

УДК 524.7.77.4

ЛУЧЕВЫЕ СКОРОСТИ ГАЛАКТИК В ОКРЕСТНОСТЯХ
ГРУПП ГАЛАКТИК. I

Я. ВЕННИК, А. КААЗИК

Поступила 12 февраля 1982

Принята к печати 27 июля 1982

Приведены новые определения лучевых скоростей для 62 галактик, находящихся в окрестностях групп галактик. Среднеквадратическая ошибка скоростей около 80 км/с при дисперсии спектров 200 Å/мм. Рассмотрена возможная принадлежность наблюдавшихся галактик к системам разного типа.

1. *Введение.* В состав систем галактик, выделенных лишь на основе более высокой поверхностной плотности числа галактик, часто попадают ч галактики фона. Особенно чувствительны к таким искажениям рассеянные группы галактик с малым числом членов. Это убедительно показано, в частности, Киршнером [1] при анализе групп галактик из списка Готта и Тэрнера [2]. Для более надежного определения состава систем галактик требуется знание лучевых скоростей галактик. В списке гипергалактик [3] также имеется ряд сомнительных членов, лучевые скорости которых ко времени составления списка не были измерены. Целью настоящей работы является уточнение состава прежде всего некоторых гипергалактик, а также и других выделяющихся групп галактик путем измерения новых лучевых скоростей. Новые скорости могут быть использованы в дальнейшем и для исследования динамики этих систем.

2. *Наблюдения и результаты.* Спектральные наблюдения проводились на 1.5-м телескопе ($D/F = 1:16$) Тартуской астрофизической обсерватории в течение 33 ночей с марта 1977 г. по апрель 1979 г. При наблюдениях использовались спектрограф UAGS и светоприемная аппаратура телевизионного типа — ОМА. Аппаратура и методика спектральных наблюдений подробно описаны в статье [4]. Там же изложена методика измерения относительных лучевых скоростей галактик путем корреляционного анализа исследуемого и эталонного спектров.

Ниже описываются результаты измерения лучевых скоростей 62 галактик. В табл. 1 приведены следующие данные:

1. Номер галактики по NGC (N), IC (I) [5], UGC (U) [6] или МКГ [7].

2. Число использованных спектров и их дисперсия, указанная буквой (а — 200 А/мм, b — 100 А/мм и с — 120 А/мм).

3. Лучевая скорость галактики, исправленная за движение Солнца и Земли: $\Delta V = 300 \sin l'' \cos b'' + 30 \cos \beta \sin (\lambda_{\odot} - \lambda)$ (км/с).

Скорости, определенные по эмиссионным линиям, отмечены буквой с.

4. Внутренняя ошибка измерения лучевой скорости, вычисленная по нескольким линиям (км/с).

5. Оценка качества спектра в четырехбалльной системе по видимости спектральных линий и по отношению сигнала к шуму (5—хороший спектр с несколькими глубокими линиями и с низким уровнем шума; 2—в спектре преобладает шум, линии слабы, плохо видны).

6. Использованные при вычислении скоростей спектральные линии (длины волн в А или общепринятые обозначения) и более широкие участки спектра. Последние обозначены буквами нижеследующим образом:

V— $\lambda\lambda$ 4060—4340 А

W— „ 4360—4800 „

X— „ 4800—5100 „

Y— „ 5100—5420 „

Z— „ 5580—5870 „

Двоеточием отмечены слабые линии или те участки спектра, лучевые скорости по которым определяются неуверенно. Глубокие линии поглощения выделены жирным шрифтом.

7. Лучевые скорости по определениям других авторов (км/с).

8. Принадлежность объекта к системе галактик. Для групп галактик указана наиболее яркая галактика в группе и номер системы по списку гипергалактик (Г) [3].

