

Раздел VIII

Строение и эволюция Вселенной

§ 27. Наша Галактика

1. Структура Галактики. На осеннем ночном небе в ясную безлунную ночь с запада на восток через зенит (широты Беларуси) тянется хорошо заметная светящаяся полоса — **Млечный Путь**. Древние греки Млечный Путь называли **Галактикой** (от греч. γαλα — молоко). Еще Галилео Галилей в 1609 г. в телескоп обнаружил, что Млечный Путь состоит из множества слабых звезд.

Млечный Путь проходит через оба полушария по большому кругу небесной сферы (рис. 140). Линия, идущая вдоль середины Млечного Пути, названа **галактическим экватором**, а образующая его плоскость — **галактической плоскостью**. Галактическая плоскость наклонена к плоскости небесного экватора под углом 63° .

Итак, Галактика — это гравитационно-связанная система, состоящая из сотен миллиардов звезд и межзвездной среды, а Млечный Путь — ее светящаяся проекция на небесную сферу.

Количественные подсчеты звезд в разных направлениях от галактического экватора предпринял еще Уильям Гершель в 70-х гг. XVIII в. Выборочные под-

счеты показали, что число звезд резко убывает по обе стороны от галактической плоскости. Дальнейшими исследованиями было установлено, что все звезды неба образуют единую звездную систему. В Млечном Пути сосредоточено подавляющее число звезд Галактики — огромной звездной системы, имеющей форму плоского линзообразного диска (рис. 141) поперечником около 30 и толщиной около 1 кпк (или



Рис. 140. Млечный Путь

соответственно около 100 и 3 тыс. световых лет). Звездный диск Галактики имеет структуру в виде спиральных ветвей (рукавов). Шарообразное утолщение в середине диска получило название **балдж** (от англ. *bulge* — вздутие). Наиболее плотная и компактная центральная часть Галактики, расположенная в созвездии Стрельца, называется **ядром**.

Ядро Галактики скрыто от нас газопылевыми облаками и звездами. Оно обладает очень высокой активностью и излучает в радио-, инфракрасном и рентгеновском диапазонах длин волн. Исследование процессов, происходящих в центральной области Галактики, позволяет предположить, что

в ядре расположена сверхмассивная черная дыра массой 2—5 млн солнечных масс.

Часть звезд нашей Галактики не входит в состав диска, а образует сферическую составляющую — **звездное гало**, радиус которого не менее 20 кпк. Гало окружает очень разреженная и большая по размерам (50—60 кпк) внешняя часть Галактики — **корона**.

Солнечная система в Галактике находится далеко от центра — на расстоянии около 8 кпк — и лежит почти в галактической плоскости.

2. Звездные скопления. Структурными составляющими Галактики являются звездные скопления. **Звездные скопления** — это гравитационно-связанные группы звезд, которые имеют общее происхождение. Звездные скопления движутся в поле тяготения Галактики как единое целое.

По внешнему виду они подразделяются на рассеянные и шаровые.

Рассеянное звездное скопление — это не имеющая правильной формы сравнительно неплотная группа звезд, содержащая от нескольких десятков до нескольких тысяч звезд. Размеры таких скоплений — 6—14 пк. Ближайшие к нам рассеянные звездные скопления — Плеяды (рис. 142) и Гиады — находятся в созвездии

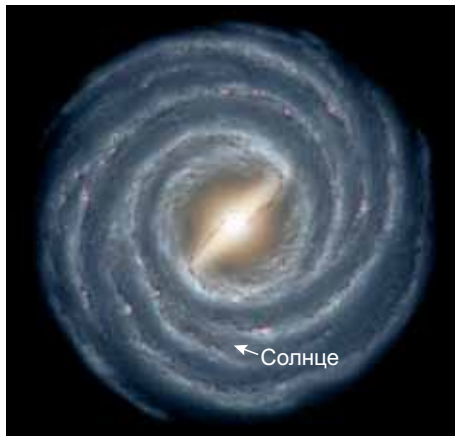


Рис. 141. Строение нашей Галактики. Стрелка указывает положение Солнечной системы



