

ГАЛАКТИКА

Авторы: Ю. Н. Ефремов

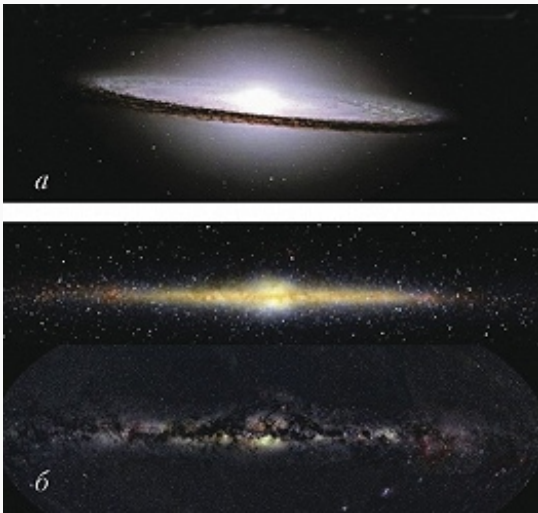


Рис. 1: а – спиральная галактика NGC 4594 (Сомbrero); б – Млечный Путь в инфракрасном (вверху) и оптическом (внизу) диапазонах (изображение охватывает всё небо, центр Галактики в середине)...

ГАЛАКТИКА, Млечный Путь (от греч. γαλακτιχός – молочный, млечный), огромная звёздная система, в которую входит звезда – Солнце. Наша Г. – одна из триллионов таких систем ([галактик](#)) во [Вселенной](#). Общее число звёзд в Г. не менее 100 млрд.; большинство звёзд, включая Солнце, находятся в дискообразной системе, видимой на небе как светлая полоса Млечного Пути. В состав Г. входят также десятки тысяч [звёздных скоплений](#) и множество облаков межзвёздного вещества, содержащих в осн. водород и гелий. Есть данные, что, кроме обычного вещества, в Г. в огромном количестве имеется невидимое вещество неизвестной пока природы, проявляющее себя только гравитационным притяжением; оно распределено гл. обр. на

далёкой периферии Г. Солнце находится на расстоянии ок. 8 кпк (26 тыс. световых лет) от центра Г. и обращается вокруг него с периодом ок. 230 млн. лет. Строение, кинематику и динамику Г. изучает [звёздная астрономия](#).

Открытие Галактики

Первые телескопич. наблюдения, проведённые Г. [Галилеем](#) (1610), показали, что Млечный Путь представляет собой множество слабых звёзд. Впервые попытку изучить строение системы Млечного Пути предпринял в кон. 18 в. У. [Гершель](#),

который установил, что пространственная плотность звёзд убывает с расстоянием от плоскости Млечного Пути и от Солнца. Согласно Я. Каптейну (1922), звёздная система имеет форму двояковыпуклой линзы диаметром ок. 20 кпк, на расстоянии всего 650 пк от её центра находится Солнце. Кажущееся увеличение плотности звёзд к Солнцу объясняется неизвестным до 1930-х гг. поглощением света в пространстве.

В 1919 Х. [Шепли](#) пришёл к выводу, что находящийся в направлении созвездия Стрельца центр сфероидальной системы шаровых звёздных скоплений является одновременно и центром дискообразной звёздной системы. Определив с помощью звёзд с известной светимостью положение в пространстве ок. 70 шаровых скоплений, Шепли установил, что расстояние от Солнца до центра, лежащего в созвездии Стрельца, составляет 50 тыс. световых лет, а вся система Млечного Пути простирается на 300 тыс. световых лет.

Таким образом, в нач. 1920-х гг. существовали две системы мироздания: по Шепли, Солнце находится на окраине звёздной системы, а в мире Каптейна, который был намного меньше, Солнце располагалось вблизи центра. Однако обе эти системы не отвечали на вопрос, что же находится за пределами Млечного Пути, хотя ещё в 18 в. высказывалось предположение, что многочисл. «слабые туманности» являются огромными звёздными системами, сравнимыми с нашей. В нач. 20 в. было уже практически установлено, что самая яркая туманность – М31 в созвездии Андромеды – состоит из звёзд. Однако до 1925 большинство астрономов полагало, что звёздная система Млечного Пути есть вся Вселенная.

