Исследование кривых вращения галактик, видимых с ребра.

Отчет Копосова С. Е. и Аболмасова П. К., студентов астрономического отделения физического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова.

24 июля 2002 г.

1. Введение

Исследовалась выборка из 46 галактик видимых с ребра, спектры которых в красном спектральном диапазоне были получены в разное время на длиннощелевом спектрографе в прямом фокусе БТА. Целью работы являлось проведение первичной редукции спектральных данных, построение кривых вращения галактик, получение фундаментальных соотношений между параметрами галактик выборки, а также изучения влияния эффектов селекции на параметры выборки.

2. Первичная редукция данных

Предоставленные нам данные были необработанными, поэтому, прежде чем приступать к получению кривых вращения, необходимо было проделать ряд дополнительных стандартных действий по первичной редукции спектров:

1. Усреднение медианой всех BIAS-ов, и вычитание среднего BIAS-а из всех кадров.
2. Получение изображения плоского поля (FLAT FIELD) из нескольких изображений сумеречного неба, и деление всех кадров на среднеее плоское поле, а также учет виньетирования.
3. Удаление дефектов ПЗС матрицы и следов космических частиц.
4. Построение дисперсионного соотношения и перевод координат на ПЗС матрице в шкалу длин волн.
5. Построение и вычитание фона и линий неба.

Также можно упомянуть то, что, в процессе редукции, многократно, для уменьшения шумов, устранения разного рода дефектов применялись различные алгоритмы сглаживания и нелинейной фильтрации, детально описывать применение которых не имеет особого смысла. Все

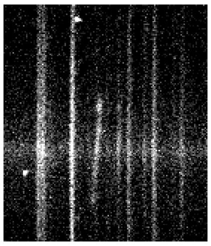


Рис. 1 Необработанный спектр галактики FGC 1289.

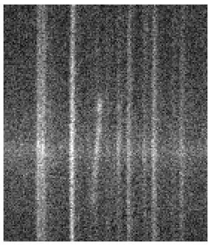


Рис. 2 Спектр галактики FGC 1289 очищенный от космических частиц.

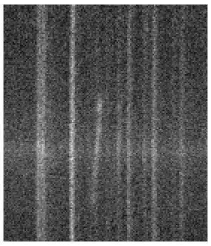


Рис. 3 Спектр галактики FGC 1289 поделенный на плоское поле.

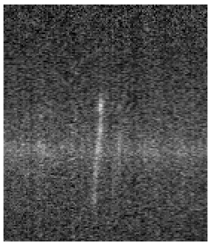
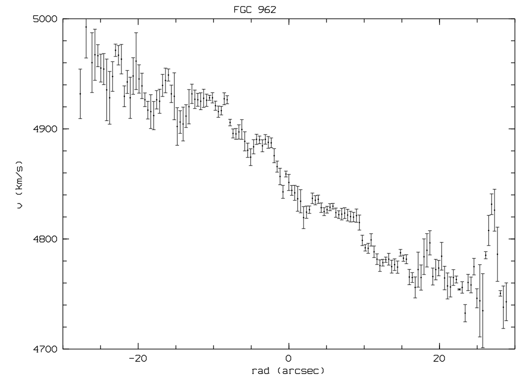


Рис. 4 Спектр галактики FGC 1289 с вычтенным фоном неба, а также вычтенными линиями неба.

эти процедуры выполнялись при помощи стандартной системы обработки астрономических данных - пакета Midas, его стандартных функций, а также контекста LONG. Так как имевшийся у нас в наличии набор изображений содержал около 60 спектров галактик (правда некоторые галактики были сняты дважды), нам пришлось написать самим набор, автоматизирующих процесс редукции, подпрограмм. Процесс редукции, и его влияние на вид спектра после выполнения различных этапов редукции, проиллюстрирован на Рис. 1 - 4

3. Получение кривых вращения и определение некоторых кинематических характеристик галактик