3. *Ошибки лучевых скоростей.* Лучевая скорость галактики определена как среднее взвешенное скоростей, найденных путем корреляционного анализа по отдельным линиям или более широким участкам спектра [4]. По дисперсии скоростей, измеренных по разным спектральным признакам, определяется внутренняя ошибка лучевой скорости, которая приведена в табл. 1 (столбец 4). Эта внутренняя дисперсия недостаточно хорошо характеризует действительную или внешнюю точность лучевых скоростей. Например, Сэндидж [11] нашел, что внешние ошибки определенных им оптических лучевых скоростей до 2.5 раза больше соответствующих внутренних ошибок. Наиболее достоверную оценку точности наших скоростей можно получить из сравнения их со скоростями, найденными по вы-

Номер	n	V_0	σ_{V_0}		Линии	$(V_0 \pm \sigma)_{др.}$	Отношение к системе
1	2	3	4	5	6	7	8
N 97	1a	4985	37	4	W(4383:), X, Mgb:, 5269:, 5331, Na		Скопление [8]
N 489	2a	2708:	56	3	(K, H):, W:, X:, Mgb, 5269:		Группа N524
N 502	1a	2554	103	2	(K, H):, W, Mgb:, 5269:, 5331, Na:		" "
N 684	1a	3859	97	3	W, H β , 5024:, Mgb, 5269, 5331:		Фон группы N672
N 736	1a	4556	49	4	Mgb, 5269, Na	4542 \pm 40 [5]	Группа N750 (Г6)
5-5-30	1a	4587:	82	3	5269, 5331		" " "
U 1422	2a	4974:	128	2	4383:, H β , 5024:, 5103:, Mgb, 5331:		" " "
N 855	1a	749 _e	67	5	G, H β (e), N1, N2		Вблизи группы N672
N 940	1a	5235	90	3	W, X, Y, Na		Скопление [8]
N 968	2a	3823	48	4	K:, W (4383), X (H β), Mgb, Na		Фон группы N1023 (Г8)
N 1032	1a	2675	69	4	W:, X:, Mgb, Na		Фон группы N1068 (Г9)
U 3642	1a	4526	76	4	W, X, Mgb, 5269, Na	4624 \pm 10 [9]	Группа или двойная гал.
U 3660	1a	4407	98	4	W:, H β , Mgb, 5269, 5331, Na		" " " "
I 469	2a	2272	93	3	W, H β :, Y (5269, 5331, 5401:)		Группа N2300 (Г10)
U 4393	2a	2190 _e	49	3	N1:, N2, Y, Na:	2154 \pm 10 [10]	Фон группы N2541 (Г11)
N 2681	1c	769	16	5	H β , Mgb, 5269, 5331, 5401, Na:	760 \pm 27 [5]	Группа N2841 (Г15)
N 2756	1c	4082	36	4	H β :, Mgb, 5269, 5331, Na		Фон группы N2841 (Г15)
N 2916	1a	3642	92	4	W:, H β , Mgb, 5331:		Фон группы N2903 (Г17)
N 3156	1a	929	127	3	W:, H β , 5269	994 \pm 85 [11]	Группа N3166 (Г21)
N 3265	1a	1353 _e	10:	3	H β (e), N2:, 5269:, 5331:		Группа N3245 (Г23)
N 3380	1a	1563 _e	37	4	W, H β :, N1, N2, Y		Группа N3414 (Г25)
N 3400	1a	1314	39	4	W, H β , Mgb, 5269:, 5331, 5401:, Na		" " "
N 3414	2ab	1467	20	4	X, Mgb, 5269, 5331, 5401:, Na	1395 \pm 100 [5]	" " "

1	2	3	4	5	6
N 3413	1a	625 ^e	72	4	H _β (e), N1, N2, 5269:
N 3583	1c	2184	23	5	X, Mgb, 5269, 5331, Na
N 35 ⁹⁸	1b	5918	90	4	H _β , Mgb, 5269, 5331
N 3599	3ab	688	33	4	G, H _β , Mgb, 5269, 5331, 5401, Na
N 3605	1a	531:	120	2	W, X, Mgb:, 5269:, 5401, Na
N 3607	1b	863	36	4	H _β , Mgb, 5269:, 5401, Na
N 3608	1b	1132	22	5	X, Mgb, 5269, 5331, 5401, Na
N 3626	2a	1337	42	3	W, X (H _β), Y (5269:), Na
U 6374	1a	5384 ^e	—	2	4383:, H _β (e):, Mgb:, 5269:
U 6732	1c	2396	67	4	H _β , Y (Mgb:, 5269:), Na
N 3931	1a	1085	80	3	W, H _β , 5024:, 5401, Na
N 3982	1a	1201 ^e	114	4	W:, N1, N2, Mgb:, 5269, 5331
N 4005	1a	447 ⁹	99	4	W, H _β , 5024:, Mgb, 5269, 5331:
N 4015	1a	4173	22	4	X (H _β), Mgb:, 5269, 5331:, Na
N 4022	1a	4162	51	4	H _β , Mgb, 5269, 5331, Na
N 4023	2a	4760:	253	2	4225:, 4383:, H _β , Y:
N 4047	2ac	3472	30	4	H _β , Mgb, 5269:, 5331, Na
N 4253	1a	3690 ^e	40	5	W, H _β (e), N1, N2, Y, Na:
U 7767	2a	1327	56	4	W, H _β , 5024, Mgb:, 5269, 5331, Na
I 3582	1c	6928	89	4	H _β , Mgb:, 5269:
N 4627	1b	831:	—	2	(H _β , 5269):
N 4648	1a	1625	56	4	4226, G, W, X (H _β), Y (Mgb:), Na
N 5313	2a	2700	108	3	H _β , 5024:, Mgb:, 5269, 5331, Na:

