Отчет о выполнении практической работы "Определение кривых вращения и красных смещений галактик, видимых с ребра".

А. В. Бирюков, И. Ю. Золотухин.
Руководитель практикума - Д. И. Макаров.

Специальная астрофизическая обсерватория РАН, п.Нижний Архыз, 357147, Россия

1. Введение.

В рамках данной работы предлагалось изучить спектры 31 галактики из каталога плоских спиральных галактик FGC, полученные на светосильном спектрографе первичного фокуса 6-метрового телескопа САО РАН в 1994, 1995 и 1997 годах. Данная выборка галактик составлялась из соображений нормальной и высокой поверхностной яркости, угловому диаметру, меньшему длины щели данного спектрографа, отношению осей большем 8.0 (во избежание погрешностей, связанных с коррекцией кривой вращения за наклон галактики по отношению к картинной плоскости), а так же склонению, недоступному 300-м радиотелескопу "Аресибо", длительное время изучавшему эту-же выборку на длине волны 21 см эмиссионной линии нейтрального водорода.

При получении спектра каждой из галактик щель спектрографа была ориентирована вдоль большой оси наблюдаемой галактики с точностью 1-2 градуса. Для большинства галактик было получено по два спектра с экспозицией в 10-15 минут (как правило) и один спектр сравнения от Ar-Ne-He лампы с экспозицией 10 секунд.

Основными целями данной работы являлись: построение кривых вращения каждой из галактик; определение величины красного смещения; определение расстояния до наблюдаемых галактик на основании закона Хаббла (постоянная H принималась равной 70 км/с/Мпк); оценки их масс; определение линейных размеров галактик, а так же построение ряда диаграмм, связывающих различные динамические характеристики галактик.

2. Редукция наблюдательных данных.

Обработка всех имеющихся наблюдательных данных проводилась посредством пакета программ MIDAS для операционной системы Linux. Первоначальная обработка включала в себя вычитание из каждого ПЗС кадра заранее усредненной серии BIAS, соотвествующей рассматриваемой наблюдательной ночи (Рис 1.1). Затем обрабатывались кадры с плоским полем (FLAT), каждый из которых был обработан медианным фильтром и отнормитован на единицу (по интенсивности) (Рис 1.2). Последовавшее за этим усреднение всей серии FLAT (медианой) помогло устранить нелинейные пиксели в кадрах, деление на которые могло бы привести к появлению дополнительных шумов. Окончательно плоское поле для каждой наблюдательной ночи было получено с учетом виньетирования, информация о котором была получена из кадров сумеречного неба с удаленными следами космических частиц и нелинейными пикселами (Рис 1.3)

После первичной редукции имеющихся 31 спектра исследуемых галактик, авторы посчитали возможным оставить для последующей обработки и анализа полученных данных лишь 18 из них. Так, в некоторых из рассматриваемых спектрах отсутствовала интересующая нас линия серии Бальмера H_α (6562.82 Å), что говорит о значительном красном смещении для

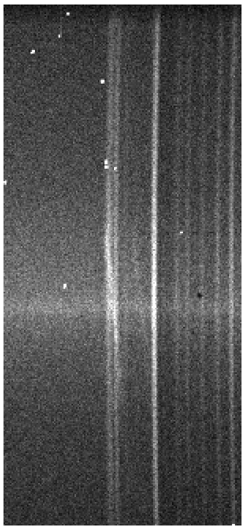

Рис. 1.1 Исходный кадр.

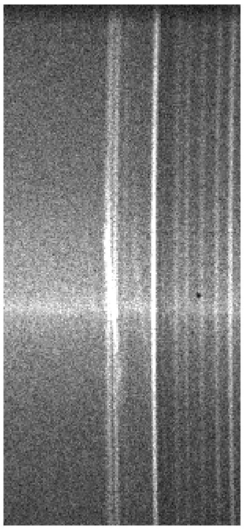

Рис. 1.2 Кадр с удаленными следами космических частиц.

