АСТРОФИЗИКА

ТОМ 50 НОЯБРЬ, 2007 ВЫПУСК 4

ГРУППЫ ГАЛАКТИК. IV. ВЛИЯНИЕ НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ СЕЛЕКЦИИ НА ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ И РАССТОЯНИЕМ ГРУПП И СРАВНЕНИЕ С ГРУППАМИ ГЕЛЛЕР И ХУКРЫ

А.П.МАГТЕСЯН

Поступила 11 мая 2007
Принята к печати 18 июля 2007

В данной статье обсуждается влияние наблюдательной селекции на зависимость характеристик групп галактик от их расстояния. Для наших групп зависимость среднего попарного расстояния между членами от расстояния группы носит именно такой характер. Для групп же Геллер и Хукры аналогичная зависимость искажена влиянием применяемых ими критериев отбора групп галактик. Для наших групп средняя величина дисперсии лучевых скоростей галактик более чем в два раза меньше, чем для групп Геллер и Хукры, а отношение массы к светимости групп у нас в среднем меньше на порядок. Группы Геллер и Хукры с отношением массы к светимости больше, чем 1000, вероятнее всего, нереальны.

Ключевые слова: *галактики - группы галактик - методы идентификации*

1. *Введение.* В предыдущих статьях нами предложены критерии идентификации групп галактик [1], где используется метод попарного соседства, предложенный в [2], с той разницей, что изменены критерии соседства. Для нахождения соседа у данной галактики с физической точки зрения правильнее использовать не расстояние, а гравитационное поле. Две галактики считаются соседями, если одна из них находится в сильном гравитационном поле другой, а разница их лучевых скоростей меньше некоторой определенной величины. Если принять, что масса галактики пропорциональна ее светимости, то условия соседства можно записать следующим образом:

$$\frac{\max\left(k_{T_1}L_1, k_{T_2}L_2\right)}{D_{1,2}} \geq E_0 , \qquad (1)$$

$$|V_1 - V_2| \leq V_0 , \qquad (2)$$

где k_{T_1} и k_{T_2} - коэффициенты, зависящие от морфологических типов галактик: $k_{T_i} = f(T_i)/f(S)$, где $f(T_i)$ - отношение массы к светимости (M/L) для данного морфологического типа T_i, а $f(S)$ - аналогичная величина для спиральных галактик. Учитывая слабую зависимость

величин M/L от морфологического типа галактики (см. ссылки в [1]), мы приняли $k_E = k_L = 2$, а для спиральных, иррегулярных, пекулярных и прочих морфологических типов принято $k_{T_i} = 1$. V_1 и V_2 - лучевые скорости первой и второй галактики, соответственно, L_1 и L_2 - их светимости, а $D_{1,2}$ - линейное расстояние между галактиками в проекции на небесную сферу: $D_{1,2} = (V_1 + V_2)\sin(\theta_{1,2}/2)/H$, $\theta_{1,2}$ - угловое расстояние между ними.

Обнаружение групп и их состав зависит от принятого значения свободных параметров E_0 и V_0. Очень важно не только найти физически обоснованные критерии для выявления групп, но также объективно оценить область значений свободных параметров, при которых выявленные группы будут наиболее реальными физическими системами. Вопрос об определении значений параметров E_0 и V_0 обсуждается в [3].

В работе [4] приведены список и некоторые статистические исследования групп галактик. Группы идентифицированы для случая $k_E = k_L = 2$, $E_0 = 3.0 \cdot 10^{10}$, $M_\odot(f_s/f_\odot)$Мпк$^{-1}$ и $V_0 = 400$ км/с (см. [3]). При этом гелиоцентрические лучевые скорости галактик исправлены за вращение Галактики и за движение Местной системы галактик в направлении скопления в Деве, соответственно, по формулам, приведенным в [3]. Использован список галактик ярче $14^m.5$ с полными данными о лучевых скоростях [5].

В данной статье произведено сравнение некоторых характеристик наших групп с аналогичными характеристиками групп Геллер и Хукры [6], а также обращено внимание на некоторые эффекты наблюдательной селекции.