Проблема была окончательно решена в 1925, когда Э. П. [Хаббл](#) опубликовал результаты изучения в М31 переменных звёзд – [цефеид](#). Из зависимости «период – светимость» для этих звёзд было определено расстояние до «туманности» – ок. 1 млн. световых лет. Стало очевидным, что и М31, и система Млечного Пути, и бесчисленные «слабые туманности» являются огромными звёздными системами – галактиками. Открытие населённой галактиками Вселенной стало и открытием нашей Г. как одной из множества подобных систем. Появилась возможность сравнивать нашу звёздную систему с др. галактиками и, наоборот, опираться при их изучении на знания о нашей Галактике.

Подсистемы Галактики

В Г. можно выделить центральное вздутие (*балдж*, утолщение), протяжённую дискообразную подсистему и окружающую их *галактическую корону* (гало) – эллипсоидальную подсистему, объекты которой концентрируются к центру. Эти главные составляющие Г. хорошо видны на фотографиях спиральных галактик, наблюдаемых почти «с ребра». Диск и балдж Г. можно непосредственно увидеть на изображениях Млечного Пути в ИК-лучах (рис. 1).

Подсистемы Г. образованы звёздами разного возраста и химич. состава. Как и во всех спиральных галактиках, в ней имеются два осн. типа *звёздного населения*. К населению I относятся Солнце, рассеянные звёздные скопления, звёзды спектральных классов O и B, звёзды-сверхгиганты, в т. ч. цефеиды, а также облака газа и пыли; все они концентрируются к плоскости Г. Атомарный водород прослеживается до расстояний ок. 17 кпк от центра, на краях Г. его слой отклоняется до 1 кпк от экваториальной плоскости. Примерно до таких же расстояний простирается и плоская система молодых звёзд, толщина которой, как и газа, ок. 100 пк. Объекты населения II (шаровые скопления, планетарные туманности, звёзды типа RR Лиры, некоторые типы звёзд-гигантов и др.) концентрируются к центру Г., образуя обширное эллипсоидальное гало. Сфероидальная система населения II состоит только из старых звёзд (возраст всех шаровых скоплений Г. примерно одинаков – 12–13 млрд. лет). Самые далёкие шаровые скопления находятся на расстояниях ок. 100 кпк.

В плоской подсистеме концентрируется газ, обогащённый тяжёлыми элементами (к ним в астрофизике относят все химич. элементы тяжелее гелия), возникающими в недрах звёзд при ядерных реакциях. На конечных стадиях эволюции звёзд, в осн. при взрывах сверхновых, тяжёлые элементы поступают в межзвёздную среду.

Образование звёзд из этого обогащённого газа в диске Г. продолжается и ныне.

Химич. состав звёзд населения I в среднем близок к солнечному, а у звёзд населения II тяжёлых элементов в 10–100 раз меньше.

Вращение Галактики

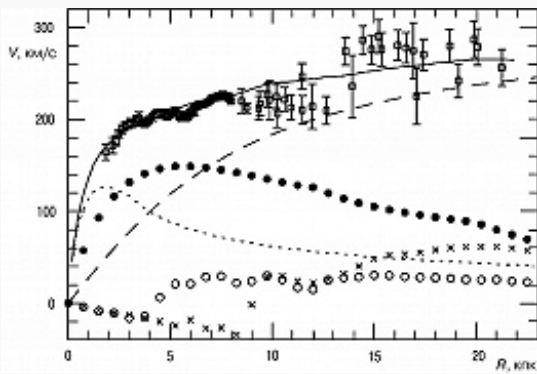


Рис. 2. Наблюдаемая по областям ионизованного водорода HII кривая вращения Галактики (верхняя сплошная кривая) и кривые вращения отдельных составляющих Галактики: балджа (пунктир), звёздного диска (за...

В 1926 Б. [Линдبلاد](#) пришёл к выводу, что большинство звёзд в окрестностях Солнца и оно само, а также рассеянные звёздные скопления входят в плоскую систему, члены которой находятся в быстром, почти круговом вращении вокруг центра Г. Шаровые скопления, образующие сфероидальную систему, вращаются вокруг центра Г. медленно; они двигаются в разных направлениях по вытянутым орбитам.

