

УДК: 524.7-327

О КРИВЫХ ВРАЩЕНИЯ ГАЛАКТИК В РАЗНОМ ПРОСТРАНСТВЕННОМ ОКРУЖЕНИИ

Е.А.ЕВСТИГНЕЕВА, В.П.РЕШЕТНИКОВ

Поступила 13 ноября 2000

Принята к печати 15 января 2001

Рассмотрена выборка гигантских Sb-Sc спиральных галактик с высокоточными и протяженными кривыми вращения. Разбив галактики на три группы в зависимости от глобального значения пространственной плотности светимости (массы) в пределах $0.5 M_{\odot} k$ (ρ_L), мы исследовали зависимость характеристик кривых вращения от значения ρ_L . Оказалось, что для таких массивных галактик форма кривой вращения (логарифмический градиент) и соотношение Талли-Фишера не зависят от глобального пространственного окружения. Единственное отличие состоит в том, что у галактик в областях с высокими значениями ρ_L кривые вращения прослеживаются, в среднем, до меньших относительных расстояний от ядра. Это может быть связано с разрушением внешних областей их газовых дисков при гравитационном взаимодействии с окружающими галактиками.

1. Введение. Наблюдаемые кривые вращения зависят от глобального распределения массы в галактиках. Знание кривой вращения, наряду с результатами поверхностной фотометрии, позволяет построить детальную динамическую модель галактики (например, [1,2]). Форма кривой вращения определяется соотношением между тремя основными составляющими - балджем, диском и темным гало. Кривые вращения спиральных галактик ранних морфологических типов с массивным балджем, как правило, быстро достигают максимума и показывают большие значения максимальной скорости вращения V_{\max} . Галактики поздних типов чаще имеют более полого возрастающие кривые вращения с меньшими значениями V_{\max} . Общая форма кривой вращения зависит также от массы галактики - массивные объекты чаще показывают медленно спадающие кривые вращения, а маломассивные, как правило, демонстрируют рост скорости вращения вплоть до последней измеренной точки (например, [3]).

Неизолированные галактики, то есть галактики с близкими спутниками, взаимодействующие и т.д. нередко показывают пекулярные, несимметричные кривые вращения. Например, у них чаще, чем у относительно изолированных галактик, встречаются кривые вращения с глобальным максимумом и последующим падением [4,5]. В тесных взаимодействующих системах галактики, возможно, имеют более низкие наблюдаемые значения V_{\max} , соотношение Талли-Фишера для них также, вероятно, отклоняется от стандартного [6,7].

Современные космологические численные расчеты в рамках CDM-

сценария свидетельствуют, что свойства темных гало, а именно они, вероятно, определяют форму кривых вращения во внешних областях спиралей, могут зависеть от их пространственного окружения (например, [8]). Целью настоящей заметки является исследование кривых вращения спиральных галактик в разном *крупномасштабном* пространственном окружении.

2. *Выборка галактик.* Мы рассмотрели выборку, состоящую из 51 галактики с высокоточными протяженными кривыми вращения, описанную в [9]. Выборка однородна по морфологическим типам - все галактики относятся к Sb-Sc спиральям.

Для каждой галактики по данным NED¹ были отобраны все внегалактические объекты, находящиеся в проекции в пределах 0.5 Мпк ($H_0 = 75$ км/с/Мпк) и имеющие лучевую скорость, отличающуюся не более, чем на 200 км/с от систематической скорости рассматриваемой галактики. (Это оказалось возможным сделать для 30 галактик). Количество спутников, конечно, плохо характеризует реальную пространственную плотность, поскольку они могут очень сильно отличаться по светимости (массе). Поэтому для каждого спутника была найдена его светимость в цветовой полосе *B* (по данным NED) и оценена суммарная объемная плотность светимости ρ_L (в единицах $L_\odot(B)/\text{Мпк}^3$) вокруг каждой их галактик выборки. При фиксированном отношении масса-светимость значение ρ_L характеризует плотность распределения массы. Затем, в зависимости от величины ρ_L , объекты выборки были разбиты на три группы по 10 галактик. В первую группу вошли галактики с малыми значениями плотности светимости, в третью - с большими, а во второй находятся промежуточные объекты. Средние значения ρ_L для галактик в трех подвыборках приведены в табл.1 (ошибки в таблице представляют собой стандартные отклонения среднего).