2. *Эффекты селекции.* В [1] показано, что в предложенном нами методе идентификации групп галактик до $M = -20^m.5$ решающую роль играют галактики высоких светимостей, т.е. по причине ограничения выборки по видимой звездной величине и, поэтому, не включение слабых галактик далеких групп в выборку не может существенно влиять на обнаружение группы. Поэтому нет необходимости учета изменения наблюдаемой функции светимости от расстояния в довольно широком диапазоне расстояний. Это то расстояние, на котором галактики с абсолютными величинами $M = -20^m.5$ достигают предельной звездной величины выборки. Внутри этого расстояния находится почти весь объем выборки. Поэтому для выявления групп галактик отпадает необходимость использования функции светимости (ФС) галактик. Это очень важно, поскольку использование ФС галактик повлечет за собой эффекты, обсуждаемые в [1]. Таким образом, предложенные нами критерии для идентификации групп галактик [1], в отличие от критериев Геллер и Хукры [6], не могут стать причиной искусственной

связи между характеристиками групп и их расстоянием. Если имеется такая связь, то она, в основном, может быть обусловлена эффектом наблюдательной селекции.

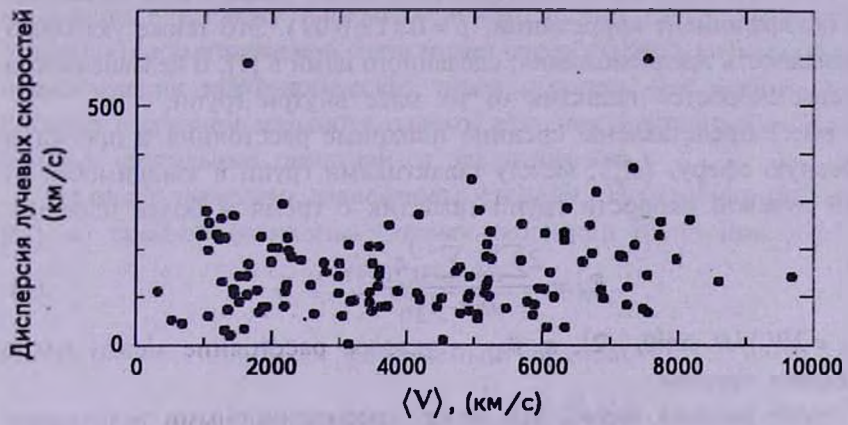

Рис.1. Зависимость дисперсии лучевых скоростей галактик от средних лучевых скоростей групп (при $n \geq 3$).

На рис.1 представлена зависимость между дисперсиями лучевых скоростей и средними лучевыми скоростями галактик для групп с $n \geq 3$.

$$\sigma_V = \left[\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(V_i - \langle V\rangle)^2\right]^{1/2}, \qquad (3)$$

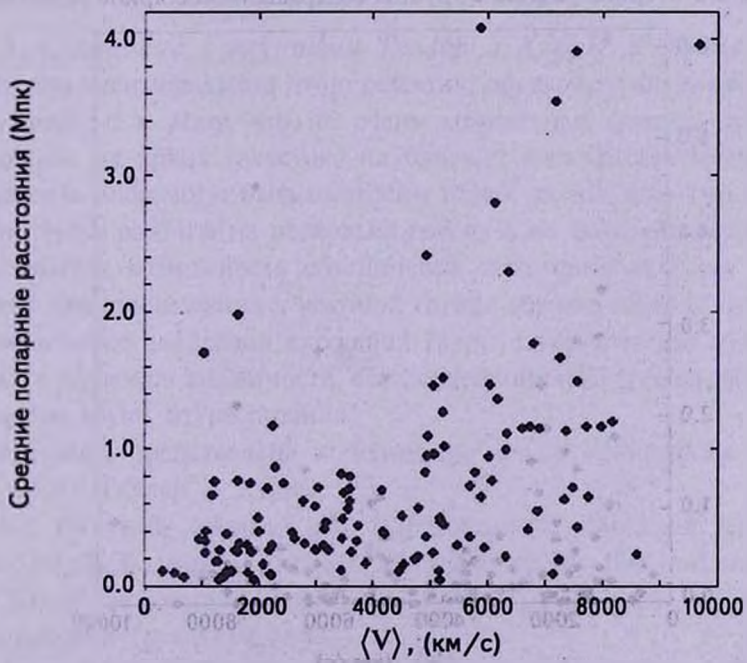

Рис.2. Зависимость среднего попарного расстояния между членами групп от их средних лучевых скоростей (при $n \geq 3$).

