ИЮНЬ, 1989

ВЫПУСК 3

УДК: 524.7-423

МНОГОРУКАВНЫЕ ГАЛАКТИКИ И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ ОПИСАНИЯ В РАМКАХ ГРАВИТАЦИОННОЙ ТЕОРИИ ВОЛН ПЛОТНОСТИ

А. А. СТРИГАЧЕВ

Поступила 16 марта 1988 Принята к печати 4 октября 1988

Рассматриваются спиральные галактики с числом ветвей m>2. По светимости и принадлежности к парам и группам они не выделяются среди остальных спиральных галактик, однако, имеют преимущественно более поздане морфологические типы. Радиальная протяженность наблюдаемого спирального узора в большинстве случаев лишь « на пределе» укладывается в область между ILR и OLR, а для пяти из 14 галактик — не удовлетворяет положению резонансов ни при каком значении параметра $\Omega_{\rm A}$ Для пяти галактик с известными кривыми вращения определена центральная плотность диска, при которой угол вакрутки спиральных ветвей совпадает с наблюдаемым.

1. Введение. Существование упорядоченного спирального узора в галактиках находит свое объяснение в рамках представления о волнах плотности, распространяющихся в гавозвездном диске галактики. Существует несколько подходов к объяснению природы втих волн и условий их существования. В настоящей работе рассматривается «классическая» линейная теория Лина—Шу волн гравитационной природы в применении к галактикам с многоветвевой (т>2) спиральной структурой.

Чем выше m, т.е. чем больше волновых спиральных ветвей в галактике, тем уже (при заданной угловой скорости Ω_p спирального узора) интервал по радиусу распространения волн плотности [1], ограниченный внешним и внутренним линдбладовскими ревонансами. Такое ограничение является одной из трудностей «классического» подхода (обстоятельство, неоднократно отмечавшееся А.М.Фридманом). Однако для получения определенных выводов здесь требуется количественная проверка.

Ниже для конкретных галактик с известной кривой вращения, обладающих спиральной структурой с m>2, проверяется возможность объяснения в рамках указанной теории как наблюдаемой протяженности спиральной структуры по раднусу галактики, так и наблюдаемого угла закрутки ветвей.

2. Статистические данные по многорукавным галактикам. Многорукавные галактики с числом рукавов m>2 выбирались среди спиральных

галактик. Большинство галактик выбрано по фотографиям, приведенным в атласах [2—4]. Список втих галактик дан в табл. 1, где указан морфоло-

Таблица 1 МНОГОРУКАВНЫЕ ГАЛАКТИКИ

Гадактика	Число рукавов	Морфолог. тип	Ma	Членство в парах м/мли группах
NGC 300	3	Sc	—18.59	g _t
309	3	Sc	-23.25	D
450	3-4	Sc	-20.72	p(a)
613	4	SBb	-22.24	
628	3	Sc	-21.75	
753	3 3	Sc	-22.67	Р
935	4	Sc	- 	p(b) p(a)
1232	4	Sc	-22.57	p(a)
1288	4-5	Sb	-22.42	
1672	4	Sb	-21.14	
2223	4	SBbc	-22.04	
2336	4	SBbc	-22.94	p(a)
2776	3	Sc	-21.80	
2942	3-4	Sc	-22.33 -22.84	
2998	3 3-4 3 4-3	Sc SBbc	-22.64 -21.20	gr,p(a)
3001	1-2	SBbc	-21.20 -22.23	
3124	4 3	Sc	-22.23 -20.28	
3184 3223	4-3	Sb	-20.26 -22.69	
3243 3344 .	4-7	SBbc	-20.31	
3423 .	4 3	Sc	-19.84	
3464	5 4	Sc	-21.96	and the same of
3486	5-4 7-5	Sc	-20.05	
3614	3-4	Sc	-21.62	
3780	3-4	Sc	-21.56	p(a)
3810		Sc	-20.22	F \- /
3992	3 3	SBb	-21.83	
4254	4	Sc	-21.59	
4891	3 - 4 3 3 3 4	SBbc	-21.17	
5033	3	Sbc	-21.16	
5054	3	Sb	-21.67	gr
5236	3	SBc	-21.12	
5247	4	Sc	-21.09	
5371	1 3	Sb	-22.78	
5457	3-5	Sc	-21.51	
5468	4	Sc	-21.71	p(a)
5494	4	Sc	-21.21	
5861	3 3 3	Sc	-20.94	HILLIAM TO THE REAL PROPERTY OF THE PERSON O
5921	3	SBbc	-21.14	
6070	3	Sc	-21.22	P
6643	3-4	Sc	-21.64	
6699	3-4	Sbc	-21.91	
6814	3-4	Sbc	-21.21	
6946	3	Sc	-20.30	
7083)	Sb	-22.81	
7137	3	Sc	-20.42 -20.86	
7689	1	Sc	-20.86 -20.70	
1C 342	3-4 3 5 3 4 3	Sc		gr.p
HA 85-1	3	Sc	-20.88	