Как видно по данным табл.1, галактики в третьей группе характеризуются

Таблица 1

СРЕДНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЛАКТИК В ТРЕХ ГРУППАХ

Характеристики	(1) $N=10$	(2) $N=10$	(3) $N=10$
Плотность светимости в радиусе 0.5 Мпк, ρ_L (в ед. $10^3 L_\odot(B)/\text{Мпк}^3$)	0.9 ± 0.4	10.7 ± 1.3	32.4 ± 4.2
Абсол. зв. величина, $M_\odot(B)$	-20.50 ± 0.19	-20.38 ± 0.33	-20.69 ± 0.19
Радиус, R_{25} (кпк)	14.3 ± 1.1	16.5 ± 2.3	19.4 ± 1.5
Максимальная скорость вращения, V_{max} (км/с)	218 ± 18	212 ± 15	256 ± 8
Протяженность кривой вращения (в долях R_{25})	1.82 ± 0.29	1.34 ± 0.18	1.05 ± 0.15
Логарифмический градиент, G	-0.29 ± 0.16	-0.12 ± 0.07	-0.15 ± 0.06

¹ База внегалактических данных NASA/IPAC (NED) работает под управлением Jet Propulsion Laboratory, Калтех, согласно контракту с Национальным управлением авионавтики и космических исследований (США).

почти в 40 раз большей объемной плотностью светимости в пределах 0.5 Мпк по сравнению с объектами первой группы. Среднее число спутников варьируется от 2 (1 подвыборка) до 6 (3 подвыборка). Распределение галактик по морфологическим типам в каждой из групп одинаково, средние абсолютные светимости (получены по данным каталога RC3) очень близки (табл.1). Сравнивая средние характеристики галактик в подвыборках, можно также отметить небольшое увеличение линейного размера (по данным RC3) с ростом ρ_L и повышенное среднее значение максимальной скорости вращения галактик в третьей группе. (Возможной причиной этих отличий может являться наблюдательная селекция - наиболее массивные и большие галактики часто окружены свитой физических спутников, повышающих наблюдательное значение ρ_L).

3. *Протяженность и форма кривых вращения.* На рис.1 приведены кривые вращения для галактик в трех группах. Эти рисунки, а также данные табл.1 наглядно показывают, что средняя относительная протяженность (в долях линейного радиуса R_{25}) кривых вращения уменьшается с ростом ρ_L : отношение средних протяженностей в 1 и 3 группах составляет 1.73 ± 0.52 . Отвлекаясь от возможных эффектов селекции, можно предположить, что меньшая средняя протяженность кривых вращения у объектов третьей подвыборки связана с тем, что периферийные области их HI-дисков (кривые вращения галактик за