В 1927 Я. Х. [Оорт](#) рассмотрел влияние вращения Г. на собственные движения и лучевые скорости звёзд. В случае нетвердотельного (дифференциального)

вращения, которое вытекает из [Кеплера законов](#), справедливых при увеличении концентрации массы к центру вращения, зависимость [лучевых скоростей](#) от направления (от галактич. долготы) должна иметь вид двойной волны – кривой с двумя максимумами и двумя минимумами, которая представляется формулой:

$$V_r = A r \sin 2l, \text{ где}$$

r – расстояние от звезды до Солнца,

l – галактич. долгота, отсчитываемая от направления на центр Г., коэф.

A , называемый постоянной Оорта, характеризует степень отклонения вращения от твердотельного. По лучевым скоростям звёзд классов О и В и цефеид Оорт определил параметры двойной волны и доказал, что звёзды Г. обращаются вокруг центра, который лежит в направлении на созвездие Стрельца.

Зависимость скорости вращения

V разл. объектов Г. от расстояния

R до центра Г. изображена на рис. 2. По этой т. н. кривой вращения Г. можно определить массу её отд. составляющих. В самых внутр. областях вращение близко к твердотельному, затем скорость чуть убывает. На больших расстояниях от центра Г., за пределом её плотного диска, где в осн. сосредоточены звёзды и газ, скорость

вращения на протяжении мн. десятков парсек остаётся примерно постоянной. Наблюдательные данные свидетельствуют, что подобная кривая вращения характерна и для большинства др. галактик. Общепринятое объяснение этого факта состоит в том, что, кроме видимого гало из объектов населения II, галактики окружены намного более обширным гало из гравитирующей, но ненаблюдаемой материи (т. н. тёмное гало). В Г. масса тёмного гало оценивается в 10^{11} – 10^{12} масс Солнца, что на порядок больше, чем масса звёзд (ок. $5 \cdot 10^{10}$), и на два порядка больше, чем масса газа (5 – $10 \cdot 10^9$). Проблема природы этой «тёмной материи» – одна из важнейших нерешённых проблем астрофизики.

Спиральная структура Галактики

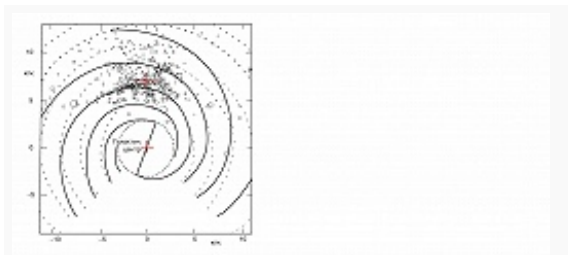


Рис. 3. Схема спиральных рукавов и бара Галактики (по данным Ж. Валле), к которой добавлены положения цефеид (по данным Л. Н. Бердникова). Галактика вращается по часовой стрелке, рукава "закручиваются...

Наличие полосы Млечного Пути свидетельствует о том, что наша система относится к дискообразным; она не может относиться к неправильным галактикам, т. к. их массы невелики, а объекты населения II в них представлены слабо. Вывод о наличии в Г. спиральных рукавов неизбежен, но их расположение, длина и даже их число остаются предметом дискуссий. По всей видимости, спиральный узор Г. относится к типу grand design. Так называют спиральные рукава, тянущиеся на десятки килопарсек от центра галактики и симметричные

относительно поворота вокруг него. Это волны повышенной плотности облаков газа и звёзд, распространяющиеся благодаря гравитационному взаимодействию вещества. Причиной возникновения этих волн считают наличие спутника или отклонения центр. области галактики от осевой симметрии – эта область имеет форму либо овала, либо перемычки (бара), соединяющей исходные точки рукавов. Наличие в Г. короткого (оканчивающегося на расстоянии ок. 3–4 кпк от центра) бара следует из данных о кинематике газа вблизи центра, а также из особенностей интегрального свечения

звёзд в ИК-диапазоне. (К типу grand design относится меньшая часть спиральных галактик; чаще наблюдаются лишь короткие обрывки рукавов.)

Повышенная плотность газа приводит к высокому темпу звездообразования в спиральной волне. Звёздные ассоциации и скопления с возрастом менее 30 млн. лет концентрируются в трёх отрезках спиральных рукавов; им были даны названия рукавов Персея, Ориона – Лебеда и Стрельца – Киля. Последний выделяется и как область повышенной плотности цефеид, возраст которых, как и светимость, зависит от периода и составляет 30–100 млн. лет. Согласно теоретическим представлениям, в волновых спиральных рукавах должны присутствовать и такие довольно старые звёзды – их притягивает туда повышенный в рукаве гравитационный потенциал. Лишь у звёзд с возрастом, превышающим сотни миллионов лет, случайные скорости (растущие с возрастом) столь высоки, что они, пересекая рукав, практически не замедляют своего движения вокруг центра.

