

Глава II

Население космоса

§1. Как изучают космос?

Возможности зрения многократно усиливаются и обогащаются благодаря применению телескопов и радиотелескопов, фотографии и электроники.

Самые большие наземные телескопы имеют мозаичные зеркала диаметром в 10 метров (обсуждаются проекты создания и гораздо больших инструментов). Их устанавливают в горах, в тех местах Земли, где атмосфера особенно прозрачна.

Вогнутые зеркала (с системами линз) концентрируют излучение на небольшой площади приемника излучения (глаз, фотографическая пластинка, электрофотометр, спектрограф и т.д.). Применяя длинные экспозиции при фотографировании, можно изучать светила в миллионы раз более слабые, чем те, которые еще доступны невооружённому глазу. Сопоставляя результаты наблюдений в разное время, можно изучать движения звезд, находить расстояния до них, исследовать изменения блеска и положения линий в спектрах переменных и двойных звезд.

В последние 50 лет результаты оптических наблюдений существенно дополняются наблюдениями в радиодиапазоне.

Еще один источник данных о космосе появился благодаря успехам космонавтики (4 октября 1957 года - международно признанная дата начала космической эры). Весьма эффективным оказался телескоп имени Хаббла, обращающийся вокруг Земли за пределами её атмосферы. В поле зрения этого телескопа с диаметром зеркала 2,4 м оказывается в разное время практически любая область неба. Благодаря отсутствию помех со стороны земной атмосферы этот телескоп по своим возможностям не уступает крупнейшим телескопам, установленным на поверхности Земли.

Космические летательные аппараты (КЛА) проводили исследования поверхностей Луны, Марса, атмосфер Юпитера, Венеры, а также других планет (в том числе, астероидов), их спут-

ников, комет и атмосферы Солнца при пролёте на небольших расстояниях от них. При помощи лунных экспедиций и возвращаемых автоматических станций на Землю доставлены образцы пород из разных участков поверхности нашего спутника.

Весь поток получаемой таким путём космической информации обрабатывается и анализируется при помощи быстродействующих компьютеров. В частности, без такой помощи было бы очень трудно строить модели звездных систем и самих звезд.

§2. Ближайшие объекты космоса

Время от времени мимо Земли проносятся метеороиды (тела с поперечником до одного километра) и кометы. Некоторые из них падают на Землю.

Из более крупных космических объектов ближайшим является наш постоянный спутник - Луна. Она практически полностью лишена атмосферы и воды (хотя не исключена возможность того, что в полярных областях Луны на дне некоторых кратеров, куда ни разу не падал солнечный свет, имеется небольшое количество льда). Период обращения Луны вокруг Земли, составляющий около четырех недель, в точности равен периоду её вращения вокруг оси. Поэтому Луна всегда повернута к нам одной и той же стороной (вокруг Земли и вокруг оси Луна вращается против часовой стрелки, если наблюдать, поднявшись над северным полюсом Земли). Причина этого - земная гравитация, вызывающая приливы в теле Луны и еще в далеком прошлом затормозившая вращение нашего спутника.

Всё же наблюдениям с Земли доступно не 50 % площади поверхности Луны, как можно было бы ожидать, а 59 %. Объяснение состоит в том, что вращение Луны вокруг оси равномернее, а вокруг Земли (по эллиптической орбите) неравномерное. Обратная сторона Луны, недоступная для наблюдений с Земли, оказалась более светлой и гористой, чем видимая сторона (по данным, полученным при помощи КЛА).

Невооруженным глазом на Луне можно разглядеть светлые и тёмные пятна. Их назвали соответственно материками и моря-

ми (хотя воды в этих “морях” нет). Уже в небольшой телескоп или даже в бинокль можно увидеть множество кратеров. Кратер представляет собой кольцевой вал, окаймляющий несколько пониженную обычно ровную поверхность; в центре кратера часто наблюдается горка. Самые крупные кратеры имеют в поперечнике сотни километров и число кратеров быстро растет при уменьшении размеров. Крупных кратеров в расчете на единицу площади больше всего в материковых областях. Мелкие и мельчайшие кратеры встречаются одинаково часто везде.