Рис. 142. Рассеянное звездное скопление Плеяды в созвездии Тельца



Рис. 143. Шаровое звездное скопление M5 (NGC 5904) в созвездии Змеи

звезд резко возрастает к центру скопления, достигая десятков тысяч в кубическом парсеке (в окрестностях Солнца — $0,13 \text{ пк}^{-3}$). Шаровые скопления образуют протяженное гало вокруг центра Галактики, сильно концентрируясь к нему. Всего в Галактике открыто около 150 шаровых скоплений, а их общее число примерно составляет около 500. Звездное население шаровых скоплений состоит из давно проэволюционировавших звезд — красных гигантов и сверхгигантов. Шаровые скопления нашей Галактики — одни из старейших. Их возраст составляет 10—15 млрд лет.

3. Движение звезд. В 1718 г. английский астроном Эдмунд Галлей сравнил наблюдавшиеся в его время положения звезд с теми, которые были приведены в каталогах Гиппарха (II в. до н. э.). Ученый заметил смещение ярких звезд Сириуса и Прокциона на $0,7^\circ$, Арктур — более чем на 1° . На основании этого факта был сделан вывод о пространственном движении звезд относительно Солнца. Так впервые было обнаружено, что звезды движутся.

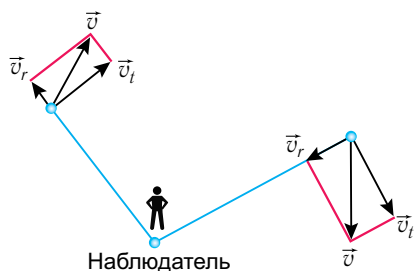


Рис. 144. Пространственная (v), лучевая (v_r) и тангенциальная (v_t) скорости

Тельца. Невооруженным глазом можно различить в Плеядах 5—7 слабых звездочек, располагающихся в виде маленького ковша (см. рис. 142). В настоящее время известно около 1200 рассеянных звездных скоплений. Общее же их число в Галактике оценивается в 20 тыс. объектов. Все они концентрируются у галактической плоскости и состоят из молодых бело-голубых звезд главной последовательности.

Шаровые звездные скопления имеют сферическую или эллипсоидальную форму (рис. 143), они насчитывают от десятков тысяч до миллионов звезд. Диаметры таких звездных скоплений лежат в пределах от 20 до 100 пк. Пространственная концентрация

звезд резко возрастает к центру скопления, достигая десятков тысяч в кубическом парсеке (в окрестностях Солнца — $0,13 \text{ пк}^{-3}$). Шаровые скопления образуют протяженное гало вокруг центра Галактики, сильно концентрируясь к нему. Всего в Галактике открыто около 150 шаровых скоплений, а их общее число примерно составляет около 500. Звездное население шаровых скоплений состоит из давно проэволюционировавших звезд — красных гигантов и сверхгигантов. Шаровые скопления нашей Галактики — одни из старейших. Их возраст составляет 10—15 млрд лет.

Скорость движения звезды в пространстве относительно Солнца называется **пространственной скоростью**. В общем случае пространственная скорость v (рис. 144) направлена под некоторым углом к лучу зрения

наблюдателя. Вектор пространственной скорости разложим на две составляющие: по направлению луча зрения (**лучевая скорость** v_r) и перпендикулярную лучу зрения (**тангенциальная скорость** v_t). Модули пространственной, тангенциальной и лучевой скоростей связаны друг с другом соотношением:

$$v = \sqrt{v_r^2 + v_t^2}.$$

Лучевая скорость звезды определяется по доплеровскому смещению ($\Delta\lambda$) линий в ее спектре:

$$v_r = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \cdot c.$$

Тангенциальную скорость определяют по смещению звезды на небесной сфере. Такое смещение у сравнительно близких (к наблюдателю) звезд составляет несколько секунд за десятки лет:

$$v_t = 4,74 \frac{\mu''}{\pi''} \text{ км/с},$$

где μ — **собственное движение** (видимое угловое смещение звезды на небесной сфере за один год). Оно выражается секундами дуги в год (рис. 145).