 $\Pi
ho u$ мечание.gr— принадлежность к группе, \tilde{p} — участие в паре, $\tilde{p}(a)$ — невзаимодействующие пары, $\tilde{p}(b)$ — вваимодействующие пары.

гический тип, число рукавов и абсолютная звездная величина M_B^* . Явно выраженные флоккулентные галактики не относились к числу многорукав-

^{*} Здесь и далее постоянная Хаббла принималась равной 75 км/с/Мпк.

ных.В последнем столбце указано наличие у данной галактики близких спутников или принадлежность к группам по каталогу RC2 [5]. В табл. 2 показано распределение многорукавных галактик по светимости, в табл. 3

 $T_{a6.1uya} \ 2$ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МНОГОРУКАВНЫХ ГАЛАКТИК ПО СВЕТИМОСТИ

Интервал	Многорук. г	**************************************	Другие S-галантики			
M _H	число гал.	%	число гал.	% 21 29		
-17÷-20	2	4	60			
-20÷-21	11	23	81			
-21÷-22	22	46	95	34 16		
-22÷-24	13	27	44			
Суммя	48	100	280	100		
M _B	-21.5	±0.9	-20.9±1.1			

— по морфологическому типу, а в табл. 4— по принадлежности к парам или группам. Для сравнения показаны те же распределения и для не многорукавных спиральных галактик, содержащихся в тех же атласах

Таблица 3 РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МНОГОРУКАВНЫХ ГАЛАКТИК ПО МОРФОЛОГИЧЕСКОМУ ТИПУ

Морфолог, тип	Многорук.	галактики	Другие S-галактики			
	HHCAO FRA.	%	ЧИСАО ГВА.	%		
Sb,Sbc	9	18	71	23		
Sc	30	61	105	34		
SBh	2	4	20	7		
SBbc,SBc	8	17	61	• 20		
S -прочие	- 1	- 1-	48	16		
Сумма	49	- 100	305	100		

- [2—4]. Можно сделать вывод, что среди многорукавных галактик тип Sc встречается примерно в два раза чаще и нет типа Sa. Распределение по светимости, как и частота встречаемых пар или групп для многорукавных галактик примерно такая же, как и для других.*
- 3. Область распространения волн плотности, сопоставление с теорией и определение интервалов для $\Omega_{\rm p}$. Угловая скорость $\Omega_{\rm p}$ самосогласованной

волны плотности должна удовлетворять условию [1]

$$\Omega - \frac{\varkappa}{m} < \Omega_{\rho} < \Omega + \frac{\varkappa}{m}$$

где $\Omega = V/r$ — круговая скорость, $\varkappa^2 = 4\Omega^2(I + \frac{r}{2\Omega} \frac{\partial \Omega}{\partial r})$ — эпициклическая частота, m— число рукавов.

