

АСТРОНОМИЯ

УДК 523.855

**СФЕРИЧЕСКИ-СИММЕТРИЧНАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ГАЛАКТИК
В ДВОЙНЫХ СИСТЕМАХ. I. НАБЛЮДЕНИЯ И ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИ**

В. В. Демин, М. В. Сажин

(ГАИШ)

1. Введение. В последние годы при изучении двойных галактик наметился подход, при котором эволюция этих систем сравнивается с эволюцией двойных звезд [1, 2]. Действительно, как и двойные звезды, компоненты пар галактик гравитационно связаны и движутся по замкнутым кеплеровским орбитам [3]. Среди галактик, как и среди звезд, тесные случайные сближения крайне редки [4]. Таким образом, большая часть компонентов двойных галактик образовалась вместе на ранних стадиях эволюции этих систем. В тесных парах галактик, где компоненты находятся в контакте друг с другом, они должны испытывать сильные взаимные воздействия, что тоже сближает их эволюцию с эволюцией тесных двойных звезд. При этом возникает вопрос: насколько далеко можно продолжить аналогию между двойными звездами и парами галактик, если учесть существующие между этими объектами значительные различия?

В первую очередь масштабы процессов в системах галактик значительно больше, чем в системах звезд. Для близких двойных звезд удается измерить характеристики их орбитального движения (лучевые скорости, позиционные смещения компонентов и т. д.), в то время как для двойных галактик оказывается невозможным определить параметры орбит из-за слишком больших периодов обращения ($T \sim (3 \div 5) \cdot 10^8$ лет [1]). Единственной с этой точки зрения наблюдательной информацией в случае двойных галактик является разность лучевых скоростей компонентов и средняя лучевая скорость пары. Тем не менее, опираясь на закон Хаббла, можно использовать последнюю для определения расстояния до двойной системы от наблюдателя и вычислить ее абсолютные характеристики по наблюдаемым угловым.

Одной из важнейших характеристик двойной системы, определяющей ее эволюцию, является масса компонентов. При изучении двойных звезд возможно определение массы компонентов отдельной звездной системы по наблюдаемым параметрам их орбитального движения. Основным источником информации о массах галактик является измерение внутренних движений звезд и газа. Но имеющийся в наличии материал, полученный такими методами, пока еще крайне беден. Другие методы определения масс галактик (например, по теореме о вириале), как показывают многочисленные исследования, дают крайне противоречивые результаты. Поэтому чаще всего для определения масс двойных галактик прибегают к статистическим методам исследования.

В работе [1] применен метод оценки массы галактик пары по орбитальным движениям, который опирается на предположение о движении компонентов по замкнутым кеплеровским орбитам. В этом случае можно определять не только массы центральных частей компонентов пары, но и массу протяженных периферийных частей ее компонентов.

С другой стороны, при изучении орбитального движения и эволюции двойных звезд массы составляющих можно считать точечными и не учитывать вклад оболочки (иногда очень протяженной) в общий потенциал из-за его малости. Для галактик такое предположение неприемлемо. Распределение массы в них не точечное, т. е. «оболочка» вносит существенный вклад в общий потенциал системы. С этой точки зрения определение массы и ее распределения для компонентов двойных галактик приобретает первостепенное значение для дальнейшего изучения этих систем.

Несмотря на такие существенные различия, мы считаем, что аналогия между двойными звездами и двойными галактиками может оказаться очень полезной при исследовании физических свойств и эволюции галактик пар.

В настоящей работе сделана попытка изучить распределение потенциала в двойных галактиках, основываясь на средних статистических параметрах этих систем. Поэтому рассмотрим сначала имеющиеся в наличии наблюдательные данные.

2. Наблюдательные данные. К настоящему моменту времени наиболее полный наблюдательный материал имеется для хорошо определенной выборки двойных галактик из каталога [5]. Ограничиваемся здесь рассмотрением только пар *EE*-типа, компонентами которых являются эллиптические и линзовидные галактики. Данные о подробной морфологической классификации членов выборки будут приведены в готовящейся к печати монографии И. Д. Караченцева (Караченцев И. Д. Двойные галактики. М.: Наука, 1986). Для того чтобы исключить оптические ложные пары, используем условие, при котором для физических пар отношение массы к светимости $f < 100f \odot$ [6].

Как показано в работе [7], при сходстве средних параметров (светимостей, размеров, отношений орбитальной массы к светимости и т. д.) двойные галактики обнаруживают различие средних значений проекций взаимных расстояний и разностей лучевых скоростей компонентов в зависимости от морфологического состава пар. Поэтому здесь рассматривается более подробное разделение выборки по морфологическим типам членов. Наличие взаимодействия также приводит к существенным различиям фотометрических, кинематических и других свойств двойных галактик. В данном случае мы разбиваем изучаемые пары на две подвыборки — взаимодействующих и невзаимодействующих систем. Как будет показано в дальнейшем, это существенно для настоящего исследования, хотя и значительно обедняет статистику.