Кроме материков, морей и кратеров на Луне существуют и другие образования: горные хребты (обычно на окраинах морей), “валы”, “борозды” и др. В названиях многочисленных кратеров запечатлена история наук (“Коперник”, “Кеплер”, “Дарвин”, “Циолковский”, “Павлов” и др.) Названия горных хребтов такие же, как и на Земле (“Алтай”, “Кавказ”, “Альпы” и др.)

По впечатлениям людей, побывавших на Луне, ее притяжение, в шесть раз более слабое, чем на Земле, приятнее невесомости. Более удобным, чем ходьба, способом передвижения являются прыжки. Вещество лунной поверхности наряду с микроскопически малыми стеклянными шариками содержит частицы с острыми краями, из-за чего рабочие поверхности инструментов быстро стираются. Относительное содержание в лунном веществе главных химических элементов (кислорода, кремния и алюминия) почти такое же, как и в земной коре. Существуют отличия от Земли по минералогическому составу, так как на Луне отсутствуют атмосфера, жидкая вода и биосфера.

Видимое полушарие Луны, каким оно наблюдается в небольшой телескоп, с обозначениями некоторых образований поверхности показано на рис.25 фотовкладки. Числовые данные о Луне приводятся в Гл.IV.

У Земли имеются ещё и пылевые спутники (облака Кордылевского). Их очень трудно обнаружить на земном небе, так как плотность пыли там ничтожно мала. Одно облако опережает Луну на 60^0 , другое на столько же отстает (облака находятся вблизи лунной орбиты).

§3. Солнечная система

Система Земля-Луна входит в состав Солнечной системы, основная масса которой сосредоточена в Солнце. Солнце является центром всех движений (в том числе и спутников планет, которые вращаясь вокруг планет, вместе с последними движутся вокруг Солнца). Именно благодаря солнечной гравитации система не распадается, а существует уже около 5 млрд. лет.

В состав системы входит 9 больших планет, многие тысячи малых планет - астероидов, метеорные тела и кометы. Об относительных размерах планет можно судить по рис.26, на котором астероиды изображались бы точками.

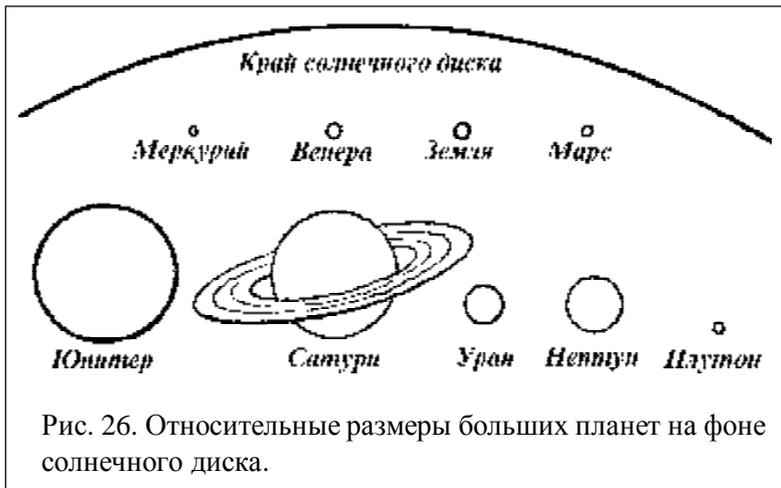


Рис. 26. Относительные размеры больших планет на фоне солнечного диска.