В данной работе ставилась задача, получить кривые вращения галактик видимых с ребра по эмиссионным линиям. В спектрах галактик, уже прошедших первичную редукцию, часто, помимо $H\alpha$, были видны и другие эмиссионные линии (SII, NII), однако интенсивность $H\alpha$ эмиссии, как правило, была в несколько раз больше интенсивности других эмиссионных линий (см. хотя бы Рис. 4, там, справа от $H\alpha$ видна линия NII). В силу этого, (для большей точности) кривые вращения строились по эмиссионной линии $H\alpha$. Сами кривые получались, следующим образом: В каждую строчку спектра (которая, по сути, есть спектр от одной из точек галактики), в окрестности $H\alpha$ эмиссии, вписывалась гауссиана, координаты центра которой, очевидным образом позволяют определить скорость движения данной конкретной точки галактики. Таким образом для каждой точки галактики, дающей измеримую $H\alpha$ эмиссию, определялась скорость движения. Дальше, чтобы получить кривую вращения, необходимо было определить положение центра галактики, что можно сделать на спектре, либо по положению континуума, либо, если континуум слишком слаб и асимметричен, по симметрии кривой вращения. Для нескольких галактик кривые вращения показаны на Рис. 5 - 16. Также, при измерении скорости каждой точки галактики рассчитывалась погрешность определения скорости (см. Рис 5-16) (рассчитывалась она, как погрешность определения параметра при аппроксимации профиля линии гауссианой). И наконец определялась средняя скорость галактики и расстояние до галактики. Для этого рассчитывалось средневзвешенное (погрешность



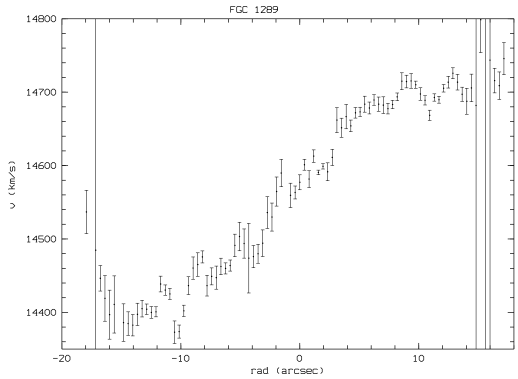
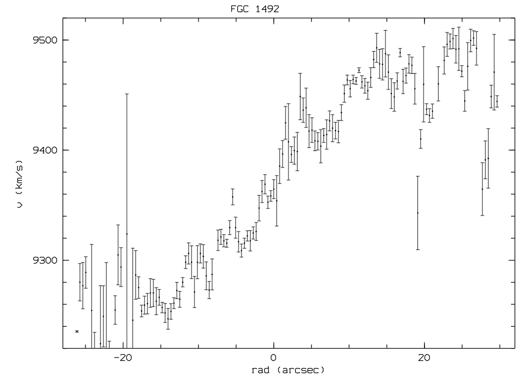


Рис. 5 Кривая вращения галактики FGC 962 Рис. 6 Кривая вращения галактики FGC 1289



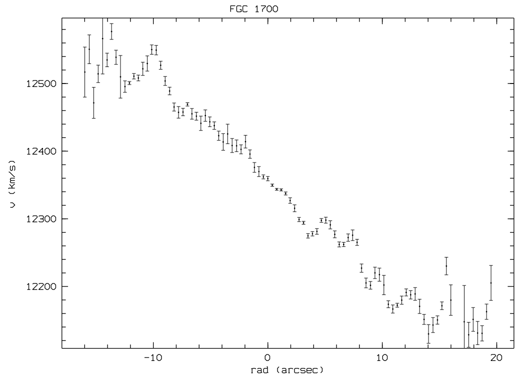


Рис. 7 Кривая вращения галактики FGC 1492 Рис. 8 Кривая вращения галактики FGC 1700

определения скорости каждой точки галактики ведь нам известна) по всей линии значение скорости. Мы понимаем, что данный метод может быть неточным при значительной асимметрии галактики, однако, в остальных случаях, он достаточно точен (по отношению к случайным погрешностям, мы оцениваем его точность где-то в 20 км/с (по измерениям скоростей галактик, спектров которых у нас было несколько)). Расстояние определялось из скорости центра галактики по закону Хаббла (принятое значение $H_0 = 70$км/с/Мпк). Также, по уже полученным кривым вращения, определялись такие параметры как, амплитуда кривой вращения (максимальная наблюдаемая скорость вращения в галактике), линейное расстояние от центра галактики до той точки, где достигается максимум кривой вращения. Эти параметры впоследствии (см. 4.) позвролят нам получить оценку массы галактик выборки. Полученные нами данные по галактикам, (вместе с некоторыми глобальными характеристиками, взятыми из LEDA (Lyon-Meudon Extragalactic Database)) приведены в Таблице 1.