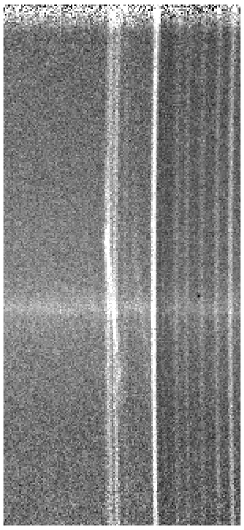

Рис 1.3 Кадр с учтенным плоским полем.

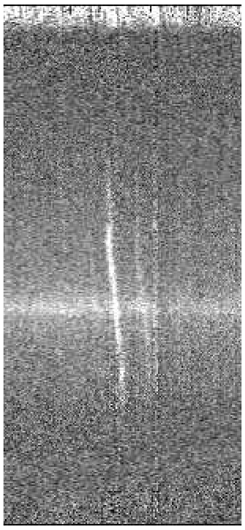

Рис 1.4 Кадр с вычтенным фоном неба.

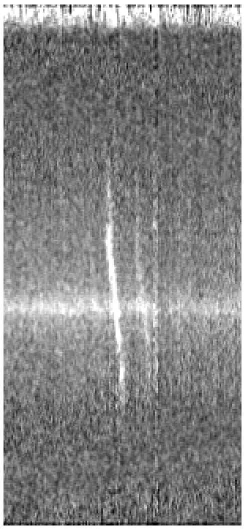

Рис 1.5 Результирующий кадр.

данных галактик, в спектрах же других галактик данная линия хоть и присутствовала, но имела настолько слабую интенсивность, что дальнейшая обработка такого спектра могла привести к значительным ошибкам в результатах.

Таблица 1. Характеристики исследованных галактик

N	Galaxy	R.A. J2000.0	Dec. J2000.0	size ’
1	FGC 1250	11 27 19.2	+38 39 52	1.70
2	FGC 1310	11 48 36.0	+43 43 16	1.76
3	FGC 1411	12 19 18.5	+43 14 12	0.92
4	FGC 1469	12 36 09.6	+48 49 16	0.95
5	FGC 1533	12 59 31.2	+42 45 32	0.99
6	FGC 1637	13 34 08.9	+39 51 01	0.74
7	FGC 1855	15 05 13.2	+57 19 08	1.01
8	FGC 1853	15 04 15.4	+48 09 54	0.82
9	FGC 1888	15 19 48.7	+48 43 01	0.85
10	FGC 1909	15 30 10.3	+49 01 29	0.78
11	FGC 1923	15 35 03.6	+43 08 25	0.68
12	FGC 2005	16 13 40.3	+52 52 24	0.66
13	FGC 2034	16 23 54.7	+69 04 57	0.85
14	FGC 2065	16 41 13.4	+77 11 47	0.58
15	FGC 696	08 01 03.4	+59 08 24	1.25
16	FGC 909	09 35 09.6	+59 22 42	0.85
17	FGC 1006	10 05 07.6	+44 31 09	1.12
18	FGC 1316	11 50 17.3	+66 28 51	0.69

Для оставшихся 18 галактик, характеристики которых преведены в Таблице 1, была проведена дальнейшая процедура обработки. При помощи контекста LONG пакета программ MIDAS были отождествлены линии в спектрах сравнения (Ar-Ne-He лампа) и затем на основании полученных даннных откалиброваны спектры собственно самих объектов. Вслед за этим на спектр каждой галактики был проинтерполирован фон неба с краев ее же изображения и за тем вычтен (Рис 1.4). И, наконец, все кадры были исправлены за дисторсию и сглажены поперек дисперсии для повышения отношения сигнал/шум без ухудшения спектрального разрешения (Рис 1.5).