где V_i - лучевая скорость i-го члена данной группы, n - число членов в этой группе, $\langle V \rangle$ - средняя лучевая скорость группы.

Как видно из этого рисунка, заметной связи между ними не наблюдается (коэффициент корреляции, $\rho = 0.11 \pm 0.09$). Это также указывает на правильность предположения, сделанного нами в [1], о независимости дисперсии скоростей галактик от их масс внутри групп.

На рис.2 представлены средние попарные расстояния в проекции на небесную сферу, $\langle R_p \rangle$, между галактиками групп в зависимости от средней лучевой скорости групп галактик с тремя и более членами.

$$R_p = \frac{2\sum_{j>i}^{n}\sum_{i=1}^{n-1} r_{i,j}}{n(n-1)}, \qquad (4)$$

где $r_{i,j} = 2\langle V_c \rangle / H \cdot \sin(\theta_{i,j}/2)$, а $\theta_{i,j}$ - угловое расстояние между i-м и j-м членами группы.

Из этого рисунка видно, что между рассматриваемыми величинами имеется определенная связь (коэффициент корреляции $\rho = 0.48 \pm 0.07$), которую можно объяснить эффектами наблюдательной селекциии следующим образом. Согласно критерию (1) (см. [3]), во-первых, галактики с малыми абсолютными светимостями могут составлять только тесные группы (мы считаем это естественным и, возможно, хорошо совпадающим с реальным миром галактик), которые в среднем наблюдаются на близких расстояниях. Во-вторых, широкие группы содержат в себе яркие галактики,

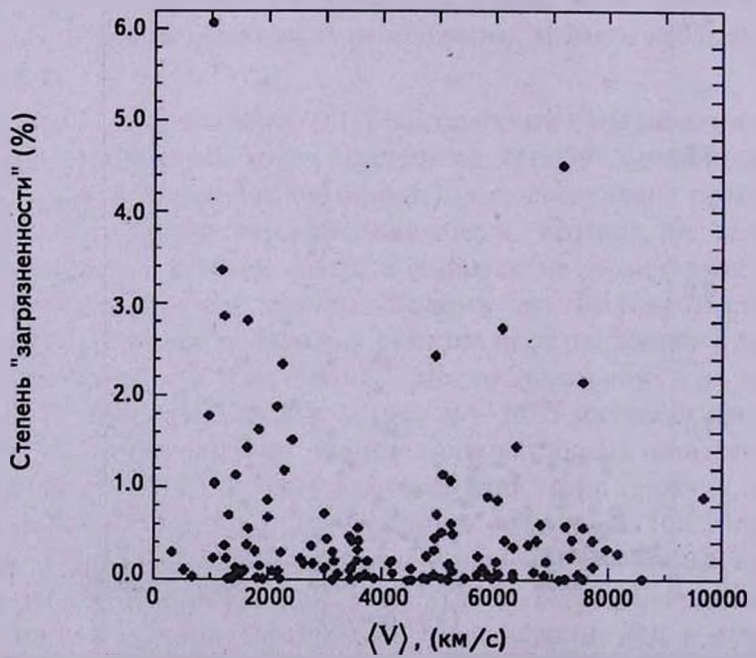

Рис.3. Зависимость степени "загрязненности" групп (см. текст) от средней лучевой скорости их членов (при $n \geq 3$).

поэтому они войдут в выборку, будучи как на близких, так и на далеких расстояниях. С другой стороны, число групп должно расти пропорционально кубу расстояния, поэтому, естественно, относительное число вошедших в выборку широких систем должно расти с расстоянием. Усилению рассматриваемой связи может способствовать возможная ошибка в определении морфологических типов галактик. Для слабых галактик, которые в среднем находятся далеко, есть некая вероятность ошибочно принять спиральные галактики за эллиптические.