Средние интегральные характеристики рассматриваемых подвыборок двойных галактик, вычисленные по неопубликованным данным Караченцева, приведены в табл. 1: A_1 , A_2 — средние размеры большой оси (в кпк) первого и второго по яркости компонентов для *EE*-пар и эллиптических и линзовидных галактик в парах типа *E-SO* соответственно, вычисленные до изофоты $25^m/\square''$ при постоянной Хаббла $H = 75$ км/с · Мпк; X — средние значения проекции линейного расстояния между компаньонами, вычисленные по средней лучевой скорости пары; e_1 , e_2 — средние сжатия компонентов большей и меньшей светимостей в парах *EE*-типа и эллиптических и линзовидных галактик в парах *E-SO* соответственно; L_2/L_1 — средние отношения светимостей компо-

нентов (в случае $E-SO$ пар отношения L_{SO}/L_E), вычисленные по фотографическим звездным величинам компонентов при $M_{\odot} = 5, 40^m$; ΔV_0 — средние значения разностей лучевых скоростей компаньонов; n — число двойных систем в подвыборке.

Анализ данных табл. 1 показывает, что взаимодействующие и не взаимодействующие пары имеют сходные средние статистические параметры, за исключением проекций линейного расстояния между компонентами. По аналогии с двойными звездами к контактными системам

Таблица 1

Средние параметры выборок	$E-E$		$E-SO$	
	взаимодействующие	не взаимодействующие	взаимодействующие	не взаимодействующие
A_1 , кпк	$34,2 \pm 2,6$	$33,8 \pm 4,1$	$26,0 \pm 3,7$	$27,1 \pm 4,3$
A_2 , кпк	$27,4 \pm 2,2$	$26,8 \pm 3,7$	$26,7 \pm 2,6$	$24,6 \pm 2,9$
X , кпк	$14,7 \pm 1,8$	$55,6 \pm 9,7$	$19,5 \pm 3,4$	$28,8 \pm 9,0$
e_1	$0,88 \pm 0,03$	$0,82 \pm 0,03$	$0,71 \pm 0,06$	$0,81 \pm 0,06$
e_2	$0,89 \pm 0,02$	$0,76 \pm 0,04$	$0,79 \pm 0,04$	$0,52 \pm 0,09$
L_2/L_1				
(L_{SO}/L_E)	$0,71 \pm 0,04$	$0,77 \pm 0,07$	$0,85 \pm 0,05$	$0,65 \pm 0,07$
ΔV_0 , км/с	213 ± 28	161 ± 40	211 ± 51	215 ± 46
n	30	15	12	10

относим взаимодействующие галактики, сумма радиусов компонентов которых превышает среднее значение проекции линейного расстояния между ними. Тогда не взаимодействующие галактики являются разделенными.

Основываясь на полученных средних статистических оценках параметров двойных систем, рассмотрим распределение гравитационного потенциала в парах рассматриваемых типов.

3. Выбор и параметры модели. Для бесстолкновительных систем, какими являются эллиптические галактики, характерно отсутствие каких-либо структурных деталей, кроме сильно конденсированных ядер [8]. Как следует из наблюдений, для всех E -галактик имеется общий закон распределения поверхностной яркости [9] и, следовательно, распределения массы. В работах [3, 10, 11] двумя различными методами было показано, что в парах галактик отсутствуют массивные короны и вся масса компонентов сосредоточена в пределах радиуса R_{25} (до $25^m/\square''$). Этот вывод существенно облегчает анализ распределения гравитационного потенциала в системах EE -типа. Предположение о сферической симметрии компонентов EE -пар также не противоречит наблюдательным данным (см., например, средние сжатия в табл. 1), а отсутствие массивных корон позволяет при изучении двойных систем указанного типа считать массы компаньонов сосредоточенными в центрах галактик. В свою очередь это дает возможность использовать хорошо известную модель Роша для двойных галактик по аналогии с двойными звездными системами. Для таких систем рассчитаны поверхности нулевой скорости для движения материальной точки в поле тяжести двух масс в зависимости от отношения масс звезд $q = M_2/M_1$ и взаимного расстояния между ними. В монографии Караченцева будут опубликованы данные о суммарных орбитальных массах для каждой пары галактик. Для определения масс отдельных компонентов в

настоящей работе использованы два предположения. Первое относится к наблюдательной зависимости массы галактики от ее радиуса [12] (соответственно диаметр — светимость) и сводится к утверждению, что она справедлива и для компонентов пар, поэтому при определении средних параметров выборка разбита на компоненты большего и меньшего размера (большей и меньшей светимости). Считаем, что такое предположение отражает распределение массы между компонентами в паре. В работах [11, 13] показано, что существует корреляция между отношениями массы к светимости для компонентов пар типа *SS*. Поэтому при равенстве средних геометрических, кинематических и других параметров галактик, входящих в пары *EE*-, *ES*-, *SS*-типов, вполне допустимо существование корреляции M/L для компонентов *EE*-пар. Это дает право заменить отношение масс компонентов отношением их светимостей.

