

11.3. Структура галактик

Галактики удобно представить состоящими из отдельных компонентов, отличающихся различным пространственным распределением яркости или плотности, хотя резкой границы между ними может и не существовать. Три самых главных «барионных» компонента — это звездный диск, газопылевой диск и сфероидальный звездный компонент, наиболее яркая внутренняя часть которого называется балдж (англ. *bulge* — вздутие), а внешняя — звездное гало. Граница между балджем и гало достаточно условна. На обычных фотографиях галактик звездное гало, как правило, не выделяется из-за низкой яркости.

Если звездные компоненты наблюдаются по оптическому излучению, то о присутствии газопылевого слоя (диска) можно судить по наличию пылевых прожилок, свидетельствующих о концентрации межзвездной пыли, и по областям ионизованного водорода, обладающих эмиссионным спектром. Особенно четко газопылевой диск проявляется в галактиках, ориентированных «с ребра», где он выглядит как темная полоса, пересекающая галактику по большой оси.

В зависимости от соотношения между яркостями или размерами перечисленных компонентов галактики относят к тому или иному морфологическому типу. Те из них, в которых дисковые компоненты слабоконтрастны или совсем не обнаруживают себя, называют эллиптическими (E), остальные галактики относят к дисковым. Те, в свою очередь, подразделяются на линзовидные (S0), спиральные (S) и неправильные (Irr). Диски галактик S содержат спиральные ветви (в некоторых случаях они вырождаются в кольца). Галактики S0 по своей структуре не отличаются от S, за исключением того, что в них отсутствует четкий спиральный узор, что в первую очередь связано с низким содержанием газа в диске. Причина этого может быть различной. Некоторые галактики успели израсходовать газ в процессе звездообразования, другие — лишились его в результате «выметания» лобовым давлением со стороны межгалактического газа, в котором они движутся или когда-то двигались с большими скоростями (в сотни км/с). Причина отсутствия спиральных ветвей у Irr-галактик иная, связанная, по-видимому, с более низкой плотностью звездных дисков. В целом, связь структуры и классификации галактик можно представить в виде таблицы 11.3.

Исходя из степени «гладкости» (клочковатости) спиральных ветвей, а также в зависимости от того, являются ли ветви туго закручен-

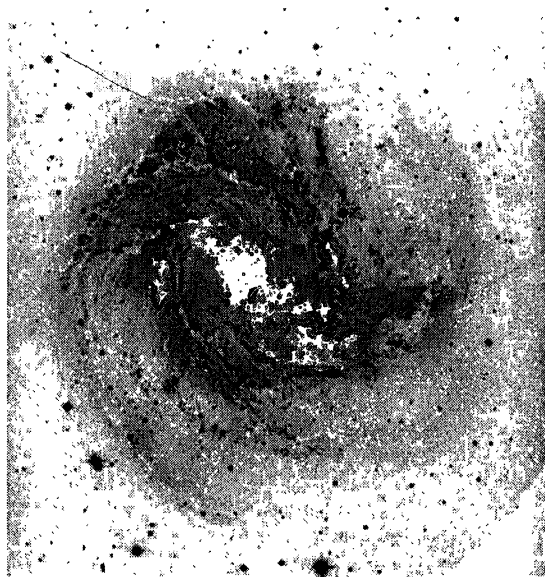


Рис. 11.2. Вид спиральной галактики M83 (негатив).

ными или раскидистыми, и какова относительная светимость балджа и диска, спиральные галактики принято разделять на подтипы Sa, Sb, Sc и Sd с промежуточными значениями: S0a, Sab, Sbc и Scd. Вдоль этой последовательности ветви становятся более клочковатыми, более раскидистыми, а относительная светимость балджа в среднем уменьшается. Если перечисленные критерии плохо согласуются между собой, то при классификации галактик обычно предпочтение оказывают первому фактору (гладкость ветвей). Яркие локальные области в спиральных ветвях, создающие впечатление «клочковатости», связаны с областями звездообразования, поэтому классификация спиралей на подтипы качественно отражает интенсивность этого процесса в галактике. Но следует иметь в виду, что разбиение на подтипы — это не физическая, а чисто морфологическая классификация, определяемая «на глаз», причем часто зависящая от качества изображения и спектрального диапазона, в котором оно получено. Поэтому классификация спиральных галактик достаточно условна, и во многих случаях морфологический класс галактики по оценкам различных авторов отличается более чем на один подтип. Связь морфологического типа спиральных галактик с