Средние расстояния больших планет от Солнца удовлетворяют приближенной формуле Тициуса - Бодэ:

$$r = 0,4 + 0,3 \cdot 2^{n-2},$$

где расстояние выражено в астрономических единицах (1а.е.=149,6×10⁶ км) и величина n - порядковый номер планеты, считая от Солнца (Венера - 2, Земля - 3, Марс - 4, средняя линия пояса астероидов - 5, Юпитер - 6, Сатурн - 7 и Уран - 8). Для Меркурия, Нептуна и Плутона, не удовлетворяющих этой зави-

симости, округленные значения величины r равны соответственно 0,4, 30 и 39.

Если через i обозначить угол между плоскостями орбит Земли и планеты, то окажется, что наибольшие значения величины i достигаются у Плутона ($17,2^0$) и Меркурия ($7,0^0$). Для остальных 6 планет среднее значение величины i равно $1,95^0$. Плоскость экватора Солнца составляет с плоскостью орбиты Земли угол $7,25^0$, причем Солнце вращается в ту же сторону, что и Земля с другими планетами. Такая особенность солнечной системы может свидетельствовать о том, что Солнце и планеты имеют общее происхождение.

Вблизи Солнца расположены относительно небольшие, плотные планеты (верхний ряд на рис.26). Это планеты группы Земли. У них атмосферы либо отсутствуют (Меркурий), либо занимают небольшую долю всего объема планеты. Остальные планеты (кроме астероидов и Плутона) принадлежат к группе Юпитера. Их средняя плотность существенно меньше, чем у планет группы Земли. Например, у Сатурна она в 7,8 раза меньше средней плотности Земли. Обширные атмосферы этих планет состоят, в основном, из водорода и гелия.

Среди четырех планет, ближайших к Солнцу, только у Земли имеется спутник с диаметром большим 1000 км (Луна). У Юпитера таких спутников - четыре, у Сатурна - пять, у Урана - четыре и у Нептуна - один.

Орбиты планет земной группы и группы Юпитера в разных масштабах показаны на рис.27 и 28. На первом из них прерывистой линией показана орбита гипотетической малой планеты после усреднения элементов орбит 10 самых крупных астероидов, причем усреднение выполнено с использованием весового множителя, пропорционального объему астероида. Для типичного астероида среднее расстояние от Солнца получилось равным 2,73 а.е., тогда как по формуле Бодэ при $n=5$ расчет дает значение 2,8 а.е. (близкое к наблюдаемому). Такое совпадение свидетельствует в пользу существования в прошлом планеты, впоследствии расколовшейся.