В настоящей работе для расчетов эквипотенциальных поверхностей для двойных систем типа *EE* была использована методика, изложенная в [14]. Полученные результаты (параметры полостей Роша) приведены в табл. 2. Здесь сохранены обозначения, применяемые в [14]. Причем в табл. 2 не указаны предельные отклонения от табулированных значений, вносимые пределами точности наблюдательных данных, так как последние незначительно влияют на параметры полостей Роша.

На рисунке показаны сечения предельных поверхностей нулевой

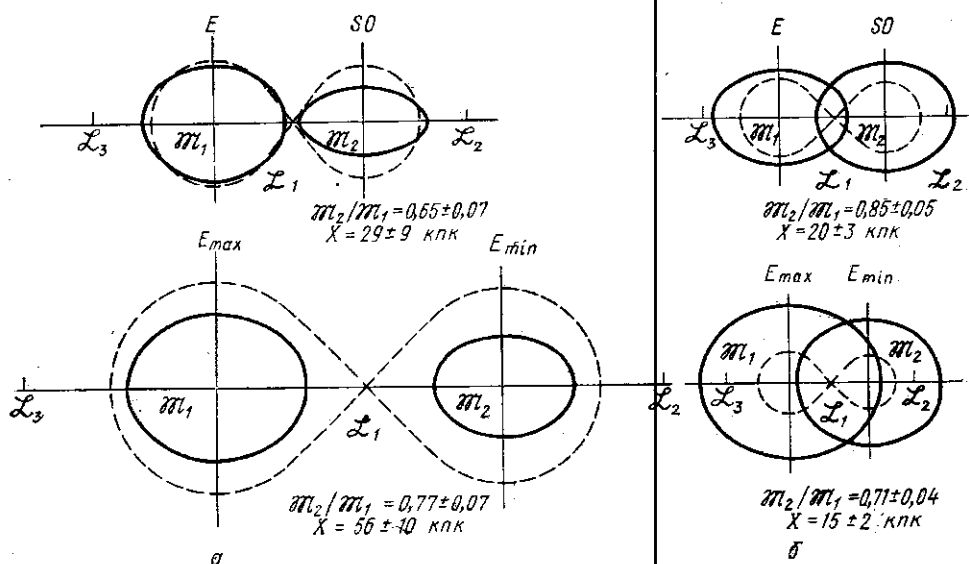
Таблица 2

Тип системы		q	$-\rho_{L_s}$	$-\rho_1$	ρ_3	ρ_8	ρ_{L_2}	$\eta(m_1)$	$\xi(m_1)$	$\eta(m_2)$	$\xi(m_2)$
<i>E-E</i>	взаимодействующие	$0,71 \pm 0,04$	$-0,75$	$-0,43$	$0,53$	$1,37$	$1,64$	$0,40$	$0,38$	$0,34$	$0,33$
	невзаимодействующие	$0,77 \pm 0,07$	$-0,74$	$-0,43$	$0,53$	$1,38$	$1,65$	$0,40$	$0,38$	$0,35$	$0,33$
<i>E-SO</i>	взаимодействующие	$0,85 \pm 0,05$	$-0,72$	$-0,42$	$0,52$	$1,39$	$1,67$	$0,38$	$0,36$	$0,36$	$0,34$
	невзаимодействующие	$0,65 \pm 0,07$	$-0,77$	$-0,44$	$0,54$	$1,37$	$1,63$	$0,41$	$0,39$	$0,34$	$0,32$

Тип системы		q	$r_{1\xi}$	$r_{2\xi}$	$r_{1\eta}$	$r_{1\xi}$	$r_{2\eta}$	$r_{2\xi}$	l_1	l_2
<i>E-E</i>	взаимодействующие	$0,71 \pm 0,04$	$0,49$	$0,42$	$0,41$	$0,38$	$0,34$	$0,33$	$0,05$	$0,96$
	невзаимодействующие	$0,77 \pm 0,07$	$0,48$	$0,43$	$0,40$	$0,38$	$0,35$	$0,33$	$0,05$	$0,95$
<i>E-SO</i>	взаимодействующие	$0,85 \pm 0,05$	$0,47$	$0,44$	$0,39$	$0,37$	$0,36$	$0,34$	$0,05$	$0,95$
	невзаимодействующие	$0,65 \pm 0,07$	$0,50$	$0,41$	$0,41$	$0,39$	$0,34$	$0,32$	$0,05$	$0,96$