Следующей стадией обработки имеющихся спектров было определение параметров кривой вращения каждой из галактик. Ее характеристики определялись из положения и вида линии водорода H_{α}. Линия "резалась" вдоль дисперсии через каждый пиксел изображения (что соответствовало 0".39 в угловых размерах вдоль диска галактики), и в полученный одномерный кусок спектра вписывалась гауссиана. Далее, по формуле релятивистского эффекта Доплера и известной лабораторной длине волны линии H_{α} определялась лучевая скорость данной точки галактики. Затем осуществлялось сглаживание полученной кривой вращения либо медианой, либо усреднением, в зависимости от конкретного состояния данной линии и близости к ярким недовычтенным линиям неба. Динамический центр галактики определялся как точка, которая имеет лучевую скорость, равную среднему арифметическому максимальной и минимальной скоростей на кривой вращения. В соответствии с этим находилась амплитуда скоростей внутреннего движения в галактике и лучевая скорость ее центра. Масса галактики оценивалась из величины первой космической скорости на границе ее наблюдаемой части.

На основании полученных данных были определены расстояния до галактик, а так же их линейные размеры. Для определения последнего параметра использовались данные об угловых размерах исследуемых галактик из каталога, основанного на Паломарском обзоре. Все вышеописанные величины приведены в следующей таблице.

Таблица 2. Полученные результаты

N	Galaxy	cz km/s	Amplitude km/s	Vmax km/s	dist Mpc	radius kpc	mass
1	FGC 1250	6362	213	107	91	22	5.9e+10
2	FGC 1310	767	119	59	11	3	2.3e+09
3	FGC 1411	7198	322	161	102	14	8.2e+10
4	FGC 1469	8601	465	233	123	17	2.1e+11
5	FGC 1533	7271	213	107	104	15	3.9e+10
6	FGC 1637	14263	336	168	204	22	1.4e+11
7	FGC 1855	9014	305	153	129	19	1.0e+11
8	FGC 1853	9544	299	150	136	16	8.4e+10
9	FGC 1888	7712	170	85	110	14	2.3e+10
10	FGC 1909	21704	324	162	310	35	2.1e+11
11	FGC 1923	18636	476	238	266	26	3.4e+11
12	FGC 2005	10218	382	191	146	14	1.2e+11
13	FGC 2034	7937	216	108	113	14	3.8e+10
14	FGC 2065	12631	249	125	180	15	5.4e+10
15	FGC 696	12378	448	224	177	32	3.7e+11
16	FGC 909	13978	346	173	200	25	1.7e+11
17	FGC 1006	7954	332	166	114	19	1.2e+11
18	FGC 1316	12113	242	121	173	17	5.9e+10

3. Результаты.

Их полученных данных для 18 исследованных галактик были построены следующие диаграммы:

1. "Масса галактики - скорость вращения галактики" (Рис. 2).

При построении данной диаграммы были выбраны логорифмические шкалы для обоих величин. Как видно из рис. 2, между логарифмом массы галактики и логарифмом максимальной скорости ее вращения хорошо прослеживается линейная зависимость, с наклоном прямой 3, что следует из зависимости Талли-Фишера.

2. "Радиус галактики - расстояние до галактики" (Рис. 3).