Таблица 11.3. Основные элементы структуры галактик различных типов

	E	S0	Sa-Sd	Irr
Сфероидальный компонент	Галактика целиком	Есть	Есть	Очень слаб
Звездный диск	Нет или слабо выражен	Есть	Основной компонент	Основной компонент
Газо-пылевой диск	Нет	Нет или очень разрежен	Есть	Есть
Спиральные ветви	Нет или только вблизи ядра	Нет или слабо контрастные	Есть	Нет
Активные ядра	Встречаются	Встречаются	Встречаются	Нет

их физическими параметрами, бесспорно, существует, но лишь на статистическом уровне.

При наличии вытянутого образования в центральной части — бара (перемычки) — в обозначении галактик появляется буква B, например: SB0, SBc. Нашу Галактику по совокупности данных обычно относят к типу SBbc. Бары состоят из звезд и газа и относятся к дисковой подсистеме. Спиральные галактики с четко выраженными барами составляют около трети общего числа. Но часто бар бывает слабоконтрастным, и его сложно обнаружить из-за локальных флуктуаций яркости диска, связанных с неоднородным распределением пыли и областей звездообразования. Когда появилась возможность исследовать изображения большого числа спиральных галактик в ближнем ИК диапазоне, где влияние пыли и молодых звезд на яркость значительно ниже, чем в видимом свете, то выяснилось, что к бар-галактикам можно отнести более двух третей спиралей.

Далеко не все галактики четко вписываются в классификационную схему. Так, выделяется несколько разновидностей карликовых галактик со светимостью ниже $10^9 L_{\odot}$, со своими особенностями структуры, делающих их не похожими на «классические» эллиптические или спиральные галактики (в частности, некоторые из них отличаются малыми размерами и высокой поверхностной яркостью, некоторые же, наоборот, выглядят бесструктурными звездными системами очень низкой поверхностной яркости, так что трудно отнести их форму к дисковой или сфероидальной). А у нескольких процентов спиральных галактик структура сильно искажена взаимодействием с соседними галактиками, что затрудняет их классификацию (взаимодействующие галактики, сливающиеся галактики).



Рис. 11.3. Спиральная галактика «Сомbrero» (тип Sa) с мощным балджем, диск которой виден почти с ребра.

В большинстве случаев азимутально усредненное распределение поверхностной яркости $I(R)$ в широком, но конечном интервале радиальной координаты R достаточно хорошо аппроксимируется простым законом (закон Серсика), содержащим три свободных параметра:

$$\ln(I/I_0) = -(R/R_0)^{1/n},$$

где I_0 — центральная яркость, R_0 — радиальная шкала диска, а n — параметр Серсика. Для дискового компонента обычно $n = 1$ (чему соответствует экспоненциальный закон падения яркости), а для балджей галактик различных типов $1 < n < 4$, возрастая (в среднем) с ростом относительной светимости балджа. Для эллиптических галактик, как и для балджей галактик S0–Sa, обладающих высокой светимостью, обычно $n = 4$ (закон, найденный Вокулером и носящий его имя).

Закон Серсика является чисто эмпирическим, не вытекающим из какой-либо физической модели. Однако в численных моделях удается воспроизвести наблюдаемые радиальные профили яркости звездных компонент как результат динамической эволюции галактик. Так, оказалось, что при слиянии двух сопоставимых по массе звездных систем образуется одна система с распределением плотно-

сти, близким (после интегрирования по лучу зрения) к закону Воккера ($n = 4$).