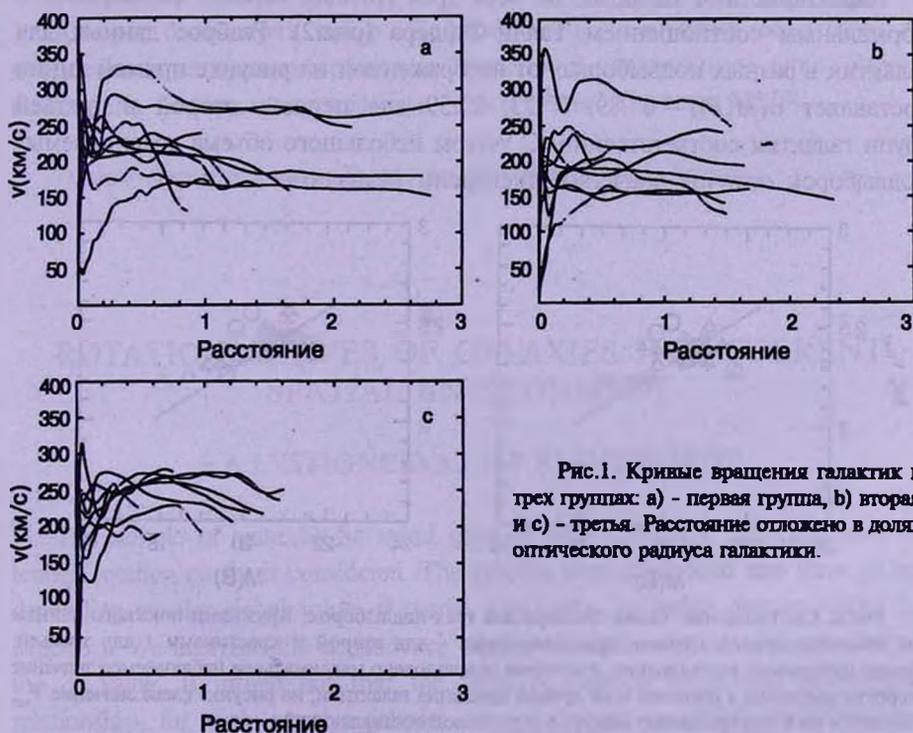


Рис.1. Кривые вращения галактик в трех группах: а) - первая группа, б) вторая и с) - третья. Расстояние отложено в долях оптического радиуса галактики.

пределами оптических дисков найдены по наблюдениям в III) разрушены внешним гравитационным возмущением.

Для анализа формы кривых вращения мы рассмотрели логарифмические градиенты (G) их внешних областей (см. [3]). Градиент G находился как наклон прямой, аппроксимирующей область выраженной в логарифмических координатах кривой вращения от $\frac{2}{3}R_{25}$ до последней измеренной точки. Если $G < 0$, то кривая вращения спадает (скорость вращения уменьшается), при $G > 0$ кривая вращения растет. Средние значения G в трех группах (см. табл.1) меньше нуля и не зависят от ρ_L . Медленно спадающие кривые вращения, подобные рассматриваемым нами, являются вполне типичными для спиральных галактик с $V_{\max} \geq 200$ км/с [3,10].

4. *Соотношение Талли-Фишера.* На рис.2 показано соотношение Талли-Фишера между светимостью галактики и максимальной скоростью вращения. Непрерывной прямой на рисунке изображено стандартное соотношение в полосе B согласно [11]: $M(B) = -7.48 \log V_{\max} - 2.85 (L(B) \propto V_{\max}^3)$. Мы рассмотрели два варианта оценки V_{\max} : 1) по всей кривой вращения и 2) только по ее части после первого локального максимума, связанного скорее всего с балджем галактики. Как видно на рис.2, использование глобального значения V_{\max} приводит к систематическому смещению наблюдаемого соотношения Талли-Фишера от стандартного.

Характеристики галактик во всех трех группах хорошо согласуются с нормальным соотношением Талли-Фишера (рис.2). Разброс данных для галактик в разных подвыборках от изображенной на рисунке прямой линии составляет $\sigma(M(B)) = 0^m.89, 0^m.73, 0^m.59$ для первой, второй и третьей групп галактик соответственно. С учетом небольшого объема сравниваемых подвыборок отличие значений дисперсии незначимо.

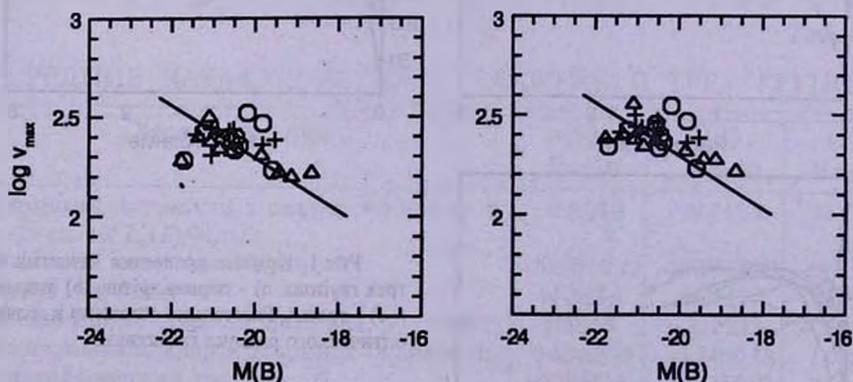


Рис.2. Соотношение Талли-Фишера для трех подвыборок. Кружками показаны данные для объектов первой группы, треугольниками - для второй и крестиками - для третьей. Справа изображено соотношение, в котором использовано максимальное наблюдаемое значение скорости вращения в пределах всей кривой вращения галактики; на рисунке слева значение V_{\max} относится не к центральному циклу, а к дисковой составляющей.