На рис.3 приведена зависимость степени "загрязненности", ν_c^i (см. [4]), от средней величины лучевых скоростей групп при $n \geq 3$,

$$\nu_c^i = \frac{n(V_{\min}, V_{\max})\Omega_i}{n\Omega_0} \cdot 100\%, \qquad (5)$$

где Ω_i - телесный угол, занимаемый группой

$$\Omega_i = 2\pi\left(1 - \cos\left(\arcsin\frac{R_p H}{\langle V\rangle}\right)\right), \qquad (6)$$

Ω_0 - телесный угол, занимаемый выборкой. $n(V_{\min}, V_{\max})$ - число "одиночных" галактик, лучевые скорости которых заключены между минимальной - V_{min}, и максимальной - V_{max}, лучевыми скоростями членов группы.

Из рисунка видно, что заметной связи между рассматриваемыми величинами не наблюдается.

3. *Сравнение с группами Геллер и Хукры.* В [1] показано, что критерии идентификации групп галактик, предложенные Хукрой и Геллер [2], приведут к тому, что не очень компактные группы, состоящие в основном из ярких галактик, на близких расстояниях могут быть не выявлены, либо могут быть выявлены не все члены, или группы искусственно будут разбиты на несколько групп. А на больших расстояниях не исключается возможность объединения некоторых галактик в ложную группу или причисления к искомой группе ложных членов. Это приведет к увеличению дисперсии скоростей групп с увеличением расстояния, а также к усилению зависимости, обусловленной наблюдательной селекцией, размеров групп от расстояния.

На рис.4 представлена зависимость между величинами σ_V и $\langle V\rangle$ для групп Геллер и Хукры.

Из рисунка видно, что наблюдается заметная корреляция ($\rho = 0.50 \pm 0.06$) между этими величинами. Как отмечено выше, у нас же между величинами σ_V и $\langle V\rangle$ (рис.1) заметной корреляции не наблюдается ($\rho = 0.11 \pm 0.09$).

Выше отмечено также, что для наших групп наблюдается корреляция между величинами R_p и $\langle V\rangle$ (рис.2), обусловленная наблюдательной

селекцией, заключающейся в том, что более слабые по абсолютной светимости галактики в среднем видны на более близких расстояниях.

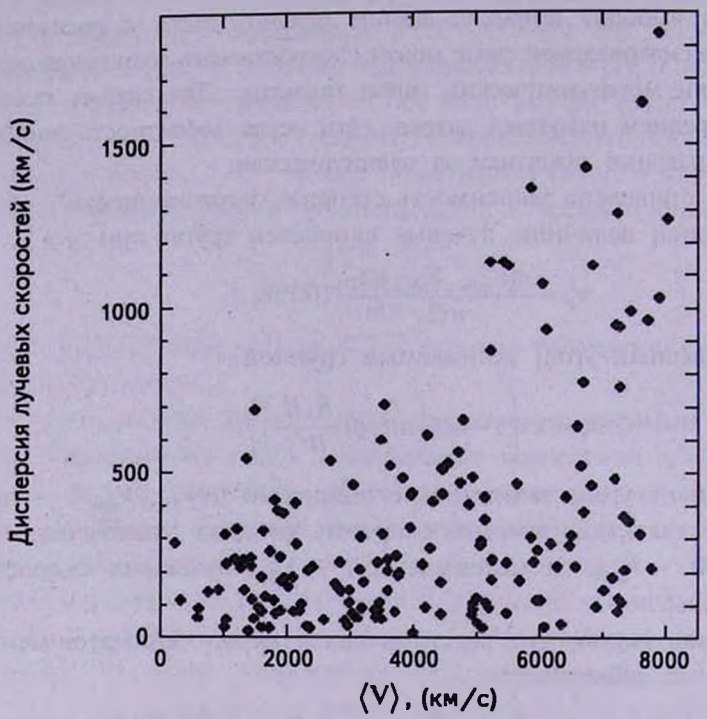

Рис.4. Зависимость дисперсии лучевых скоростей галактик групп Геллер и Хукры от их средних лучевых скоростей.

При использовании же критериев [2] следует учесть два эффекта, которые могут исказить данную зависимость:

1) Как слабые, так и яркие галактики с одинаковым успехом могут образовывать широкие группы, что приведет к изменению отношения числа широких групп к тесным на близких расстояниях. 2) С увеличением расстояния, искусственно увеличиваются размеры групп (как в проекции на небесную сферу, так и по глубине). Первый эффект может несколько уменьшить ожидаемую связь между R_p и $\langle V \rangle$, а второй - усилить. Но, поскольку галактики малых светимостей видны только в близком малом объеме, то второй эффект окажет более сильное влияние на эту зависимость. В конечном счете коэффициент корреляции между величинами R_p и $\langle V \rangle$ оказывается больше для групп Геллер и Хукры [6] ($\rho = 0.55 \pm 0.05$), чем для наших групп [4]. Зависимость между величинами R_p и $\langle V \rangle$ для групп [6] приведена на рис.5. Величины R_p вычислены по формуле (2) (при вычислении величин R_p и R_H в [6] допущена ошибка).