Экспоненциальное спадание яркости, а следовательно, и плотности диска ($n = 1$) воспроизводится в моделях, в которых формирование звездного диска из первоначального газового диска контролируется двумя взаимно обусловленными процессами: перераспределением момента импульса внутри вращающегося газового диска из-за вязкости межзвездного газа и превращением газа в звезды (Дж. Прингл). Угловая скорость вращения диска всегда падает с удалением от центра, так что момент импульса передается от центра наружу, вызывая перераспределение плотности газа. Оба процесса — переход газа в звезды и изменение его момента импульса — при этом должны иметь близкие характерные времена развития (темп перехода газа в звезды пропорционален эффекту вязкости, которая обусловлена турбулентным движением газа в дифференциально вращающемся диске). Однако возможны и другие объяснения наблюдаемого распределения вещества.

Важной и до конца не объясненной особенностью дисков является то, что центральная (вернее, экстраполированная на центр) яркость I_0 почти не коррелирует ни с размером, ни со светимостью галактики и для большинства наблюдаемых галактик заключена в сравнительно узких пределах $21-22^m$ /кв. сек в диапазоне V^3 . Это свидетельствует о том, что центральная поверхностная плотность галактических дисков, обусловленная звездами, независимо от массы галактики, ограничена сверху определенным значением (несколько сотен M_{\odot} в столбике с площадью сечения 1 пк^2). Для сравнения: диск нашей Галактики в окрестности Солнца имеет поверхностную плотность $50-60 M_{\odot}/\text{пк}^2$.

Во многих галактиках высокой светимости, помимо основного диска, в центральной области наблюдается динамически обособленный газо-звездный диск с характерным диаметром $1-2$ кпк. Как правило, такой околядерный диск имеет эмиссионный спектр, что отражает наличие газа и активно происходящее в нем звездообразование. Околядерные диски встречаются не только у спиральных, но и

³Обнаружен, однако, редко встречающийся тип галактик, центральная яркость диска которых на несколько звездных величин слабее. Они называются LSB (от англ. *Low Surface Brightness*)-галактиками. Диск некоторых из них даже в центральной части имеет яркость, существенно более низкую, чем яркость темного ночного неба, на фоне которого они наблюдаются.

у линзовидных и эллиптических галактик. Часто такой околоядерный диск не компланарен основному диску. Его происхождение и особенности эволюции являются предметом изучения. Околоядерные диски могут играть большую роль в возникновении активных галактических ядер, однако их вклад в общую массу или светимость галактики всегда незначителен.

11.4. Движение газа и звезд

11.4.1. Столкновение звезд и время релаксации

Каждая звезда в галактике движется по своей (в общем случае, незамкнутой) траектории в гравитационном поле галактики. Движение звезд в любом элементе объема характеризуется, помимо средней (по времени) скорости вращения вокруг центра галактики, еще и собственными случайными скоростями отдельных звезд, или дисперсией скоростей, которая в общем случае различна по разным направлениям. От соотношения между скоростью вращения и компонентами дисперсии скоростей во многом зависит форма и структура галактики.

Важным свойством звездных систем (как звездных скоплений, так и галактик) является бесстолкновительный характер движения звезд. Это связано с тем, что звезды расположены в пространстве очень редко. Так, в окрестности Солнца средняя концентрация звезд с массой порядка солнечной или выше — одна звезда на кубический парсек ($n_* \approx 3 \cdot 10^{-56} \text{ см}^{-3}$). В звездных скоплениях концентрация звезд на 1–3 порядка выше.

Столкновения — это не обязательно соприкосновение сблизившихся звезд (в таком случае говорилось бы о соударении). Две гравитационно не связанные материальные точки, притягивающие друг друга, будут двигаться по гиперболическим траекториям, и, пройдя на близком расстоянии друг от друга, сохранят полную энергию, изменив, однако, направление движения — то есть итог будет таким же, как для шаров, испытавших абсолютно упругий удар.

Оценим грубо эффективное сечение такого динамического «столкновения» для двух точек (звезд) одинаковой массы. Будем рассматривать сближение звезд в системе центра масс (рис. 11.4), в которой звезды на бесконечном расстоянии друг от друга имели скорость V_0 . Если бы звезды не испытывали взаимного притяжения, они двигались бы по прямым и на минимальном расстоянии d друг