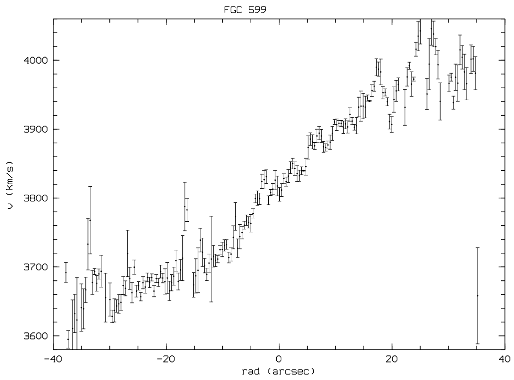


Рис. 9 Кривая вращения галактики FGC 599

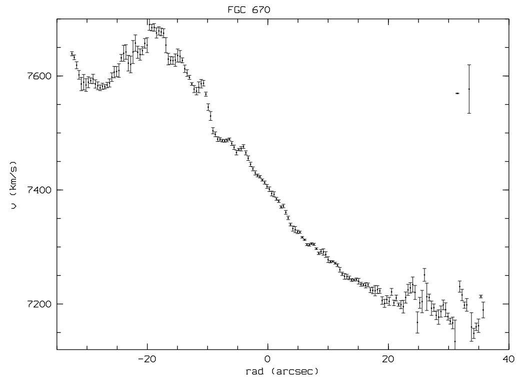


Рис. 10 Кривая вращения галактики FGC 670

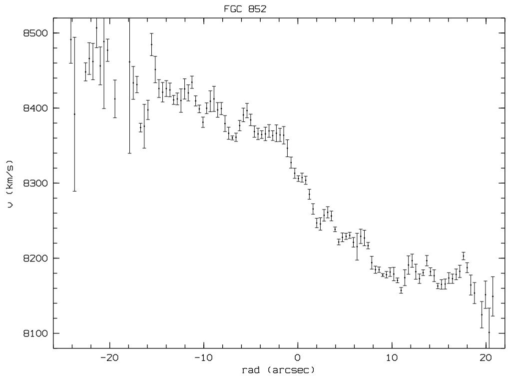


Рис. 11 Кривая вращения галактики FGC 852

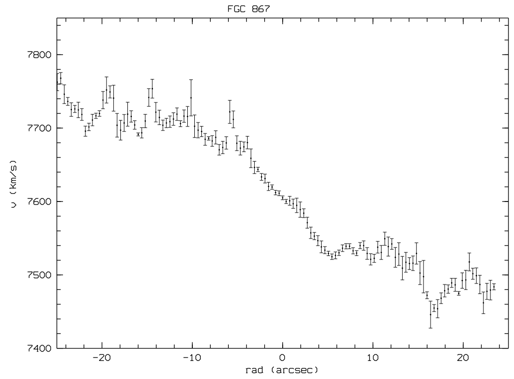


Рис. 12 Кривая вращения галактики FGC 867

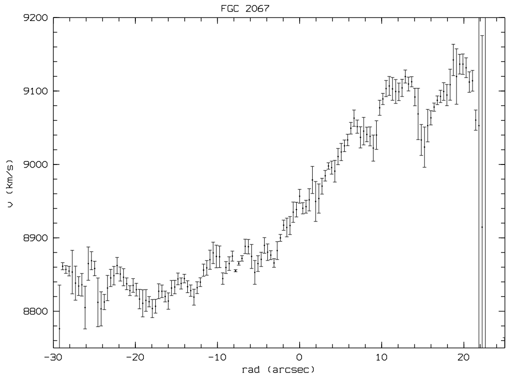


Рис. 13 Кривая вращения галактики FGC 2067

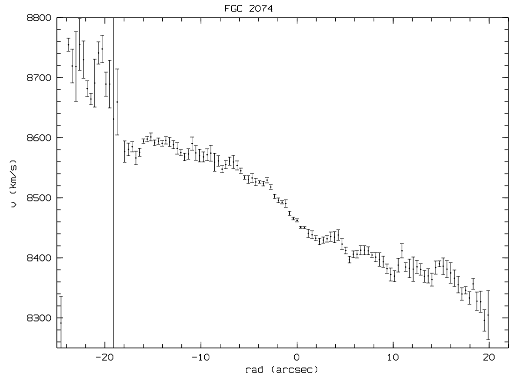


Рис. 14 Кривая вращения галактики FGC 2074

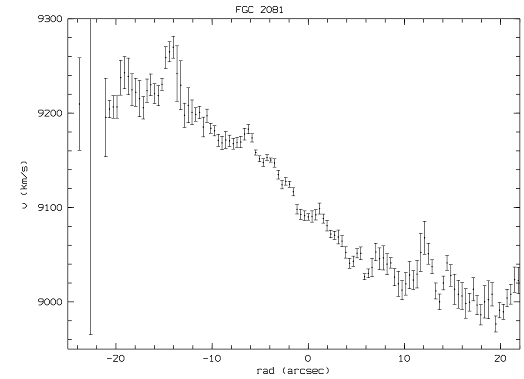


Рис. 15 Кривая вращения галактики FGC 2081

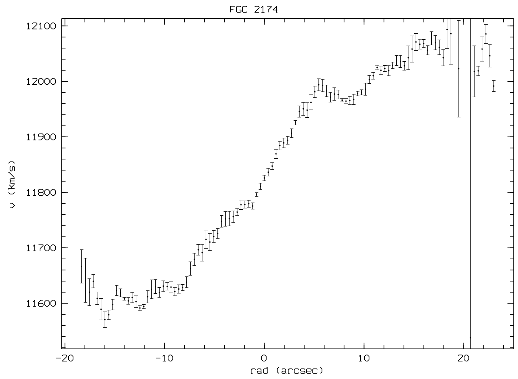


Рис. 16 Кривая вращения галактики FGC 2174

4. Фундаментальные зависимости между параметрами галактик и влияние эффектов селекции на параметры выборки.

Конечной целью нашей работы было проанализировать кинематические характеристики галактик и их возможные соотношения. Так, нами были рассмотрены зависимости Mass vs V_{max}, R_{25} vs V_{max}, Mass vs R_{25}, Mass vs Dist, R_{25} vs Dist (см. Рис. 17 - 21) (масса галактики оценивалась по очевидной формуле $M = \frac{R_{max} * V_{max}^2}{G}$). Из рисунков явно видно, что вышеупомянутые характеристики с той или иной точностью подчиняются некоторым соотношениям. Так, аппроксимируя зависимости на Рис. 17-19 прямыми , получаем:

$$log(\frac{M}{M_\odot}) = (3.1 \pm 0.2) * log(\frac{V_{max}}{1km/s}) + 3.8 \pm 0.4$$

$$log(\frac{R_{25}}{1kpc}) = (0.9 \pm 0.1) * log(\frac{V_{max}}{1km/s}) - 0.7 \pm 0.2$$

$$log(\frac{M}{M_\odot}) = (2.4 \pm 0.2) * log(\frac{R_{25}}{1kpc}) + 7.4 \pm 0.3$$

Эти зависимости достаточно хорошо известны. Так, например, зависимость Mass vs V_{max} является, по сути, соотношением Талли-Фишера (приняв то предположение, что отношение массы к светимости приблизительно одинаково для звездных дисков в галактиках поздних морфологических типов. Соотношение же R_{25} vs V_{max}, например, очевидным образом, позволяет определять расстояние до галактики, по ее кривой вращения.

Рисунки 20 - 21, в свою очередь, демонстрируют не фундаментальные зависимости параметров галактик от расстояния (диапазон расстояний до галактик выборки мал в космологическом масштабе), а влияние эффектов селекции. Так, например нижняя огибающая точек Рисунка 21 иллюстрирует ограничение, возложенное на галактики выборки - отношение осей по Паломарскому обзору всех галактик выборки близко к 7, а так как малая ось далеких галактик на Паломарском обзоре равна размеру PSF, а большая ось галактики уменьшается

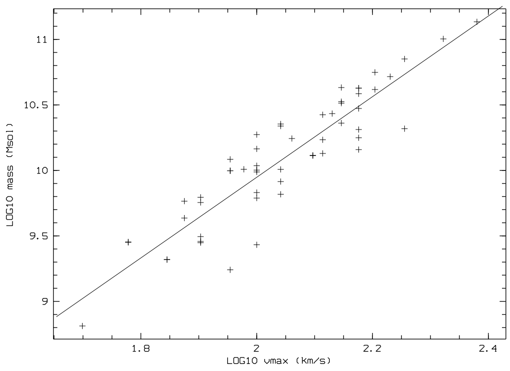


Рис. 17 log(Mass) vs log(V_{max})