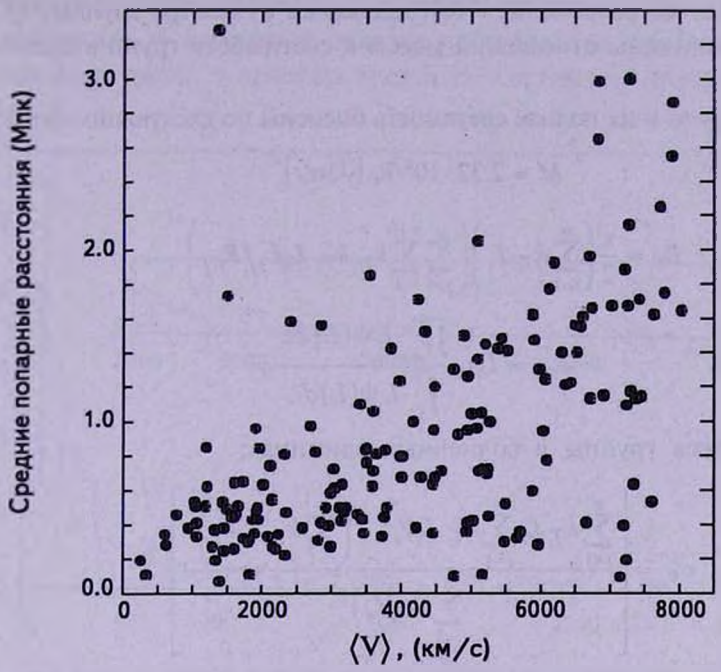

Рис.5. Зависимость среднего расстояния между членами групп Геллер и Хукры от их средних лучевых скоростей.

В табл.1 сравниваются средние и медианные величины некоторых основных характеристик групп Геллер и Хукры с аналогичными величинами наших групп.

Таблица 1

СРЕДНИЕ И МЕДИАННЫЕ ВЕЛИЧИНЫ НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУПП ГЕЛЛЕР И ХУКРЫ И НАШИХ ГРУПП

Группы	$\langle\sigma_V\rangle$ $\langle\sigma_V\rangle_{med}$	$\langle R_p\rangle$ $\langle R_p\rangle_{med}$	$\langle R_m\rangle$ $\langle R_m\rangle_{med}$	$\langle f/f_\odot\rangle$ $\langle f/f_\odot\rangle_{med}$
Геллер и Хукра	352±24 227	0.88±0.04 0.67	0.57±0.03 0.42	1257±174 196
Наши группы	155±8 139	0.71±0.07 0.46	0.45±0.06 0.30	119±14 66

Здесь σ_V определяется формулой (3), R_p - формулой (4). Средняя величина проекции на небесную сферу расстояний галактик от геометрического центра группы.

$$R_m = \frac{2}{n}\frac{\langle V\rangle}{H}\sum_{i=1}^{n}\sin(\vartheta_{ic}/2), \qquad (7)$$

где ϑ_{ic} - угловое расстояние i-той галактики от центра группы; $\langle f/f_\odot \rangle$ - средние величины отношений массы к светимости групп в солнечных единицах.

Масса групп и их полная светимость оценены по следующим формулам:

$$M = 2.32 \cdot 10^8 \, R_V \left(\sqrt{3}\sigma'_V\right)^2 \tag{8}$$

$$R_V = \frac{\pi}{2}\left(\sum_{i=1}^{n} k_{T_i} L_i\right)\left(\sum_{j>i}^{n}\sum_{i=1}^{n-1} k_{T_i} k_{T_j} L_i L_j / R_{i,j}\right)^{-1}. \tag{9}$$

$$L_{tot} = L_{obs} \frac{\int_{L_{min}}^{\infty} L\Phi(L)dL}{\int_{L_c}^{\infty} L\Phi(L)dL}, \tag{10}$$