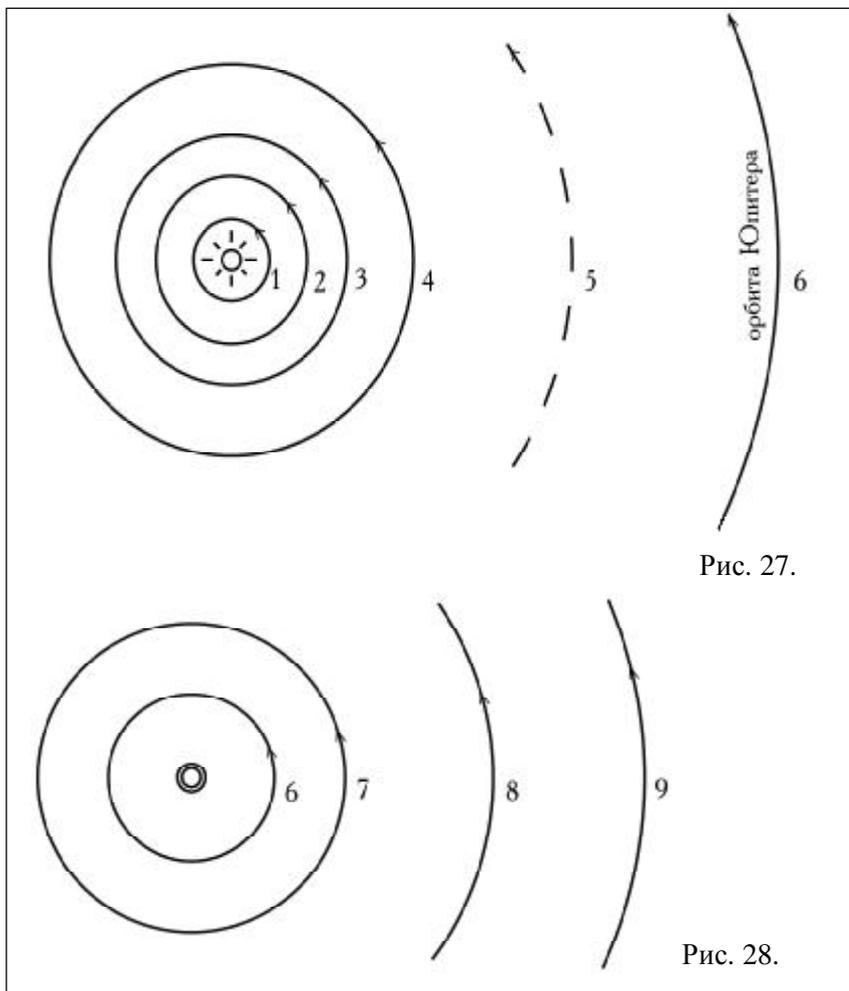


Рис. 27.

Рис. 28.

Названия больших планет известны почти всем. Труднее заполнить их в порядке удаления планет от Солнца. Легче запомнить два слова неизвестного языка: МЕВЕЗЕМА и ЮСУНП.

Богатые сведения о планетах получены при помощи КЛА. Вероятно, в Солнечной системе жизнь существует только на Земле. Меркурий лишён атмосферы и воды. Мощная атмосфера Венеры почти вся состоит из углекислого газа. Присутствие его яв-

ляется причиной сильного парникового эффекта, благодаря которому у поверхности планеты температура составляет $+470^{\circ}\text{C}$. Здесь жизнь невозможна. Мало надежд на обнаружение высоко развитой жизни на Марсе (отсутствие жидкой воды, очень разреженная и холодная атмосфера, в которой найдены лишь следы кислорода). Внутренние оболочки планет-гигантов практически не исследованы. При помощи спектрального анализа (и КЛА - в случае Юпитера) в атмосферах этих планет обнаружены водород и гелий (основные элементы), а также метан, аммиак и пары воды. Следовательно, имеется необходимый строительный материал для образования сложных органических соединений (водород, кислород, углерод и азот). Планеты-гиганты излучают больше энергии, чем получают от Солнца, находясь на таких больших расстояниях. Поэтому температура повышается при погружении во все более глубокие слои и, возможно, становится вполне приемлемой для существования жизни.

Малые планеты (астероиды) лишены атмосфер, как и большинство спутников планет. Но на Европе (спутнике Юпитера) жизнь, может быть, существует в водном океане, покрытом толстым слоем льда.

Хотя в ядрах комет и обнаружены некоторые органические соединения, существование там живых организмов маловероятно (вакуум, отсутствие жидкой воды, неблагоприятные температурные условия), как и на метеороидах.

Несмотря на возможности, появившиеся благодаря успехам космонавтики, имеющиеся данные о физической природе планет и их спутников лишь слегка приоткрывают тайны этих объектов. С другой стороны, даже поверхностное знакомство с земной биосферой свидетельствует об исключительном многообразии свойств её представителей. Поэтому необходимо соблюдать предельную осторожность высказывая суждения о возможности жизни в других мирах.

Ниже приводятся краткие обобщающие сведения об основных объектах солнечной системы (без Солнца).