Таблица 4
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МНОГОРУКАВНЫХ ГАЛАКТИК ПО
ПРИНАДЛЕЖНОСТИ К ПАРАМ И/ИЛИ ГРУППАМ

Членство в парах и/или группах	Многорук. г	BARKTHEH	Другие S галактики			
	Число гал.	%'	Число гал.	%		
KL	4	8	39	14		
р	4	8	30	11		
p(a)	6	13	42	15		
p(h)	1	2	9	3		
сунма	15	31	120	43		

Будем считать диск маржинально устойчивым (параметр Тумре Q=1, [6]). При Q>1 вблизи коротации ($\Omega=\Omega_{\rho}$) возникает запретная зона для самосогласованных воли плотности, быстро увеличивающаяся с ростом дисперсии радиальных скоростей звезд.

Для тех многорукавных галактик, для которых известна кривая вращения V(r), был вычислен допустимый интервал для Ω_p , удовлетворяющий втой кривой. Если измеренная кривая вращения не доходит до внешней границы спирали, она экстраполировалась отрезком V(r)=const (NGC 613, 753). Число рукавов определялось по фотографиям галактик на Паломарском атласе неба или в атласах [2—4 и 7]. Результаты приведены в табл. 5.

Ниже следуют некоторые замечания по каждой из галактик.

NGC 300. Совмещение наблюдаемой области спирального узора (r_1-r_2) с областью между резонансами Линдблада (ILR и OLR) даже при Q=1 возможно только для очень узкого интервала Ω_a .

NGC 450. Получить интервал для Ω_p возможно только если m=3. При m>3 область распространения спирального узора выходит за области резонансов. Однако, кривая вращения известна не для всех r и не очень надежна.

NGC 613. Верхняя граница интервала Ω_p ненадежна. Вероятно, область спирального узора можно « вписать» не только от ILR до OLR, но и от радиуса коротации до OLR или от ILR до радиуса коротации.

NGC 753. Область спирального узора не соответствует резонансам ни при каких вначениях Ω_b .

NGC 935. Область спирального узора не соответствует резонансам. Можно получить значение $\Omega_{\rm p} \approx 15 \, {\rm km/c/knk}$, если допустить ошибку в измерении Ω на $\sim 10\%$ или сузить протяженность спирального узора на 20% по сравнению с наблюдаемой. Хотя такая ошибка не исключена, следует учесть, что протяженность спирального узора может в действительности оказаться большей, а не меньшей, чем наблюдается на фотографии по оптическим индикаторам, поскольку при низкой амплитуде волны и низкой плотности газа на больших r ее оптические проявления будут слабо выражены.

 $T_{a6\pi u y a}$ 5 ПАРАМЕТРЫ СПИРАЛЬНОГО УЗОРА И ИНТЕРВАЛ Ω_{μ} ЛЛЯ МНОГОРУКАВНЫХ ГАЛАКТИК

Галактика	Число ру- канов	Кривая вра- щения (ссылка)	ya	кен. сп. ора г ₂ [кпк]	Интервал [км/с/кпк]	Форма кри- вой пращен.	Принятое расстояние [Млк]	
NGC 300	3	[9]	1,1	4.4	22 - 26	1 2/	1.9	
450	3.4	[10]	2.4	10.0	16 - 23	3	37.3	
613	4	[11]	3.6	7.4	30 - 80	1 1/	13.9	
753	3	1121	3.5	- 36.0		4	101.5	
935	-4	131	6.8	15.1		3 3/	78.0	
2998	3	121	15.5	31.0	8 - 9	4	95.6	
3223	4	1141	6.4	21.0		2	52.4	
3992	3	Ì 15 Î	3.4	10.3	26 - 38	3 3/	14.2	
5033	3	1161	7.0	17.5	17 - 19	4 1/	14.0	
5457	3 . 5	i 17 i	2.0	14.8		3	7.2	
6643	3.4	1181	2.8	10.0	10	2 1/	23.0	
6946	3	1 191	0.7	6.7	26 - 63	1	5.1	
7083	5	1141	16.0	25.0	10 - 11	2 1/	59.6	
IC 342	3	[20]	3.3	11.1	15 - 24	4 2/	4.5	

Примечание к графе «форма кривой вращения»: в области спиральных ветвей скорость вращения 1 - возрастает, 2 - постоянна, 3 - убывает, 4 - меняется не монотонно; 1) - кривая вращения имеет локальный максимум вблизи ядра, 2) - наличие двух докальных экстремумов, 3) - кривая вращения аппроксимировалась формулой Брандта.