где M - масса группы в солнечных единицах;

$$\sigma'_V = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} k_{T_i} L_i \sum_{i=1}^{n} k_{T_i} L_i V_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n} k_{T_i} L_i V_i\right)^2}{\sum_{i=1}^{n} \left(k_{T_i} L_i\right)^2}\right]^{1/2} \tag{11}$$

- взвешенная по массам дисперсия лучевых скоростей галактик группы. k_{T_i} и k_{T_j} - коэффициенты, которые, учитывая слабую зависимость отношений массы к светимости от морфологического типа (см. [1]), для эллиптических и линзовидных галактик принято 2, а для спиральных, иррегулярных, пекулярных и прочих морфологических типов принято 1. R_V - вириальный радиус группы. L_{tot} - полная светимость группы, L_{obs} - суммарная светимость галактик с видимыми звездными величинами $m \le 14^m.5$. $\Phi(L)$ - составная функции светимости галактик групп, имеющих, по крайней мере, три члена. L_c - светимость самой слабой галактики ($m = 14^m.5$), которая еще включена в выборку, на расстоянии данной группы. Светимости галактик определены по формуле:

$$L = 156.4 \cdot 10^{-0.4m}. \tag{12}$$

Как видно из табл.1, для наших групп средняя величина дисперсий лучевых скоростей галактик более чем в два раза меньше, чем для групп Геллер и Хукры, а отношение массы к светимости групп у нас в среднем меньше на порядок. На рис.6 сравниваются гистограммы распределения величин $f/f_\odot$ ($f = M/L$) для наших групп (пунктир) и для групп Геллер и Хукры. У гистограммы для групп Геллер и Хукры наблюдается чрезвычайно длинный хвост, доходящий до $f/f_\odot = 20000$. У нас же $f/f_\odot$ достигает 1000. Заметим, что в пределах до $f/f_\odot = 1000$ у Геллер и Хукры имеется 136 групп, что практически совпадает с числом наших групп (130). Этот факт позволяет нам сделать вывод,

что группы Геллер и Хукры с $f/f_\odot > 1000$ вероятнее всего нереальны. Таким образом, в изученной области пространства имеется примерно 130 реальных групп, у которых третья по светимости галактика имеет $m \le 14^m.5$.

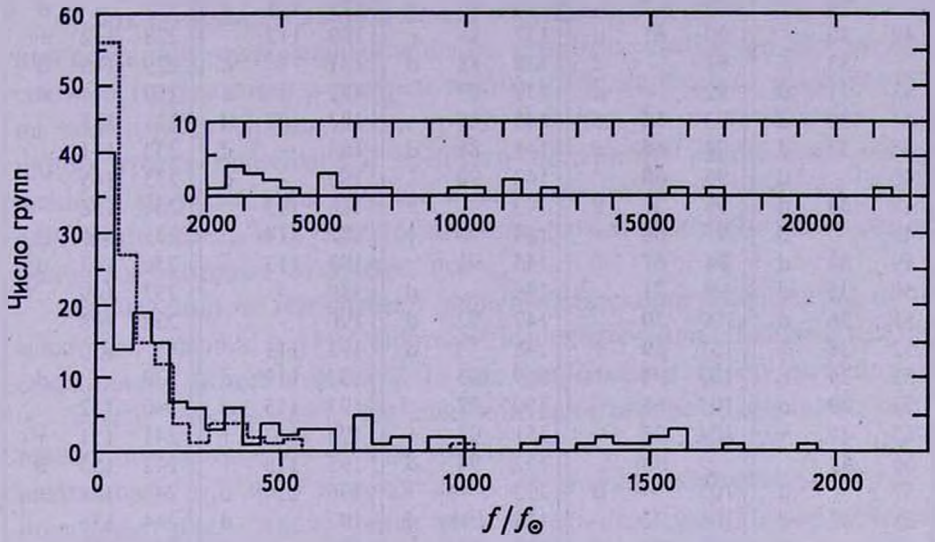

Рис.6. Гистограмма распределения отношений массы к светимости для наших групп (пунктир) и для групп Геллер и Хукры.