Примечания. 1. Радиусы приводятся в радиусах Земли. 2. Рас-

Тип объекта	Радиус	Эксцентриситет орбиты	Интервал от Солнца	Существование жизни
Планета группы Земли	0,4-1	0,0-0,2	0,4-1,5	Только на Земле
Планеты группы Юпитера	4-11	0,01-0,06	5-30	Не известно
Спутники планет	до 0,4	-	Как у центральной планеты	Не известно, невозможно
Астероиды	до 0,08	0,0-0,8	1-6	Невозможно
Кометы и метеороиды	до 0,008	до 1	2,2-10 ⁵	Невозможно

стояния даны в астрономических единицах (среднее расстояние Земли от Солнца). 3. Эксцентриситет орбиты характеризует степень её вытянутости. Например, отношение минимального удаления планета от Солнца к максимальному равно $(1-e)/(1+e)$, где e - эксцентриситет.

Солнце не включено в приведенную выше таблицу, хотя его масса примерно в 740 раз больше массы остальных объектов, вместе взятых. Температура в видимом с Земли слое Солнца (фотосфере) составляет 5740К и существование любых химических соединений там полностью исключено (лишь в области солнечных пятен могут временно существовать простейшие, наиболее устойчивые химические соединения).

§4. Звезды

Ближайшая к Земле звезда - Солнце. Справочные данные о нём приводятся в Гл.IV. Светит Солнце за счет энергии, выделяющейся в процессе превращения водорода в гелий при ядерных реакциях. Они протекают в центральной области светила, где температура превышает 14×10^6 К, а давление в 200 млрд. раз больше атмосферного (у поверхности Земли) и в 100 тыс. раз боль-

ше, чем в центре Земли. Хотя состоит Солнце преимущественно из наиболее легких химических элементов (водорода и гелия), в его центре плотность вещества примерно в 150 раз больше плотности воды при нормальных условиях.

Невидимые гамма-излучение и нейтрино, выделяющиеся в этих реакциях, имеют разные судьбы. Нейтрино за 2,3 с преодолевают толщу Солнца и ещё спустя 8,3 мин. некоторые из них проходят сквозь нас и Землю, чтобы затем продолжить свое движение в глубины космоса. С другой стороны, энергии гамма-квантов требуются миллионы лет, чтобы просочиться к поверхности Солнца. При этом излучение, многократно поглощаясь и переизлучаясь, постепенно увеличивает свою длину волны. В результате, выходящее излучение Солнца оказывается заключённым, в основном, в интервале длин волн от 3000 до 20000Å ($1\text{Å}=10^{-10}\text{ м}$) с максимумом в желто-зеленой части спектра, рис.29.

Около 1 % звезд имеет примерно те же массу, плотность и химический состав, что и Солнце. За счет водородного “топлива” в центрах их излучение поддерживается на почти постоянном уровне 10-15 млрд. лет. Затем, после исчерпания этих запасов “топлива” вблизи центра происходит перестройка недр. Область ядерных реакций перемещается ближе к поверхности и на сравнительно короткое время резко возрастает радиус и увеличивается мощность излучения звезды (ее светимость). В случае Солнца это должно привести к гибели биосферы на Земле из-за резкого увеличения температуры.

В дальнейшем звезды типа Солнца, сбросив часть массы, потеряв способность превращать оставшийся водород в гелий и “использовав” другие возможные типы ядерных реакций, сжимаются в десятки и сотни раз. После этого свечение продолжается за счет внутренней энергии недр, накопленной в прошлом. И это может длиться миллиарды лет. Подобные звезды называют белыми карликами. При солнечной массе и земном радиусе средняя плотность вещества белого карлика оказывается порядка миллиона тонн на кубический метр.

Массы звёзд, как правило, заключены в промежутке от 1/50 до

50 масс Солнца. Самые массивные звезды после “выгорания” водорода раздуваются и их радиусы в сотни раз превосходят солнечный. Средняя плотность вещества сверхгиганта меньше плотности воздуха (при нормальных условиях). В центре же такой звезды находится очень плотное ядро, в котором протекают ядерные реакции.