NGC 2998. Как и для NGC 300, совмещение спирального увора в пределах наблюдаемой спирали от ILR до OLR возможно при Q=1 только в очень узком интервале Ω_b .

NGC 3223. Как и для NGC 935, протяженность спирального увора не удовлетворяет никаким значениям Ω_p . Значение $\Omega_p \approx 19 \text{км/c/кпк}$ можно получить, если допустить ошибку Ω на $\sim 20\%$ или сувить протяженность спирального узора на 40%.

NGC 3992. Можно « вписать» спиральный узор в область от ILR до OLR или от ILR до радиуса коротации, но в обоих случаях Q не должно быть больше 1.

NGC 5033. Совмещение возможно только от ILR до OLR при Q=1 и значении $\Omega_b = 17-19$ км/с/кпк.

NGC 5457. Область спиральных ветвей не согласуется с положением резонансов. Значение $\Omega_b \approx 27 \text{км/c/кпк}$ при m=3 можно получить, если изменить Ω на > 40% или сузить протяженность наблюдаемого спирального узора на 40%.

NGC 6643. При m>2 область спиральных ветвей не согласуется с положением ILR и OLR. Если m=3, можно получить $\Omega_{\rm p}\approx 33$ км/с/кпк, если наменить Ω на $\sim 10\%$ или сузить спиральный узор на $\sim 30\%$. При m=4 то же значение $\Omega_{\rm p}$ получается, если ивиенить Ω на $\sim 30\%$ или сузить спиральный узор на 45%.

NGC 6946. Совмещение спирального узора возможно от ILR до OLR при Q=1 или от ILR до радиуса коротации, причем в последнем случае Q может быть больше 1. Полученный интервал не согласуется с работой [8], где принято $\Omega_{\tilde{\rho}}=17$ км/с/кпк. Это различие связано с тем, что, во-первых, авторы указанной статьи рассматривают NGC 6946 как двухрукавную галактику и, во-вторых, они принимали другую кривую вращения, которую аппроксимировали брандтовской кривой.

NGC 7083. Совмещение спирального увора с ревонансами возможно только от ILR до OLR при Q=1.

1C 342. Протяженность спирального увора совместима как с интервалом ILR—OLR, так и с интервалом от ILR до радиуса коротации, причем, в последнем случае возможно Q>1. Максимально возможное значение Q, определенное по дисперсионной кривой, равно 1.036, т.е. Q может находиться в пределах $1 \leqslant Q \leqslant 1.036$.

4. Оденка плотности диска, необходимого для объяснения наблюдаемой формы спирального увора. Формы спирали считаются заданными, если известен полярный угол θ как функция расстояния г. Уравнение для вытекает из локального дисперсионного соотношения для гравитационных волн плотности [1,21—23]

$$\theta - \theta_0 = \frac{1}{m} \int_{r}^{R} k(\Omega_p, \Omega(r), \varkappa(r), \sigma(r)) dr,$$

где θ_0 =const— начальное значение угла, r_1 — начальное вначение радиуса, соответствующее θ_0 ; R и r— независимые переменные, k — волновое число, $\sigma(r)$ — распределение поверхностной плотности. Число рукавов m считается известным, $\Omega(r)$ и $\varkappa(r)$ вычисляются из кривой вращения. В модели звездного диска принималось, что поверхностная плотность имеет вид

$$\sigma(r) = \sigma_0 e^{-\alpha r}$$

где параметр а может быть найден из фотометрии. Волновое число k находится из дисперсионного уравнения для газодинамического приближения

$$\frac{k_0}{k} = \frac{1}{2} \frac{1}{1-v^2} [1 \pm \sqrt{1-Q(1-v^2)}],$$

где $v = \frac{m}{x}(\Omega_p - \Omega)$ — безразмерная частота, с которой пробная частиџа дифференџиально вращающегося диска реагирует на проходящее спиральное возмущение,

$$k_0 = \frac{\kappa^2}{2\pi G\sigma(r)},$$

Q — параметр устойчивости Тумре, являющийся функцией дисперсии скоростей.