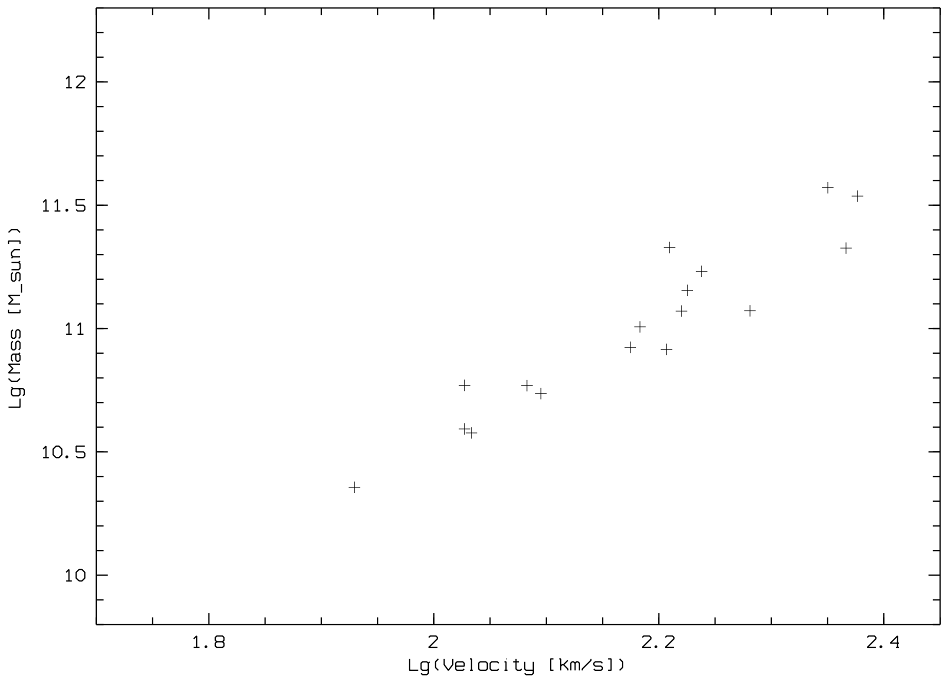

Рис. 2 Зависимость массы галактики от ее скорости вращения.

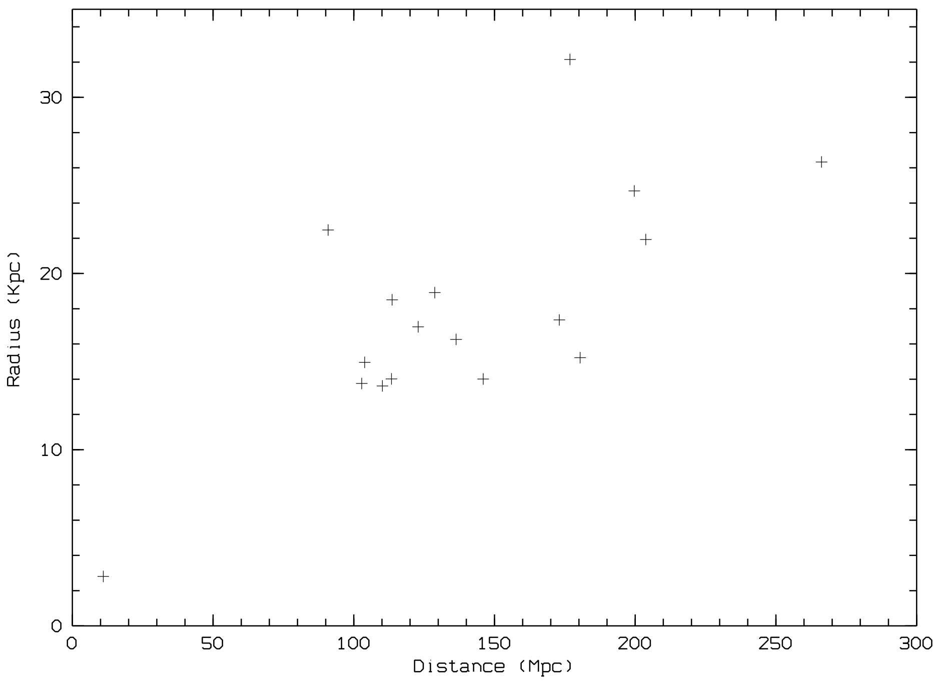

Рис. 3 Диаграмма "радиус галактики - расстояние до галактики"

Из диаграммы, изображенной на рис. 3 можно сделать вывод, что существует явная зависимость (на первый взгляд, линейная) между радиусом галактики и расстоянием до нее. Существование полученной зависимости авторы объясняют наличием наблюдательной селекции в используемой выборке галактик. Действительно, помимо прочих параметров, наблюдаемые галактики выбирались таким образом, чтобы из угловой диаметр (по большей оси) лежал в пределах от 0'.6 до 2'.5. Нижний предел обусловлен самим каталогом FGC, а верхний - длиной щели спектрографа. Поскольку при постоянных угловых размерах с увеличением расстояния растут линейные размеры галактики, то самые далекие галактики из данной выборки будут и самыми большими.