скорости для моделируемых пар *EE*- и *E-SO*-типов при наличии и отсутствии взаимодействия, имеющих средние статистические характеристики, полученные по неопубликованным данным Караченцева. Сле-

дует заметить, что на рисунке выбран частный случай ориентации осей компонентов, когда малые оси их параллельны. Как показали измерения позиционных углов осей галактик пар [11], взаимная ориентация спилов у двойных галактик не обнаруживает признаков упорядоченности, а большие оси галактик хаотически ориентированы относительно линии, соединяющей их центры.



Сечения в меридиональной плоскости предельных поверхностей Роша (пунктирные линии) для двойных систем со средними статистическими параметрами EE - и $E-SO$ -типов: a — невзаимодействующих; b — взаимодействующих (L_1, L_2, L_3 — точки Лагранжа)

Из рисунка видно, что заполнения компонентами полостей Роша во взаимодействующих и невзаимодействующих системах существенно различаются. Рассмотрим возможные причины такого различия.

4. Обсуждение результатов. В работе [7] отмечалось, что для взаимодействующих систем, компонентами которых являются эллиптические и линзовидные галактики, характерно наличие аморфных атмосфер, покрывающих оба члена системы. Так как измерения размеров производились по фотографическим изображениям галактик до определенной изофоты, то вряд ли учитывался вклад общей оболочки в полученные результаты. В данном случае можно предположить, что приведенные в [5] диаметры компонентов, а следовательно, и их светимости переоценены. Но такое предположение не объясняет, почему во взаимодействующих системах оба компонента превышают свои полости Роша по размерам столь значительно, тем более что такая переоценка не может сильно сказаться на отношении светимостей, используемых в данной работе для определения масс компонентов.

Более вероятным является то, что методика расчета параметров полостей Роша, изложенная в [14], неприменима в случае взаимодействующих систем EE -типа. Для них существенную роль играют эффекты приливного влияния компаньонов. Это может приводить к перераспределению массы в компонентах, так что нарушается условие сферической симметрии. К тому же становится значительным вклад оболочек членов в общий потенциал системы, на который оказывает влияние и распределение вещества в единой атмосфере пары.

В работе [2] обсуждается возможность применения «триггерного» механизма звездообразования при обмене веществом между компонентами двойной системы, оказавшего на ранних стадиях существенное влияние на эволюцию этих галактик. С этой точки зрения применение модели Роша представляется перспективным. Случаи искажения структуры наблюдаются чаще всего у компонентов более высокой светимости в паре, что свидетельствует в пользу модели, когда более яркие галактики полностью заполняют свои полости. При этом, учитывая неустойчивость равновесия в конечной точке, можно предположить существование перетекания вещества в двойной системе. Поэтому модель может служить в качестве первого приближения для двойных галактик этого типа даже в случае взаимодействующих галактик, о чем свидетельствует, например, само наличие общей оболочки, состоящей, по-видимому, из звезд, утерянных обеими галактиками.

Учитывая сказанное выше, договоримся в дальнейшем рассматривать только разделенные системы EE -типа. Применимость модели Роша для этих двойных галактик и попытки согласовать модель с наблюдениями предполагается обсудить в следующей работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Караченцев И. Д. Докт. дис. Н.-Архыз, 1980. [2] Демин В. В. Астрон. журн., 1984, 61, с. 1063. [3] Караченцев И. Д. Астрофизика, 1981, 17, с. 429. [4] Огородников К. Ф. Динамика звездных систем. М.: Физматгиз, 1958. [5] Караченцев И. Д. Каталог изолированных пар галактик северного неба. Со-обш. САО, 1972, вып. 7, с. 3. [6] Караченцев И. Д. Астрофизика, 1980, 16, с. 217. [7] Караченцев И. Д. Астрофизика, 1981, 17, с. 675. [8] Поляченко В. Л., Фридман А. М. Равновесие и устойчивость гравитирующих систем. М.: Наука, 1976. [9] Strom K. M., Strom S. E. Astron. J., 1978, 83, p. 73. [10] Караченцев И. Д. Астрофизика, 1981, 17, с. 249. [11] Караченцев И. Д., Минева В. А. Письма в Астрон. журн., 1984, 10, с. 563. [12] Озерной Л. М. Астрон. цирк., 1967, № 422, с. 1—6. [13] Dickel J. R., Rood H. J. Astron. J., 1980, 85, p. 1003. [14] Затменные переменные звезды. Под ред. В. Цесевича. М.: Наука, 1971.

Поступила в редакцию
16.05.84