Имеются два решения дисперсионного уравнения, соответствующие коротковолновой моде (KBM) и длинноволновой моде (ДВМ). При Q=1

$$\frac{k_0}{k} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{1+|\nu|},$$
 KBM

$$\frac{k_0}{k} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{1 - |\nu|}.$$
 ДВМ

Частота у находится в пределах

$$-1 < v < 1.$$

Значения v=-1, v=0, v=1 соответствуют соответственно ILR, радиусу коротации и OLR.

Итак, чтобы вычислить спиральный узор, необходимо знать следующие функции и параметры:

 $\Omega = \Omega(r)$ — закон вращения галактики, $\varkappa = \varkappa(r)$ — эпициклическая частота, $\sigma = \sigma(r)$ — поверхностная плотность диска, Ω_p — угловая скорость спирального узора, m— число рукавов, Q— параметр устойчивости, мода— коротковолновая или длинноволновая.

Сравнение наблюдаемого спирального узора с вычисленным проводи лось путем сравнения наблюдаемого угла закрутки со средним значением, вычисленного по формуле

$$|\operatorname{tg}(\bar{p}.a.)| = \frac{m}{kr},$$

где к.а. — угол закрутки.

Параметр α , определяющий шкалу изменения яркости диска, вычисляется по приводимым в работе [24] значениям фотометрического эффективного радиуса r_a диска, связанного с α соотношением

$$\alpha = 1.67/r_{*}$$

Значение σ_0 — свободный параметр, который подбирался таким образом, чтобы наблюдаемый спиральный узор наилучшим образом совпадал с вычисленным. Однако, σ_0 не должно превышать эначения σ_0^{max} , центральной плотности, которую имел бы диск с максимальной круговой скоростью, равной наблюдаемой. Величина σ_0^{max} находится из соотношений

$$V_{max}^2 = 0.39 GM\alpha$$
,

$$M = \frac{2\pi\sigma_0^{max}}{\alpha^2}$$

справедливых для диска с экспоненциальной зависимостью $\sigma(r)$.

Для сравнения решений, полученных в гидродинамическом и кинематическом приближениях, для одной из галактик (NGC 300) были сделаны вычисления формы спирального узора с использованием дисперсионного гидродинамического уравнения и дисперсионного уравнения для бесстолкновительного диска [21], при следующих допущениях:

$$Q=1$$
.

 $Ω_ρ = 24 κm/c/κπκ$,

m=3.

 $\alpha = 0.63 \text{km} \text{k}^{-1}$,

$$\sigma_0 = 100 M_{\odot} / \pi \kappa^2$$
.

Сравнение углов закрутки для соответствующих мод показывает, что (кроме коротковолновой моды в окрестности $|v|\approx 1$) эти углы отличаются не больше, чем на $1-2^\circ$, как для коротковолновой, так и для длинноволновой моды. Разница между средними значениями углов закрутки также не превышает эту величину. Это означает, что использование гидродинамического дисперсионного уравнения заметно не меняет расчетной формы спирали по сравнению с бесстолкновительным дисперсионным уравнением, за исключением области $|v|\approx 1$ для коротковолновой моды.

В табл. 6 приведены использовавшиеся данные для вычисления спирального узора галактик NGC 300, IC 342, NGC 6946, 3992, 5033 и результаты вычислений. Даны вычисленные средние значения угла закрутки в интервале $r_1 - r_2$ и для сравнения — наблюдаемые по работе [25]. Также даны вычисленные для обеих мод значения плотности σ_0 , которые соответствуют расчетной форме спирали, наилучшим образом совпадающей с наблюдаемой. Для сравнения для каждой галактики дано вычисленное значение плотности σ_0^{max} . Все расчеты сделаны при допущении 1.