Таблица 1 (продолжение)

7	8
2188 \pm 25 [10]	Перед группой N 3430 (Г26) Облако гал-к в Б. Медв. Фон группы N 3607 (Г29) Группа N 3607 (Г29)
601 \pm 65 [5]	" " "
841 \pm 35 [5]	" " "
1118 \pm 50 [5]	" " "
1363 \pm 100 [5]	" " "
3206 \pm 266 [5]	Фон группы N 3607 (Г29) Облако гал-к в Б. Медв.
952 \pm 49 [12]	Группа N 3992 (Г35)
1208 \pm 15 [10]	Группа N 3998 (Г37)
4332 \pm 100 [15]	Группа N 4005 (Г38)
	" " "
	" " "
	" " "
3426 \pm 53 [11]	Облако гал-к в Б. Медв.
3868 \pm 71 [13]	Фон группы N 4278 (Г40)
	Группа N 4589 (Г42)
7109 \pm 71 [14]	Скопление [8]
745 \pm 71 [13]	Группа N 4631 (Г43)
1612 \pm 48 [12]	Группа N 4589 (Г42)
2627 \pm 25 [9]	Вблизи группы N 5371 (Г48)

Таблица 1 (окончание)

1	2	3	4	5	6	7	8
N 5326	1a	2576	26	4	H β ., Mgb, 5269, Na	2643 \pm 85 [11]	Вблизи группы N5371 (Г48)
N 5342	2a	2379	58	4	(K, H), V, W, H β , Mgb, 5269, Na		Группа N 5322
N 5337	2a	2319	58	3	X, Y (Mgb.: 5331, 5401), Na:		Вблизи группы N 5371 (Г48)
N 5354	2a	2574	30	5	(K, H), V, W, H β , Mgb, 5269, 5331, Na	2507 \pm 50 [1]	Группа N 5371 (Г48)
N 5370	2a	3210	62	3	H β ., Mgb, 5269, 5331:		Вблизи группы N 5322
N 5376	1c	2256	58	3	X, Mgb.: 5269, Na	2237 \pm 64 [1]	Группа N 5322
N 5389	1c	2006	23	5	H β ., Mgb, 5269, 5331, 5401.: Na:	1996 \pm 56 [1]	" "
N 5422	2ab	1932	65	4	G, W (4383), H β ., Mgb, 5269, Na	1914 \pm 49 [12]	Группа N 5485 (Г50)
N 5430	2ac	3131	47	4	(K, H), W, H β (e), Mgb, 5269, Na, 6025	3277 \pm 74 [1]	Вблизи группы N 5322
N 5443	2ab	2072	54	4	X (H β), Y (Mgb, 5269, 5331), Na		Группа N 5485 (Г50)
N 5444	1c	3949	32	4	X (H β), Mgb, 5269, 5331, Z, Na:	4034 \pm 44 [5]	Группа N 5444
N 5475	1a	1872	103	3	H.: V, W, H β , 5269, 5331, 5401.: Na		Группа N 5485 (Г50)
N 7217	1a	1159	38	5	W, X (H β , 5024:), Mgb, 5269, 5401, Na	1227 \pm 16 [5]	Изолированная гал-ка
N 7242	1a	6169	95	4	v (G:), W, X, Mgb, 5269, 5856.: Na	5972 \pm 100 [5]	Группа N 7242
N 7331	2a	1077	39	4	G, W, X (H β), Mgb, 5269, 5401, Na	1099 \pm 10 [10]	Группа N 7331
N 7454	2a	2186	46	4	V, W, X (H β), Y (Mgb, 5269), 5591, Na		Группа N 7448 (Г59)