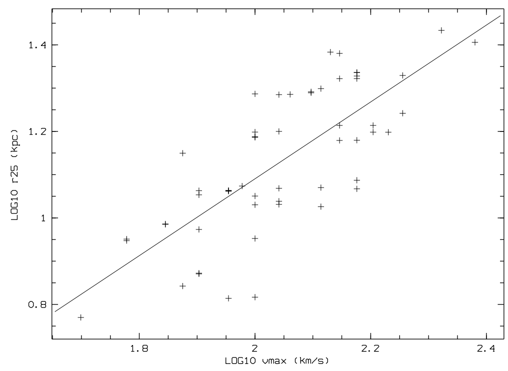


Рис. 18 log(R_{25}) vs log(V_{max})

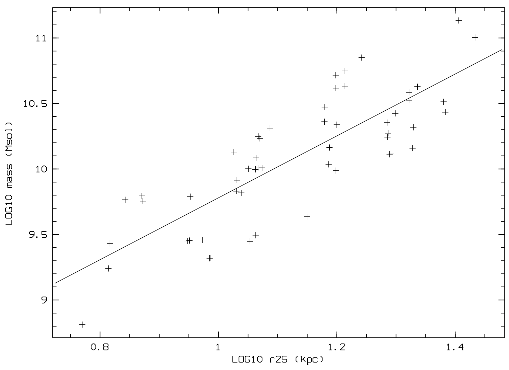


Рис. 19 log(Mass) vs log(R_{25})

при удалении галактики с фиксированным отношением осей, то маленькие галактики выпадут из выборки. Верхняя же огибающая демострирует эффект селекции по другой причине - слишком большие галактики исключались из рассмотрения, так как их угловые размеры были больше длины щели, и поэтому не наблюдались. На рисунке 20 также виден в эффект селекции. Просто, по понятным причиам, более далекие галактики включались в выборку при большей светимости, чем близкие, а так как в среднем, для галактик близких морфологического типов, чем больше светимость, тем больше масса, то мы видим, что масса галактик в нашей выборке растет с расстоянием.

Таблица 1. Таблица изученных галактик. В ней указаны номер по каталогу FGC, радиус по 25-ой изофоте (LEDA), полученная нами скорость центра, красное смещение, расстояние до галактики, максимальное значение скорости вращения, линейное расстояние от центра галактики до той точки, где кривая вращения достигает максимума, оценка массы.