Обычно весь процесс эволюции звезды можно разбить на фазы с разными типами ядерных реакций. Существует следующая закономерность: чем больше масса звезды, тем интенсивнее идут ядерные реакции и тем короче соответствующая фаза эволюции. Например, звезда, в 18 раз более массивная, чем Солнце, проходит фазу выгорания водорода в центре всего за 12 млн. лет. А у звезды, масса которой составляет 0,7 массы Солнца, это время растягивается до 120 млрд. лет.

При повторных наблюдениях одних и тех же звезд в течение десятков лет обнаруживаются многочисленные случаи изменения светимости: периодические и неправильные, с малыми и большими периодами и амплитудами. Соответствующие звезды называют *переменными*. Эту переменность не следует смешивать с мерцаниями - колебаниями блеска с частотами 2-100 Гц. Причиной мерцаний является движение оптических неоднородностей в земной атмосфере.

Существуют две основные причины переменности звёзд: геометрическая и физическая. В первом случае звезда, кажущаяся одиночной, на самом деле, двойная, причём расстояние между компонентами настолько мало, а система звёзд находится так далеко от наблюдателя, что для него изображения компонентов сливаются в одно. Между тем, компоненты этой системы, обращаясь вокруг общего центра масс под действием взаимной гравитации, при подходящем положении плоскости их орбит могут периодически затмевать друг друга (с точки зрения наблюдателя на Земле).

Во втором случае звезда сама изменяет свою светимость. Такое изменение может иметь следующие причины: 1 - вращение звезды, на поверхности которой имеются достаточно обширные светлые или темные пятна (относительно фотосферы), 2 - пульсация атмосферы звезды, 3 - взрывы в атмосфере и 4 - взрывы в

недрах, приводящие к частичному или полному разрушению звезды.

Пример пульсирующей переменной - *цефеида*. Зависимость светимости ее от времени качественно показана на рис.30. Нарастание светимости происходит быстрее, чем спад. Интервал времени между последовательными максимумами (период цефеиды) у разных звезд заполняет промежуток от часа до 70 суток, но у отдельной звезды сохраняется постоянным. При пульсациях атмосферы радиус звезды изменяется на 10-15 %. По сравнению с обычными звездами цефеиды содержат значительно больше гелия. Сте-

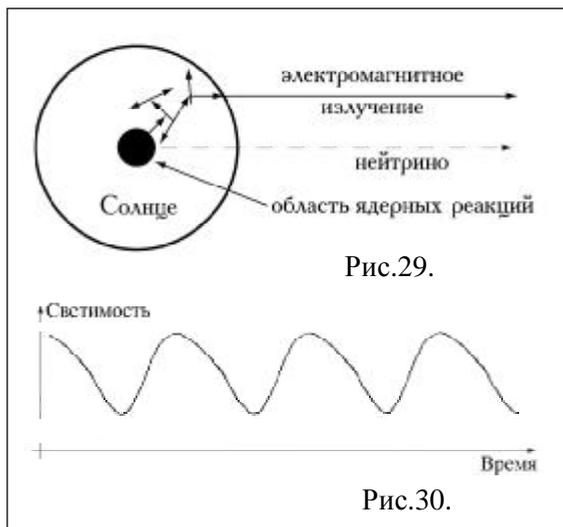


Рис.29.

Рис.30.

пень ионизации этого элемента меняется при сжатии и расширении оболочки цефеиды таким образом, что потери энергии на пульсацию компенсируются усилением поглощения потока энергии из недр звезды благодаря изменению коэффициента поглощения гелия в определенных фазах пульсации. Цефеиды видны с очень больших рас-

стояний (по сравнению с расстоянием видимости типичных звезд). Это объясняется тем, что светимости цефеид превышают солнечную в 40 - 25000 раз. Благодаря этому обстоятельству, а также особой зависимости между периодами и светимостями цефеиды играют роль маяков Вселенной: по наблюдаемому периоду можно вычислить светимость, а сопоставление её с видимым блеском звезды позволяет найти расстояние.