Данные о молодых звёздах и скоплениях являются неполными уже для расстояний, превышающих 3–4 кпк. Для изучения спиральной структуры всей Г. используются наблюдения нейтрального водорода HI (на длине волны 21 см). Сверхгигантские (массой до 10^7 масс Солнца) облака атомарного водорода HI и молекулярного водорода H₂ обрисовывают ветвь Киля, простирающуюся на 40 кпк с углом закручивания в 10–12°. В рукаве Киля наблюдаются регулярные промежутки между газовой-звёздными комплексами, что характерно для галактик, обладающих правильным симметричным спиральным узором; о наличии его в Г. говорит и само существование столь длинного рукава. Всё это подтверждает классификацию Г. как системы типа grand design, что согласуется с наличием у неё бара (перемычки) и близких спутников (ближайшие из крупных спутников – Большое и Малое [Магеллановы Облака](#)).

Согласно сводным данным канад. астронома Ж. Валле (2005), Г. обладает четырьмя спиральными рукавами с углом закручивания ок. 12° (рис. 3). Однако идеально правильная спиральная структура, подобная изображённой на рисунке, наблюдается редко, обычно одна пара рукавов или один рукав гораздо мощнее и длиннее, чем остальные, поэтому рисунок отражает лишь основные черты спиральной структуры



Рис. 4. Спиральная галактика М109 (вид с полюса вращения), на которую похожа наша Галактика.

Белые овалы – изображения ярких звёзд переднего фона. Позиция, соответствующая положению Солнца в Гал...

Галактики.

Судя по параметрам спиральной структуры, наличию бара и по кривой вращения, наша Г. похожа на галактику NGC 3992 (M109), вид которой представлен на рис. 4. Она классифицирована как SBb(rs)I, что означает наличие бара, балджа небольшого размера, сложной системы спиральных рукавов, а также высокой светимости. В первом приближении рис. 4 можно считать и планом Галактики.

Ядро Галактики

Направление на центр вращения Г.

определяется с высокой точностью, но в оптич. диапазоне в этом направлении ничего

особенного не наблюдается, поскольку в видимых лучах поглощение света между Солнцем и центром Г. очень велико. Однако с центром Г. совпадает зап. компонент радиоисточника Стрелец А (Sgr A West), являющийся также компактным источником нетеплового радиоизлучения и ИК-излучения. В пределах 100 пк от [галактического центра](#) (эту область часто выделяют как ядро Г.) обнаружено множество признаков продолжающегося образования массивных звёзд: остатки сверхновых, источники ИК-излучения, которые могут быть звёздами высокой светимости, окружёнными пылевыми оболочками, гигантские молекулярные облака, а также неск. очень молодых и богатых звёздных скоплений, видимых только в ИК-лучах.

В самом центре Г. находится сверхмассивная [чёрная дыра](#). Измерения собственных движений восьми звёзд высокой светимости, расположенных вблизи Sgr A West, показали, что их траектории являются частями эллипсов, в фокусе которых находится центральный объект, что и позволяет определить его массу по третьему закону Кеплера – она составляет ок. 3 млн. масс Солнца. Для одной из этих звёзд удалось измерить период её обращения, он составляет всего лишь 15 лет.

Измерение собственных движений и лучевых скоростей звёзд, обращающихся вокруг центральной чёрной дыры, позволит определить расстояние от Солнца до центра Г. намного точнее, чем классич. методы. Предварительные данные дают значение ок. 7,5 кпк, что с точностью до половины килопарсека совпадает с определённой ранее величиной.

Литература

Лит.: Зонн В., Рудницкий К. Звездная астрономия. М., 1959; Уитни Ч. Открытие нашей Галактики. М., 1975; Марочник Л. С., Сучков А. А. Галактика. М., 1984; Куликовский П. Г. Звездная астрономия. 2-е изд. М., 1985; Ефремов Ю. Н. Очаги звездообразования в галактиках: звездные комплексы и спиральные рукава. М., 1989; он же. Звездные острова: Галактика звезд и Вселенная галактик. Фрязино, 2005; Vallee J. The spiral arms and interarm separation of the Milky way // *Astronomical Journal*. 2005. Vol. 130. № 2.