Анализ собственных движений звезд привел также к обнаружению движения Солнца среди звезд. Та точка небесной сферы ($\alpha = 270^\circ$, $\delta = +30^\circ$, созвездие Геркулеса), по направлению к которой движется Солнце (со скоростью 19,4 км/с по отношению к соседним звездам), называется **апексом** Солнца (от лат. *apex* — вершина), а диаметрально противоположная точка неба

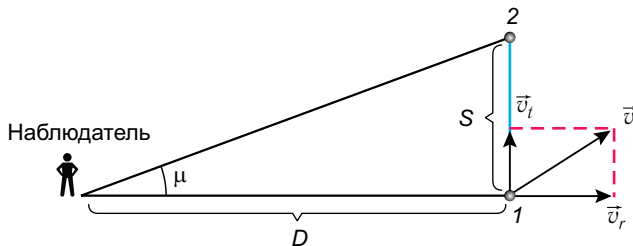


Рис. 145. Определение тангенциальной скорости звезды

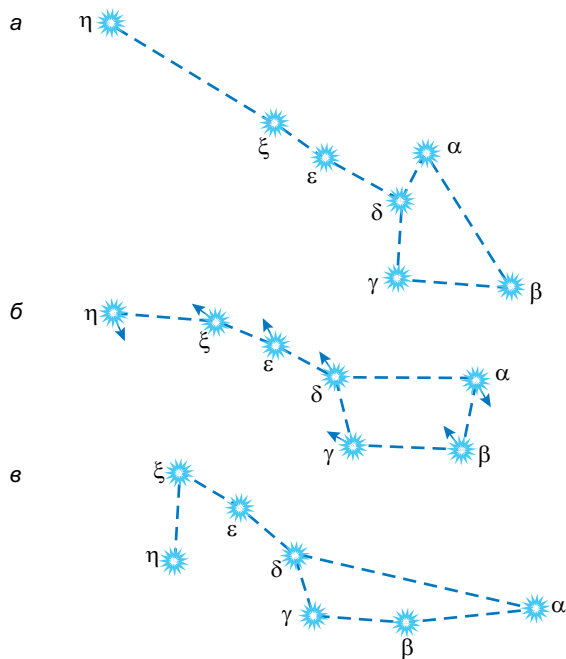


Рис. 146. Изменение относительного расположения звезд в «ковше» Большой Медведицы за 100 тыс. лет: *а* — 50 тыс. лет назад; *б* — настоящее время (стрелками указаны направления тангенциальных скоростей звезд); *в* — через 50 тыс. лет

называется солнечным **антиапексом**. Вследствие собственных движений звезд по истечении десятков тысяч лет вид созвездий меняется (рис. 146).

4. Вращение Галактики. Способ для доказательства вращения Галактики был разработан в 1859 г. профессором Казанского университета М. А. Ковальским. Изучение лучевых скоростей звезд в различных направлениях от Солнца позволило сформулировать законы вращения Галактики.

1. *Все звезды диска Галактики обращаются вокруг ее ядра по орбитам, близким к круговым.* Это вращение происходит по часовой стрелке, если смотреть на Галактику со стороны ее Северного полюса, находящегося в созвездии Волосы Вероники.

2. *Угловая скорость вращения убывает по мере удаления от центра.* Однако это убывание происходит несколько медленнее, чем требуют законы Кеплера.

3. *Линейная скорость вращения сначала возрастает с удалением от центра Галактики, достигая максимума (около 220 км/с) на расстоянии Солнца, после чего очень медленно убывает.*

4. Полный период обращения Солнца вокруг ядра Галактики составляет примерно 225—250 млн лет (галактический год).

5. Звезды и скопления звезд сферической составляющей Галактики движутся по сильно вытянутым и наклоненным к плоскости диска под разными углами орбитам (рис. 147). Такие звезды имеют относительно Солнца очень большие скорости (до 200—300 км/с).

Как видим, движение звезд в Галактике несколько напоминает движение тел Солнечной системы.