Примечания к таблице 1

- N 489 — Слабые линии поглощения. Поправка к нульпункту скоростей, найденная по передержанным линиям ночного неба ($\Delta V_{\text{ин}}$), возможно, неточна.
- 5—5—30 — Линии поглощения слабы, идентификация неуверенна. Видна одна эмиссионная линия. Если это — линия He II (4685), то $V_0 \approx 9570$ км/с.
- U 1422 — В спектре сильные аппаратурные помехи, идентификация линий неуверенна.
- N 855 — Сильные эмиссионные линии H β , N1, N2.
- U 3660 — Очень широкая линия Mgb, узкая — 5269. Скорость по линии NaD $V_0 = 4028$ км/с.
- I 469 — Спектр искажен аппаратурными помехами, идентификация линий неуверенна.
- U 4393 — Слабая эмиссия N 1.; N 2. По спектру поглощения $V_0 = 2342$ км/с.
- N 3156 — Большая дисперсия в скоростях: по линии H β $V_0 = 673$ км/с, по линии 5269 — $V_0 = 1164$ км/с. Неизвестные эмиссии у ~ 4800 А и ~ 4500 А.
- N 3265 — Слабая эмиссия. Поправка к нульпункту ($\Delta V_{\text{ин}}$), возможно неточна.
- N 3380 — По спектру поглощения $V_0 = 1626$ км/с.
- N 3413 — Поправка к нульпункту ($\Delta V_{\text{ин}}$), возможно, неточна.
- N 3605 — Спектр галактики искажен полярным сиянием. Большая дисперсия в скоростях, определенных по разным линиям.
- U 6374 — Очень слабая эмиссия в линии H β . Искажения в спектре из-за полярного сияния. Оценка скорости по спектру поглощения $V_0 \approx 4953$ км/с.
- U 6732 — По глубокой линии H β $V_0 \approx 2180$ км/с.
- N 3982 — Сильная эмиссия в линиях N1 и N2.
- N 4023 — В спектре нет подходящих линий. Оценка скорости ориентировочная.
- N 4253 — Очень сильная эмиссия в линиях H β , N1, N2.
- I 3582 — По глубокой линии H β $V_0 = 6698$ км/с.
- N 4627 — Спектр искажен полярным сиянием. Скорость галактики, возможно, неточна.
- N 5430 — Скорость по эмиссионной линии H β $V_0 = 3332$ км/с.
- N 7242 — Большая дисперсия в скоростях, определенных по разным линиям (по линии NaD $V_0 = 5843$ км/с).

сокоточным радионаблюдениям в линии 21 см. Для 11 галактик нашего списка в литературе имеются лучевые скорости, определенные по линии 21 см. Кроме того, мы использовали при анализе ошибок взятые из литературы данные об оптических скоростях для 24 галактик, точность которых по оценкам самих авторов не ниже 50 км/с.

Весь наблюдательный период с 1977 г. по 1979 г. делится на два цикла: зима-весна 1977/78 гг. и 1978/79 гг. Между этими циклами наблюдений проводились ремонт и перенастройка аппаратуры, заменен источник спектра сравнения. Все это могло вызвать некоторые систематические различия в лучевых скоростях, измеренных в разные циклы. Систематические различия могут быть вызваны также и использованием разных эталонных спектров при вычислении корреляционных скоростей. Эталоном служили спектры ярких галактик с низким уровнем шума (M 31, M 81, NGC 3608), линии ночного неба в которых частично или полностью отсутствовали. По этой причине невозможно было ввести поправку за нульпункт в кривую дисперсии эталонных спектров на основе линий ночного неба. Соответствующая поправка может достигать 300 км/с.