В табл.2 сопоставлены номера групп из нашего списка [4](первый столбец) и номера групп из списка Геллер и Хукры [6]. Рядом стоят те номера групп из этих списков, которые имеют хотя бы один общий член. Символом "*d*" отмечены группы, имеющие только два члена с $m \le 14^m.5$ (напомним, что в [6] такие группы не приводятся). Крестики

Таблица 2

СОПОСТАВЛЕНИЕ НОМЕРОВ ГРУПП ИЗ НАШЕГО СПИСКА (ТАБЛ.1 [4]) И НОМЕРОВ ГРУПП ИЗ СПИСКА ГЕЛЛЕР И ХУКРЫ. РЯДОМ СТОЯТ ТЕ НОМЕРА ГРУПП ИЗ ЭТИХ СПИСКОВ, КОТОРЫЕ ИМЕЮТ ХОТЯ БЫ ОДИН ОБЩИЙ ЧЛЕН

No.	ГХ		No.	ГХ		No.	ГХ		No.	ГХ		No.	ГХ	
1			2			3			4			5		
1	-	d	9	-	d	17	14	d	24	17		32	-	d
2	2		10	7	d	18	12		25	19		33	24	
3	2	d	11	7	d		13		26	22	d	34	24	d
4	3	d	12	8		19	14	d	27	18	+	35	25	d
5	2	d	13	-	d	20	-	d	28	19		36	26	
6	4	d	14	9		21	15		29	20	+	37	-	d
7	5	d	15	10		22	17	d	30	21	+	38	30	d
8	6		16	11		23	16	d	31	23	+	39	29	

Таблица 2 (продолжение)

1			2			3			4			5		
40	29	d	87	60	+	134	94		177	94		225	-	d
41	28		88	63	d	135	-	d	178	107	d	226	139	+
	29		89	62		136	86	d	179	111	d	227	-	d
42	30		90	61	d	137	88		180	112		228	142	+
	33		91	-	d	138	88	d	181	-	d	229	145	d
43	31	d	92	-	d	139	87		182	-	d	230	-	d
44	30	d	93	65	d	140	89		183	107	d	231	135	
45	34	d	94	65	d	141	88	d	184	-	d	232	141	
46	-	d	95	68		142	90		185	-	d	233	145	
47	34	d	96	-	d	143	-	d	186	113		234	138	
48	-	d	97	66	+	144	90		187	114		235	146	d
49	34	d	98	67		145	91		188	113		236	147	d
50	35	d	99	71		146	-	d	189	-		237	149	
51	36	d	100	70		147	92	d	190	-		238	148	
52	38	+	101	69	+	148	-	d	191	115			150	
53	39	d	102	94		149	93		192	119	d	239	-	d
54	39	d	103	68		150	92		193	115	d	240	152	
55	40	+	104	22		151	95	+	194	117	+	241	151	+
56	41			106		152	94	d	195	118	+	242	153	d
57	-	d	105	-	d	153	-		196	119	d	243	154	+
58	42	d	106	72		154	101	d	197	-	d	244	156	
59	-	d	107	68	d	155	98		198	-	d	245	155	+
60	43		108	73		156	98		199	-	d	246	157	+
61	45	d	109	68	d	157	94		200	122	d	247	158	+
62	44	d	110	71	d	158	99		201	119	d	248	-	d
63	46	d	111	74	d	159	99	d	202	-		249	159	d
64	47		112	-	d	160	94	d	203	121	+	250	160	
65	-	d	113	73	d	161	94	d	204	-	d	251	-	
66	-	d	114	-	d	162	101		205	-	d	252	-	d
67	47		115	77		163	94		206	123		253	163	
68	-	d	116	-	d	164	-	d	207	125	d	254	165	
69	-	d	117	78		165	-	d	208	122		255	-	d
70	48	d	118	94		166	99		209	124		256	164	d
71	48	d	119	76		167	94	d	210	126	+	257	165	
72	50	d	120	-		168	107		211	125		258	166	
73	50	d	121	-	d	169	106	d	212	127		259	168	
74	49	+	122	82	d	170	94		213	129	d	260	-	d
75	-	d	123	79			115		214	130	d	261	173	d
76	51	d		84			116		215	135	d	262	172	d
77	-	d	124	77			128		216	130		263	-	d
78	53	d	125	94		171	-	d	217	131	+	264	-	d
79	-	d	126	94	d	172	105	d	218	132		265	173	
80	52	+	127	-	d	173	94		219	135	d	266	-	d
81	-	d	128	80	d	174	97		220	133	d	267	174	+
82	57	+	129	83	+		100		221	130		268	173	
83	58		130	82			106			137		269	-	d
84	59	+	131	94	d		110		222	-	d	270	-	d
85	94	d	132	85	+	175	108	+	223	136		271	176	+
86	58		133	99		176	109	+	224	141				