У звезд, называемых "новыми", время от времени отделяется оболочка. Она расширяется со скоростью в несколько тысяч километров в секунду. Масса оболочки обычно не больше одной десятитысячной массы звезды. Наблюдатель видит вспышку звезды,

при которой за время порядка суток светимость возрастает в десятки тысяч раз и больше; затем на протяжении нескольких лет светимость спадает почти до прежнего уровня.

К “сверхновым” относят звезды, светимость которых при вспышке превышает солнечную более, чем в сто миллионов раз. Невооруженным глазом “сверхновые” наблюдались в 1054, 1572 и 1604 годах, причём в первых двух случаях они были хорошо видны *на дневном небе*. В 1987 году сверхновая звезда вспыхнула в ближайшей к нам другой галактике - Большом Магеллановом Облаке. (На самом деле это произошло более ста тысяч лет назад - столько времени требуется свету, чтобы пройти разделяющее нас расстояние).

Существуют сотни примеров вспышек “сверхновых” в других галактиках (в астрономической литературе слова “новая” и “сверхновая” записывают с большой буквы).

В случае “сверхновой” во взрыв вовлечена вся звезда, а не только её внешняя, сравнительно тонкая оболочка. На месте взрыва остаются быстро расширяющаяся туманность и звезда с диаметром всего в несколько десятков километров - нейтронная звезда. Плотность её настолько велика, что электроны, “вдавливаясь” в ядра атомов, соединяются с протонами, образуя нейтроны. Поэтому большая часть массы звезды приходится на нейтроны (отсюда и название объекта).

Иногда нейтронная звезда проявляет себя в виде пульсара - источника импульсного радиоизлучения с периодом чередования импульсов от нескольких секунд до сотых долей секунды. Например, период пульсара в центре Крабовидной туманности (остаток “сверхновой” 1054 года в созвездии Телец) составляет всего 1/30 секунды. С таким периодом вращается нейтронная звезда. Она обладает магнитным полем, у которого полюса не совпадают с полюсами вращения звезды (как и у Земли). При ускорении частиц, несущих заряд, магнитным полем звезды возникает радиоизлучение во вращающихся конусах, непрерывно меняющих своё положение относительно наблюдателя.

Возможно, что в некоторых случаях при взрыве “сверхновой” возникает “черная дыра” - объект гравитация которого, не

выпускает даже свет, а свойства его не может *точно* описать даже общая теория относительности (см. также Гл.VII). С точки зрения удаленного внешнего наблюдателя на границе “черной дыры” время останавливается и сам процесс превращения объекта в “чёрную дыру” до конца проследить невозможно.

Предполагается, что “новые” входят в состав двойных звезд (см. ниже), а “сверхновые” имеют массы гораздо большие, чем у Солнца. Поэтому нашему светилу не грозит превращение в “новую” или “сверхновую”.

§5. Малые звездные системы

Более 50 % звезд образуют гравитационно связанные системы из двух, трёх и четырёх компонентов (очень редко наблюдается и большее их число). Такие системы называют кратными звездами. Среди них больше всего двойных звёзд.

В кратных звездах, состоящих из трёх компонентов, расстояние между двумя из них гораздо меньше расстояния от каждого из них до третьего компонента. На рис.31 такому взаимному расположению компонентов соответствует случай (а). В случае (б) взаимодействие звёзд заканчивается, как правило, либо образованием конфигурации типа

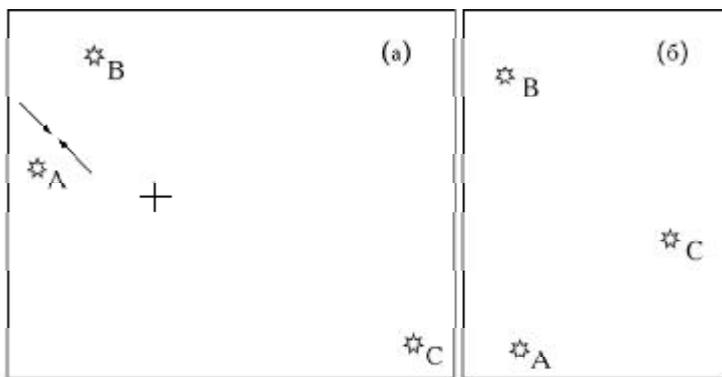


Рис.31.