Результаты сравнения наших скоростей с определениями других авторов представлены в табл. 2. Анализ проведен отдельно для разных циклов наблюдений и разных эталонных спектров. В табл. 2 включены лишь скорости, измеренные по одному высококачественному спектру (балл не ниже 3) с абсорбционными линиями. В столбцах табл. 2 приведены следующие данные: 1 — период наблюдений, 2 — дисперсия, 3 — используемый эталонный спектр, 4 — число сравниваемых скоростей, в скобках указано число скоростей по наблюдениям в линии 21 см, 5 — разность нульпунктов наших скоростей и скоростей других авторов $\langle V_{\text{ОМА}} - V_{\text{ДР.}} \rangle$, 6 — среднеквадратические ошибки наших скоростей $\sigma_{\text{ОМА}} =$

$$= \left[\frac{\sum_n (V_{\text{ОМА}} - V_{\text{ДР.}})^2}{n - 1} - \langle \sigma_{\text{ДР.}}^2 \rangle \right]^{1/2}.$$

Таблица 2

Период наблюдений	Дисперсия (А/мм)	Эталонный спектр	n/n ₂₁	$\langle V_{\text{ОМА}} - V_{\text{ДР.}} \rangle$ (км/с)	$\sigma_{\text{ОМА}}$ (км/с)
1977 г.	120	M81	7(1)	+10±26	46
1977/78 гг.	100	N 3608	5(-)	- 9±27	51
1977/78 гг.	200	M31	14(4)	+18±24	74
1978 79 гг.	200	M31	9(5)	+51±29	95

Существенный сдвиг нульпункта виден лишь в скоростях, измеренных зимой 1978/79 гг. Вероятно, этот сдвиг обусловлен заменой источника спектра сравнения перед этим циклом наблюдений. В табл. 1 лучевые

скорости этого цикла исправлены за сдвиг нуляпункта. Внешние ошибки, определенные из сравнения со скоростями по линии 21 см, с одной стороны, и с оптическими скоростями, с другой, находятся в хорошем согласии. Средние ошибки наших скоростей, измеренных только по спектрам поглощения с дисперсиями 200 А/мм и 100 А/мм равны, $\sigma_{200} = 80$ км/с и $\sigma_{100} = 50$ км/с, соответственно. Корреляция между внешней ошибкой, с одной стороны, и внутренней ошибкой или оценкой качества спектра, с другой, довольно слабая. Лучевые скорости, определенные по низкокачественным спектрам (балл 2), имеют среднеквадратическую ошибку ~ 100 км/с. Ошибки лучевых скоростей, найденных по эмиссионным линиям, оценивались путем сравнения их с высокоточными скоростями, полученными по линии 21 см для шести галактик. Согласно ожиданиям, узкие эмиссионные линии дают более точные скорости, чем найденные по спектру поглощения — $\sigma_{\text{эм}} = 40$ км/с. При нормальном распределении внешних ошибок ожидается, что ошибки скоростей, определенных по двум спектрам одинакового качества, примерно в $\sqrt{2}$ раза меньше указанных выше. В табл. 1 по двум спектрам определены скорости 20 галактик. В литературе для 8 из них имеются независимые определения скорости с точностью $\sigma_{\text{др}} < 40$ км/с (пять из них измерены в линии 21 см). Оказалось, что по двум спектрам, снятым с дисперсией 200 А/мм, лучевые скорости, полученные, имеют среднюю ошибку $\sigma_{\text{ОМА}} = 48$ км/с, что соответствует ожиданиям.

На рис. 1 представлено суммарное распределение разностей между нашими и взятыми из литературы скоростями.

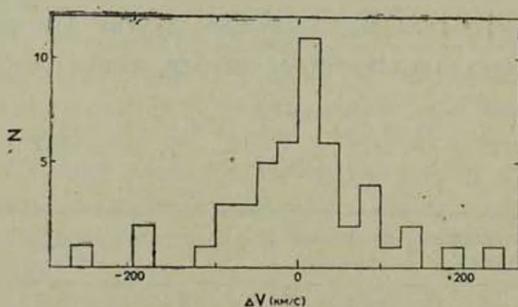


Рис. 1. Распределение разностей между нашими скоростями и определениями других авторов ($\Delta V = V_{\text{ОМА}} - V_{\text{др}}$) для 35 галактик.

4. О составе гипергалактик. Как указывалось выше, объекты для определения лучевых скоростей были выбраны в большинстве случаев из первого списка гипергалактик [3]. Из 62 галактик в табл. 1 34 галактики входят в список гипергалактик, 9 галактик исследовались дополнительно в

окрестностях этих гипергалактик и остальные 19 объектов наблюдались в других группировках галактик. На основе измеренных лучевых скоростей в последнем столбце табл. 1 указано, в какую систему данная галактика может входить. Представляет интерес вопрос о том, насколько удачно составителям списка гипергалактик удалось оценить расстояния галактик, не имеющих измеренных к тому времени лучевых скоростей.