Таблица б

оценка поверхностной плоскости диска

FRARKTHER	марф.		Œ	N _{max}	RMAX	o o	Ω,	Feer	σ ₀ KBM	σ₀ДВМ	p.a."	р.а. ^{КВМ}	р.а.ДВМ
112	TME	m	[KUK-1]	[xm/c]	[mnm]	[M _/nx2]	[KM/C/KUK]	[xnx]	[M _/nx²]	M •/πκ²]	[deg]	[deg]	[deg]
NGC 300	Sc	3	0.63	88	14.0	461	24	3.0	420	95	25±3	25.7	25.8
IC 342	Sc	3	0.16	189	42.0	536	20	8.5	335	130	19±5	19.0	18.9
NGC 6946"/	Sc	3	0,37	275	7.4	2671	59	3.7	1800	900	28±4	28.6	28.3
NGC 69464/	Sc	3	0.37	275	7.4	2671	40	6.7	2100	610	28±4	28.1	28.1
NGC 3992	SBb	3	. 0.23	267	11.7	1537	32	8.3	690	190	11±2	11.1	10.9
NGC 5033	Sbc	3	0.18	255	36.0	837	18	11.0	730	195	19±3	19.0	19.0

Примечание. р.а. — угол закрутки, "— наблюдаемый, "— средний, КВМ — коротковолновая мода, A^{BM} — длинноволновая мода, I_{cor} — радиус коротации, max — максимальное вначение, R^{max} — раднус, на котором достигается V^{max} ; m — число рукавов.

Для NGC 6946 рассмотрены два варианта: наблюдаемая спиральная структура заключена а) между ILR и OLR, 6) между ILR и радиусом коротации. Во всех остальных случаях спиральный узор заключен между ILR и OLR.

Из таблицы видно, что для обеих мод значение σ_0 не превышает σ_0^{max} , т.е. всегда выполнено условие $\sigma_0 \leqslant \sigma_0^{max}$, хотя при использовании коротковолновой моды для получения тех же расчетных форм спиралей, что и при длинноволновой, необходимо брать σ_0 в несколько раз более высокой, чем для длинноволновой.

Для модели с коротковолновой модой колебаний сопоставление вычисленной центральной поверхностной плотности с яркостью диска по [24] приводит к отношению $M/L_B\!=\!1\!-\!4$, а для длинноволновой модели — $M/L_B\!=\!0.5\!-\!1.*$

В большинстве случаев область ожидаемой коротации ничем не выделяется на фотографиях — за возможным исключением IC 342, где вблизи коротации есть заметное расщепление у двух из трех спиральных ветвей. Для галакик IC 342 и NGC 6946 радиусы максимальной поверхностной плотности водорода, найденные из наблюдений, составляют соответственно 6′.0 и 2′.4 [26]. Эти значения близки к значениям вычисленных радиусов коротации обеих галактик (6′.6 и 2′.5 соответственно), причем, для NGC 6946 это имеет место только в том случае, когда наблюдаемая спиральная структура заключена между ILR и OLR. Можно предположить, что причиной более высокой плотности газа является пониженная эффективность звездообразования в области низкой относительной скорости вещества и волны.

- 5. Выводы.
- 1. По данным о 49 многорукавных галактик получено, что они не выделяются среди остальных по светимости и по принадлежности к системам (парам, группам).
- 2. Многорукавные галактики встречаются как среди галактик без перемычки, так и среди SB—галактик. Среди многорукавных галактик нет галактий типа Sa, а тип Sc встречается примерно в два раза чаще, чем среди остальных.
- 3. В рамках теории гравитационных воли плотности протяженность области спирального узора по радиусу для ряда галактик объясняется лишь «на пределе»: спиральный узор « вписывается» в область между линдбладовскими резонансами только при Q=1 и при отсутствии слабого

^{*} В единицах M/L Солнца.

