенными, то протяженность Local Void и локализация его геометрического центра остаются противоречивыми.

На условной схеме рис.7 мы попытались воспроизвести расположение волокна Bootes относительно скопления Virgo и Местной Пустоты как двух основных агентов, формирующих поле пекулярных скоростей в полосе Bootes. Для центра скопления мы приняли расстояние 16.5 Мпк [27], а для Local Void приняли протяженность по лучу зрения от 0 до 20 Мпк с положением центра посередине [17]. Местная группа с наблюдателем находится в левом нижнем углу, а оси рисунка примерно соответствуют сверхгалактическим осям SGY и SGZ. Эта схема условно иллюстрирует различное соотношение между проекциями на луч зрения скорости падения галактик на Virgo и скорости убегания от центра Местной Пустоты в различных участках филамента. Качественно эта схема позволяет представить поведение средней пекулярной скорости (рис.3) вдоль тела филамента.

Мы надеемся, что массовые определения расстояний до галактик, расположенных как к северу, так и к югу от полосы Bootes дадут в недалеком будущем более детальную информацию о геометрии Местной Пустоты и движениях галактик в ее непосредственных окрестностях.

Эта работа поддержана грантом РФФИ 13-02-90407-Укр-ф-а и грантом ГФФИ Украины Ф53.2/15. О.Насонова благодарит фонд "Династия" за финансовую поддержку.

¹ Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 369167, Россия, e-mail: ikar@sao.ru

² Leibniz-Institut für Astrophysik, Potsdam, Germany

³ Главная астрономическая обсерватория НАН Украины

GALAXY MOTIONS IN THE BOOTES STRIP

I.D.KARACHENTSEV^{1,2}, V.E.KARACHENTSEVA¹, O.G.NASONOVA¹

We explore the structure and kinematics of a dispersed filament of galaxies residing between the Local Void and the Virgo cluster. For such purpose, we consider a sample of 361 galaxies with radial velocities $V_{LG} < 2000 \text{ km s}^{-1}$ inside the sky area of $\alpha = 13^{\text{h}}.0 - 18^{\text{h}}.0$ and $\delta = -5^{\circ} - +10^{\circ}$. At present, 161 of them have individual distance estimates. The galaxy distribution on peculiar velocities along the strip exhibits the known Virgo-centric infall at $\alpha < 14^{\text{h}}$ and some signs of outflow from the Local Void at $\alpha > 17^{\text{h}}$. Majority of the Bootes strip galaxies (56%) belong to 13 groups and 11 pairs, with the most prominent group around NGC5846. The Bootes strip groups reside within (17 - 27) Mpc from us being more distant from us than the Virgo cluster. The Bootes filament contains the total stellar mass of $2.7 \cdot 10^{12} M_{\odot}$ and the total virial mass of $9.07 \cdot 10^{13} M_{\odot}$, having the average density of dark matter to be $\Omega_m = 0.09$, i.e. a factor three lower than the global cosmic average.

Key words: *galaxies: Virgo: dispersed filament: structure and kinematics*

REFERENCES

1. *J.G.Sorce, H.M.Courtois, S.Gottloeber et al.*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **437**, 3586, 2014
2. *J.Vennik*, Tartu Astron. Obs. Publ., **73**, 1, 1984.
3. *R.B.Tully*, Astrophys. J., **321**, 280, 1987.
4. *D.I.Makarov, I.D.Karachentsev*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **412**, 2498, 2011.
5. *I.D.Karachentsev*, Astrophys. Bull., **67**, 115, 2012.
6. *D.N.Spergel et al.*, Astrophys. J. Suppl. Ser., **170**, 377, 2007.
7. *I.D.Karachentsev, O.G.Kashibadze, D.I.Makarov, R.B.Tully*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **393**, 1265, 2009.
8. *I.D.Karachentsev, O.G.Kashibadze*, Ap, **49**, 3, 2006.
9. *I.D.Karachentsev, R.B.Tully, A.Dolphin et al.*, Astron. J., **133**, 504, 2007.
10. *I.D.Karachentsev, O.G.Nasonova*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **405**, 1075, 2010.
11. *O.G.Nasonova, J.A. de Freitas Pacheco, I.D.Karachentsev*, Astron. Astrophys., **532A**, 104, 2011.
12. *J.P.Dietrich, N.Werner, D.Clowe et al.*, Nature, **487**, 202, 2012.

13. *A.B. Whiting*, *Astron. J.*, **131**, 1996, 2006.
14. *I.D. Karachentsev, O.G. Nasonova*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **429**, 2677, 2013.
15. *I.D. Karachentsev, O.G. Nasonova, H.M. Courtois*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **429**, 2264, 2013.
16. *I.D. Karachentsev, O.G. Nasonova, H.M. Courtois*, *Astrophys. J.*, **743**, 123, 2011.
17. *O.G. Nasonova, I.D. Karachentsev*, *Ap*, **54**, 1, 2011.
18. *K.N. Abazajian, J.K. Adelman-McCarthy, M.A. Agueros et al.*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **182**, 54, 2009.
19. *M.A. Zwaan, L. Staveley-Smith, B.S. Koribalski et al.*, *Astron. J.*, **125**, 2842, 2003.
20. *M.P. Haynes, R. Giovanelli, A.M. Martin et al.*, *Astron. J.*, **142**, 170, 2011.
21. *R.B. Tully, R.J. Fisher*, *Astron. Astrophys.*, **54**, 661, 1977.
22. *J.L. Tonry, A. Dressler, J.P. Blakeslee et al.*, *Astrophys. J.*, **546**, 681, 2001.
23. *R.B. Tully, L. Rizzi, E.J. Shaya et al.*, *Astron. J.*, **138**, 323, 2009.
24. *S. Roychowdhury, J.N. Chengalur, I.D. Karachentsev, E.I. Kaisina*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **436L**, 104, 2013.
25. *I.D. Karachentsev, D.I. Makarov*, *Astrophys. Bull.*, **63**, 299, 2008.
26. *I.D. Karachentsev, R.B. Tully, E.J. Shaya et al.*, *Astrophys. J.*, **782**, 4, 2014.
27. *S. Mei, J.P. Blakeslee, P. Cote et al.*, *Astrophys. J.*, **655**, 144, 2007.
28. *J. Heisler, S. Tremaine, J.N. Bahcall*, *Astrophys. J.*, **298**, 8, 1985.
29. *J.S. Mulchaey, A.I. Zabludoff*, *Astrophys. J.*, **496**, 73, 1998.
30. *A.I. Zabludoff, J.S. Mulchaey*, *Astrophys. J.*, **496**, 39, 1998.
31. *A. Mahdavi, N. Trentham, R.B. Tully*, *Astron. J.*, **130**, 1502, 2005.
32. *P. Eigenthaler, W.W. Zeilinger*, *Astron. Astrophys.*, **511**, 12, 2010.
33. *D.H. Jones, B.A. Peterson, M. Colless, W. Saunders*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **369**, 25, 2006.
34. *H.M. Courtois, D. Pomaredé, R.B. Tully et al.*, *Astron. J.*, **146**, 69, 2013.