No	FGC	R_{25} arcsec	V km/s	z	Dist Mpc	V_{max} km/s	R_{max} kpc	M $M_{\odot}$
1	886	17.3	13556	0.04626	195	160	9	5.60060e+10
2	886	17.3	13556	0.04626	195	140	9	4.28796e+10
3	885	36.9	4183	0.01404	59	130	3	1.34687e+10
4	926	21.7	7668	0.02590	109	90	5	9.92056e+09
5	926	21.7	7682	0.02594	110	90	5	9.93891e+09
6	958	21.7	4652	0.01563	66	75	4	5.82114e+09
7	962	42.4	4838	0.01626	69	75	3	4.32558e+09
8	1146	15.7	8871	0.03002	127	70	2	2.08721e+09
9	1146	15.7	8852	0.02996	127	70	2	2.08267e+09
10	1227	32.9	4746	0.01595	67	110	3	8.21378e+09
11	1227	32.9	4736	0.01591	67	100	3	6.77383e+09
12	1289	21.2	14576	0.04983	211	150	8	4.24195e+10
13	1289	21.2	14584	0.04985	211	150	8	4.24434e+10
14	1492	24.4	9366	0.03172	134	110	8	2.17857e+10
15	1488	19.4	5560	0.01871	79	80	4	6.22930e+09
16	1488	19.4	5582	0.01878	79	80	4	5.68562e+09
17	1700	20.3	12339	0.04201	178	180	9	7.08175e+10
18	1757	20.3	11179	0.03798	160	170	8	5.19199e+10
19	1757	20.3	11183	0.03800	161	160	7	4.14073e+10
20	1932	19.4	8825	0.02986	126	95	5	1.01975e+10
21	2045	28.0	3390	0.01136	48	90	1	1.74153e+09
22	2045	28.0	3411	0.01144	48	100	1	2.70429e+09
23	599	46.5	3827	0.01284	54	150	4	2.04946e+10
24	647	25.5	11797	0.04013	170	150	7	3.84329e+10
25	647	25.5	11795	0.04012	170	140	7	3.34735e+10
26	653	30.0	11568	0.03933	166	135	6	2.71235e+10
27	653	30.0	11490	0.03906	165	140	7	3.25904e+10
28	670	49.8	7396	0.02496	105	240	10	1.36023e+11
29	852	33.7	8279	0.02799	118	115	6	1.75066e+10
30	867	30.0	7611	0.02570	109	100	4	9.72429e+09
31	1021	26.7	6274	0.02114	89	90	6	1.21463e+10
32	1051	31.4	2732	0.00915	39	50	1	6.49044e+08
33	1106	32.1	5305	0.01784	75	130	4	1.71142e+10
34	1106	32.1	5286	0.01778	75	110	4	1.01742e+10
35	1184	43.4	6535	0.02203	93	125	4	1.30219e+10
36	1184	43.4	6500	0.02191	93	125	4	1.29514e+10
37	2001	33.7	3874	0.01300	55	100	3	6.14755e+09
38	2067	32.1	8928	0.03022	128	130	7	2.65676e+10
39	2074	26.1	8481	0.02868	121	100	5	1.08522e+10
40	2075	23.8	11609	0.03948	167	110	8	2.25914e+10
41	2075	23.8	11656	0.03964	167	100	8	1.87477e+10
42	2081	24.4	9108	0.03084	130	100	6	1.45841e+10
43	2092	18.1	8964	0.03034	128	100	4	1.00449e+10
44	2128	19.4	7026	0.02370	100	80	2	2.86969e+09
45	2174	32.9	11836	0.04026	170	210	10	1.00777e+11
46	1940	23.8	6867	0.02316	98	80	2	2.80398e+09
47	2108	30.7	10010	0.03394	143	180	3	2.08056e+10
48	2108	30.7	9979	0.03384	143	150	3	1.44028e+10
49	2088	26.1	4966	0.01669	71	60	3	2.84223e+09
50	2088	26.1	4925	0.01655	70	60	3	2.81857e+09
51	2122	23.8	9139	0.03094	131	140	5	2.29469e+10
52	2122	23.8	9149	0.03098	131	150	6	2.96678e+10
53	2152	27.4	6123	0.02062	87	80	2	3.12123e+09
54	2152	27.4	6183	0.02083	88	150	3	1.77308e+10
55	2168	46.5	3425	0.01148	49	110	2	6.57139e+09

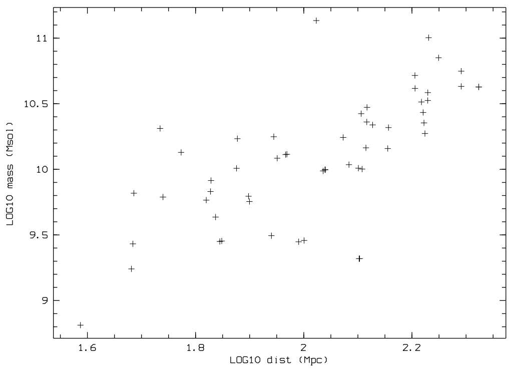


Рис. 20 log(Mass) vs log(Dist)

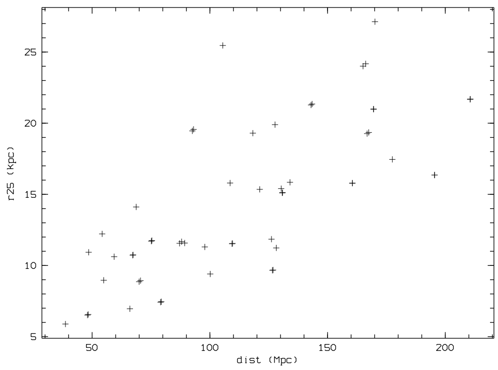


Рис. 21 $\log(R_{25})$ vs log(Dist)