5. *Обсуждение.* Мы рассмотрели выборку из нескольких десятков Sb-Sc спиральных галактик с высокоточными кривыми вращения. В рассматриваемую выборку вошли гигантские галактики, по светимости, размеру и максимальной скорости вращения сравнимые или даже превышающие Млечный Путь (табл.1). Разбив галактики на три группы в зависимости от глобального значения пространственной плотности светимости (массы) в пределах 0.5 Мпк (ρ_L), мы исследовали зависимость характеристик кривых вращения от значения ρ_L .

Оказалось, что для таких массивных галактик форма кривой вращения (логарифмический градиент) и соотношение Талли-Фишера не зависят от глобального пространственного окружения. Единственное найденное отличие состоит в том, что у галактик в областях с высокими значениями ρ_L кривые вращения прослеживаются, в среднем, до меньших относительных расстояний от ядра. Это может быть связано с разрушением внешних областей их газовых дисков при гравитационном взаимодействии с окружающими галактиками.

Ранее было показано, что для взаимодействующих галактик соотношение Талли-Фишера может систематически уклоняться от стандартного соотношения для относительно изолированных галактик [7]. Однако это отличие становится заметным лишь для относительно слабых галактик (с $M(B) \geq -20 \dots -19$), более яркие взаимодействующие галактики удовлетворяют стандартной зависимости. Следовательно, наши результаты не противоречат выводам работы [7].

Авторы благодарят проф. Софу (Y.Sofue, University of Tokyo) за предоставление кривых вращения галактик в электронном виде. Работа выполнена в рамках программы "Интеграция" (проект N578).

Санкт-Петербургский государственный университет, Россия

ROTATION CURVES OF GALAXIES IN DIFFERENT SPATIAL ENVIRONMENT

E.A.EVSTIGNEEVA, V.P.RESHETNIKOV

The sample of giant Sb-Sc spiral galaxies with accurately measured and extended rotation curves is considered. The galaxies were subdivided into three groups depending on the global value of spatial luminosity (or mass) density within 0.5 Mpc (ρ_L). We analyzed the dependence of characteristics of the rotation curves on the ρ_L value. It turned out that the form of rotation curve and Tully-Fisher relationship for such massive galaxies do not depend on global spatial environ-

ment. The only distinction is the galaxies rotation curves in the regions with high values of ρ_L are followed, on the average, to smaller relative distances from nucleus. This may be connected with the distortion of the outer parts of their gaseous disks in the case of gravitational interaction with surrounding galaxies.

ЛИТЕРАТУРА

1. *А.В.Засов*, Физика галактик, МГУ, 1993.
2. *В.Г.Горбацкий*, Введение в физику галактик и скоплений галактик, Наука, М., 1986.
3. *S.Casertano, J.H. van Gorkom*, *Astron. J.*, 101, 1231, 1991.
4. *А.В.Засов, Г.А.Кязумов*, Письма в Астрон. ж., 6, 264, 1980.
5. *А.В.Засов, Г.А.Кязумов*, *Астрон. ж.*, 60, 656, 1983.
6. *V.P.Reshetnikov*, *A&SS*, 191, 49, 1992.
7. *V.P.Reshetnikov*, *A&SS*, 211, 155, 1994.
8. *S.Bullock, T.S.Kolatt, Y.Sigad et al.*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* (в печати), 2000, (astro-ph/9908159).
9. *Y.Sofue, Y.Tutui, A.Tomita et al.*, *Astrophys. J.*, 523, 136, 1999.
10. *M.Persic, P.Salucci, F.Stel*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* 281, 27, 1996.
11. *M.J.Pierce, R.B.Tully*, *Astrophys. J.*, 387, 47, 1992.