у номеров групп Геллер и Хукры означают, что они по составу точно совпадают с нашими группами. Из этой таблицы видно, что многие группы Геллер и Хукры у нас или разделяются на несколько групп, или вообще не выявляются (на уровне 3 членов).

4. *Заключение.* В данной статье обсуждается влияние наблюдательной селекции, заключающейся в том, что более слабые по абсолютной светимости галактики в среднем видны на более близких расстояниях, на зависимость характеристик групп галактик от их расстояний. Для наших групп зависимость среднего попарного расстояния между членами от расстояния группы имеет именно такой характер. А вот для групп Геллер и Хукры [6] аналогичная зависимость искажена по причинам, которые отмечены выше.

Наблюдения не показывают зависимость скоростей галактик от их масс (см. ссылки в [1]). Поэтому вышеотмеченная наблюдательная селекция не может повлиять на ход зависимости между величинами σ_V и $\langle V \rangle$. Это означает, что если критерии отбора групп галактик не вводят искусственной связи между этими величинами, то между величинами σ_V и $\langle V \rangle$ такая связь не должна наблюдаться. Это и показывает рис.1. Аналогичная зависимость для групп Геллер и Хукры показывает сильную связь.

Для наших групп средняя величина дисперсии лучевых скоростей галактик более чем в два раза меньше, чем для групп Геллер и Хукры, а отношение массы к светимости групп у нас в среднем меньше на порядок.

Сравнение распределений отношений массы к светимости для наших групп и для групп Геллер и Хукры показывает, что для групп Геллер и Хукры наблюдается чрезвычайно длинный хвост этого распределения, доходящий до $f/f_\odot = 20000$. У нас же $f/f_\odot$ достигает 1000. В пределах до $f/f_\odot = 1000$ у Геллер и Хукры имеется 136 групп, что практически совпадает с числом наших групп (130). Этот факт позволяет нам сделать вывод, что группы Геллер и Хукры с $f/f_\odot > 1000$, вероятнее всего, нереальны.

Данная работа поддержана грантом ANSEF No 05-PS-astroex-0822-292.

Бюраканская астрофизическая обсерватория им. В.А.Амбарцумяна, Армения, e-mail: amahtes@bao.sci.am

GROUPS OF GALAXIES. IV. THE INFLUENCES OF OBSERVATIONAL SELECTION ON THE DEPENDENCE BETWEEN CHARACTERISTICS AND DISTANCE OF GROUPS AND COMPARISON WITH GROUPS OF GELLER AND HUCHRA

A.P.MAHTESSIAN

In this article the influence of observational selection on the dependences of characteristics of groups of galaxies from their distances is discussed. For our groups the dependence of average paired distance between members on distance of group has such character. For the groups of Geller and Huchra the similar dependences are distorted by the influence of applied criterions of selection of groups of galaxies. For our groups the average value of velocity dispersion of galaxies more than twice is less, than for groups Geller and Huchra, and the mass to luminosity ratio of our groups in average is less on the order. Groups of Geller and Huchra with the mass to luminosity ratio more than 1000, most likely, are unreal.

Key words: *galaxies - groups of galaxies - identification methods*

ЛИТЕРАТУРА

1. *А.П.Магтесян*, Астрофизика, **28**, 257, 1988.
2. *J.P.Huchra, M.J.Geller*, Astrophys. J., **257**, 423, 1982.
3. *А.П.Магтесян*, Астрофизика, **40**, 45, 1997.
4. *А.П.Магтесян*, Астрофизика, **41**, 473, 1998.
5. *J.Huchra, M.Davis, D.Latham, J.Tonry*, Astrophys. J. Suppl. Ser., **52**, 89, 1983.
6. *M.J.Geller, J.P.Huchra*, Astrophys. J. Suppl. Ser., **52**, 61, 1983.