В списке гипергалактик галактики разделены на достоверные и сомнительные (обозначены двоеточием) члены. Из 18 принятых за достоверные члены галактик на основе новых лучевых скоростей правильные оценки расстояния оказались у 15 (83%), а 3 (17%) галактики оказались фоновыми. Из 9 сомнительных членов соответственно 5 (56%) галактик оказались членами, а 4 (44%) фоновыми галактиками. Таким образом, на основе данного ограниченного материала сравнения, можно заключить, что при составлении первого списка гипергалактик расстояния галактик по косвенным критериям (класс светимости, видимые звездные величины и диаметры) оценивались в основном правильно. Большинство галактик, принятых за достоверные члены, принадлежит к соответствующим системам, судя и по лучевым скоростям. Среди сомнительных случаев процент «попадания» около 50. Соответствующий более основательный анализ будет сделан после опубликования всех измеренных нами лучевых скоростей.

5. *Заключение.* Измерение относительных лучевых скоростей галактик методом корреляционного анализа спектров дает довольно уверенные результаты. Наши ошибки скоростей — 80 км/с при дисперсии 200 А/мм и 50 км/с при 100 А/мм находятся в хорошем согласии с оценками других авторов, которые измеряли скорости по спектрам с близкими дисперсиями. Полученные нами лучевые скорости могут быть использованы для выявления состава систем галактик разных типов, а также для определения внутренней дисперсии скоростей в богатых скоплениях галактик. Принято считать, что для изучения динамики в группах галактик ошибки лучевых скоростей должны быть меньше 50 км/с. Наши скорости, измеренные по эмиссионным линиям или по двум качественным абсорбционным спектрам, соответствуют этому требованию. Желаемая точность получается и по спектрам с дисперсией 100 А/мм.

За период наших наблюдений в литературе были опубликованы лучевые скорости многих объектов, входящих в наш список. Точность оптических скоростей, измеренных другими авторами, близка к нашей точности, вследствие чего представленные в настоящей работе новые независимые определения лучевых скоростей могут быть объединены с аналогичными данными других авторов при изучении систем галактик.

RADIAL VELOCITIES OF GALAXIES IN THE VICINITY OF GROUPS OF GALAXIES. I

J. VENNIK, A. KAAZIK

New redshift determinations are presented for 62 galaxies obtained mostly on the basis of absorption line spectra by cross-correlation techniques concerning the velocity standard spectra of M31, M81 and NGC 3608. With respect to published redshifts for 35 galaxies, the new redshifts, obtained at the dispersion of 200 Å/mm, show r. m. s. residuals of about 80 km/s. The possible group or cluster membership is indicated.

ЛИТЕРАТУРА

1. R. P. Kirshner, *Ap. J.*, 212, 319, 1977.
2. E. L. Turner, *J. R. Gott III, Ap. J., Suppl. ser.*, 32, 409, 1976.
3. J. Etnasto, M. Jõeveer, A. Kaasik, P. Kalamees, J. Vennik, *Tartu Astr. Obs. Teated Nr.* 49, 3, 1977.
4. А. Каазик, Публ. Тартуской обс., 50, 1983.
5. G. de Vaucouleurs, A. de Vaucouleurs, H. G. Corwin, Jr., *Second Reference Catalogue of Bright Galaxies*, Univ. of Texas Press, 1976.
6. P. Nilson, *Uppsala General Catalogue of Galaxies*, Uppsala, 1973.
7. Б. А. Воронцов-Вельяминов, А. А. Красногорская, В. П. Архипова, *Морфологический каталог галактик, I—IV*, изд-во МГУ, М., 1962—1968.
8. F. Zwicky, C. T. Kowal, *Catalogue of Galaxies and Clusters of Galaxies, VI*, California Instit. of Techn., 1968.
9. S. D. Peterson, *Ap. J., Suppl. ser.*, 40, 527, 1979.
10. J. R. Fisher, R. B. Tully, *Ap. J., Suppl. ser.* (in press).
11. A. Sandage, *A. J.*, 83, 904, 1978.
12. P. W. Kelton, *A. J.*, 85, 89, 1980.
13. G. Chincartnt, H. J. Rood, *Ap. J.*, 206, 30, 1976.
14. G. Chincartnt, H. J. Rood, *A. J.*, 77, 448, 1972.
15. S. A. Gregory, L. A. Thompson, *Ap. J.*, 222, 784, 1978.