Зная скорость обращения и радиус круговой орбиты, можно вычислить массу внутренней части Галактики. Из формулы для круговой скорости (см. § 9) следует:

$$M = \frac{v^2 r}{G}.$$

Подставив значения $v = 2,2 \cdot 10^5$ м/с, $r = 2,5 \cdot 10^{20}$ м и $G = 6,7 \cdot 10^{-11}$ Н · м²/кг², получим, что $M = 1,8 \cdot 10^{41}$ кг, или около 100 млрд масс Солнца. Масса Галактики в пределах объема радиусом 15 кпк оценивается примерно в 200 млрд масс Солнца. С учетом остальной части Галактики ее масса оценивается примерно в 10^{12} масс Солнца.

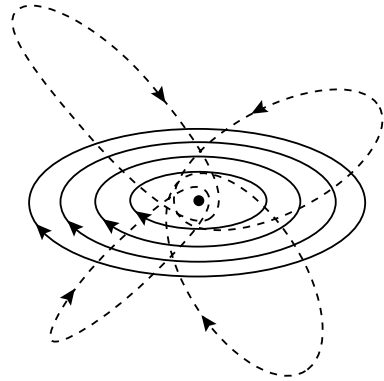


Рис. 147. Траектории звезд в Галактике (диск Галактики — сплошные линии, сферическая составляющая — пунктирные линии)

! Главные выводы

1. Наша Галактика — гравитационно-связанная система, состоящая из сотен миллиардов звезд и межзвездной среды.
2. Млечный Путь — протянувшаяся через все звездное небо слабо светящаяся полоса, которая является проекцией огромного количества звезд Галактики.
3. Структурными составляющими Галактики являются гравитационно-связанные группы звезд (шаровые скопления, рассеянные скопления), имеющие общее происхождение и движущиеся в поле тяготения Галактики как единое целое.
4. Солнечная система относительно ближайших звезд Галактики движется со скоростью около 20 км/с в направлении созвездия Геркулеса.
5. Наша звездная система обладает дифференциальным вращением, т. е. угловая скорость вращения убывает по мере удаления от центра.



Контрольные вопросы и задания

1. Найдите на звездной карте созвездия, через которые проходит Млечный Путь.
2. Почему наблюдателю, находящемуся на Земле, Млечный Путь представляется прерывистым и клочковатым?
3. Как устроена наша Галактика?
4. Каково положение Солнечной системы в Галактике?
5. Чем отличаются звезды диска Галактики от звезд гало?
6. Как распределены шаровые скопления в Галактике? Чем они отличаются от рассеянных скоплений?
7. Каковы особенности вращения нашей Галактики?
8. Сколько раз за время существования Солнце успело обернуться вокруг центра Галактики?
9. Звезда 83 Геркулеса находится от Солнца на расстоянии $D = 100$ пк, ее собственное движение составляет $\mu = 0,12''$. Какова тангенциальная скорость этой звезды?
10. Лучевая скорость звезды Бетельгейзе $v_r = 21$ км/с, собственное движение $\mu = 0,032''$ в год, а параллакс $p = 0,012''$. Определите полную пространственную скорость этой звезды относительно Солнца.

§ 28. Межзвездная среда

1. Межзвездный газ. Звездное небо содержит много туманных объектов. Они бывают светящимися и темными, поглощающими свет.

Широкое применение фотографии в астрономии позволило тщательно исследовать, описать и составить каталоги темных туманностей.

На фоне светлых областей Млечного Пути отчетливо выделяются темные пятна неправильной формы и различных угловых размеров. Эти темные пятна и области доказывают существование вблизи галактической плоскости холодной разреженной материи.

Межзвездная среда — это вещество и поля, заполняющие межзвездное пространство внутри Галактики. Большая часть массы межзвездного вещества приходится на разреженный газ и пыль. Вся межзвездная среда пронизывается магнитными полями, космическими лучами, электромагнитным излучением. Основной компонент межзвездной среды — **межзвездный газ**, который состоит из водорода (70 % массы) и гелия (28 %). Остальная часть массы межзвездного вещества приходится на более тяжелые химические элементы (O, C, N, Ne, S, Ar, Fe и др.).

Общая масса межзвездного вещества нашей Галактики (не считая короны) оценивается в 2 % от общей массы всей Галактики. В зависимости от темпера-