продолжения спиралей во внешнюю область. Для пяти из 14 галактик (NGC 753, 935, 3223, 5457, 6643) наблюдаемая протяженность узора не согласуется с положением резонансов даже при указанных допущениях.

4.Для пяти галактик (NGC 300, IC 342, NGC 6946, 3992, 5033) с хорошо прослеживаемой формой спиральных ветвей и известной кривой вращения найдена поверхностная плотность диска, удовлетворяющая наблюдаемой картине спиралей в предположении коротковолновой и длинноволновой мод.

Автор благодарит А.В.Засова за постановку задачи и помощь в работе.

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга

MULTIARMED GALAXIES AND ATTEMPT TO DESCRIBE THEM IN THE FRAMES OF GRAVITATIONAL THEORY OF DENSITY WAVES

A.A.STRIGACHEV

Spiral galaxies with a number of arms m>2 are considered. In luminosity and belonging to pairs and groups they do not differ from the other spiral galaxies but prefer to have late morphological types. Radial extention of observed spiral pattern in most cases is hardly limited within the ILR and OLR; for five of 14 galaxies this extention does not fit the location of resonanses for any value of parameter Ω_p . For the five galaxies where a curve of rotation is known a central disk density is calculated which corresponds to the observed spiral pitch angle.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. К.Рольфс, Лекции по теории воли плотности, Мир, М., 1980.
- 2. A.Sandage, The Hubble Atlas of Galaxies, Washington D.C., 1961.
- A.Sandage, G.A.Tammann, A Revised Shapley—Ames Catalog of Bright Galaxies, Washington D.C., 1981.
- 4. A.Sandage, Astron. J., 90, 1992, 1985.
- G.de Vaucouleurs, A. de Vaucouleurs, H.G.Corwin, Second Reference Catalogue of Bright Galaxies, Austin/London, 1976.
- 6. A. Toomre, Astrophys. J., 158, 899, 1969.
- 7. D.M.Elmegreen, Astrophys. Suppl. Ser., 47, 229, 1981.
- 8. I.V. Feitzinger, T. Schmidt-Kaler, Astron. and Astrophys., 88, 41, 1980.
- 9. C.Carignan, K.C.Freeman, Astrophys. J., 294 494, 1985.
- 10. V.C.Rubin, W.K.Ford, Ir., Astrophys. J., 271 556, 1983.
- 11. C.P.Blackman, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 195, 451, 1981.

- 12. V.C.Rubin, W.K.Ford, Jr., N.Thonnard, Astrophys.J., 238, 471, 1980.
- 13. C.P.Blackman, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 178, 15, 1977.
- 14. V.C.Rubin, W.K.Ford, Jr., N.Thonnard, Astrophys. J., 261, 439, 1982.
- 15. S.T. Gottesman, J.H. Hunter, Jr., Astrophys. J., 260, 65, 1982.
- 16. A.Bosma, Astron.J., 86, 1791, 1981.
- 17. A.Bosma, W.M.Goss, R.J.Allen, Astron. and Astrophys., 93, 106, 1981.
- 18. В. Л. Афанасьев, А.М. Буренков, А.В. Засов, О.К.Сильченко, Астрофизика, 29, 155, 1988.
- 19. A.Peton, Astron. and Astrophys., 114, 1, 1982.
- 20. A.Newton, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 191, 169, 1980.
- 21. Л.С. Марочник, А.А.Сучков, Галактика, Наука, М., 1984.
- 22. R. Wielen, Publ. Astron. Soc. Pacif., 86, 341, 1974.
- 23. C.C.Lin, C.Yuan, F.H.Shu, Astrophys.J., 155, 721, 1969.
- 24. F.Simien, G.de Vaucouleurs, Astrophys.J., 302, 564, 1986.
- 25. R.C.Kennicutt, Jr., Astron. J., 86, 1847, 1981.
- 26. J.S. Young, N. Scoville, Astrophys. J., 258, 467, 1982.