(а), либо выбросом из системы одной из звезд.

Систему типа (а) можно рассматривать как две двойные звезды: в первой из них компоненты А и В обращаются вокруг со-

вместного центра масс (показанного стрелками), во второй двойной звезде система из звёзд А и В, рассматриваемая, как один объект, вращается вместе с компонентом С вокруг центра масс всех трёх звёзд (показан крестиком).

Ближайшей к Солнцу кратной звездой типа (а) является система Альфа Центавра на удалении 4,3 светового года. Компоненты А и В образуют двойную звезду с периодом (обращения В вокруг А) около 80 лет. Масса и радиус компонента А лишь немногим больше, чем у Солнца, а температура и химический состав верхнего слоя совпадают с теми, что наблюдаются у нашего светила. Компонент В несколько меньше и значительно холоднее Солнца. Среднее расстояние между компонентами А и В равно 24 а.е. (а.е. - астрономическая единица - 149,6 млн. км). Расстояние же от А до С точно не известно, но не меньше 1100 а.е.

Двойные звезды по способу их обнаружения подразделяют на визуально-, затменно- и спектрально-двойные, а также широкие пары. В первом случае можно непосредственно измерить угловое расстояние между компонентами. Иногда подобные измерения позволяют начертить *видимую* орбиту компонента В относительно компонента А, рис.32.

Во втором случае (затменно-двойные) изображения звёзд обычно сливаются в одно, а орбита компонента В относительно А ориентирована в пространстве так, что с Земли, время от времени, наблюдается затмение одного компонента другим. Исследуя кривые блеска, примеры которых приводятся на рис.7 и рис.33, можно получить данные об



Рис.32. Положения компонента В (точки на рисунке), определённые по угловым расстояниям r и позиционным углам q .

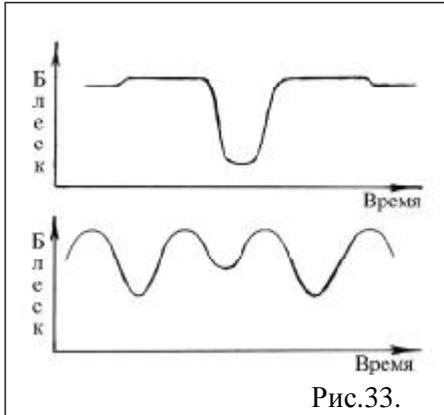


Рис.33.

относительных размерах компонентов, их светимостях, температурах атмосфер и даже о распределении яркости по дискам звезд (и пятнах на них, если таковые существуют). На рис.33 минимумы соответствуют периодам затмений, в остальных случаях точки кривой блеска соответствуют *полному* суммарному свету звёзд. И в третьем случае (спектрально-двойные), как и в предыдущем, изображения

звезд, как правило, сливаются. В спектре суммарного света компонентов заметны периодические смещения линий. Используя принцип Доплера (см. Гл. VII), по таким смещениям можно рассчитать изменение со временем лучевой скорости одного или обоих компонентов и построить кривые лучевых скоростей, рис.34.

Анализ кривых лучевых скоростей позволяет определить отношение и сумму масс компонентов и некоторые параметры их орбит. Иногда, хотя и редко, одна и та же двойная звезда является и визуально-, и спектрально-, и затменно-двойной. Анализ таких случаев дает наиболее богатую информацию о звёздах.

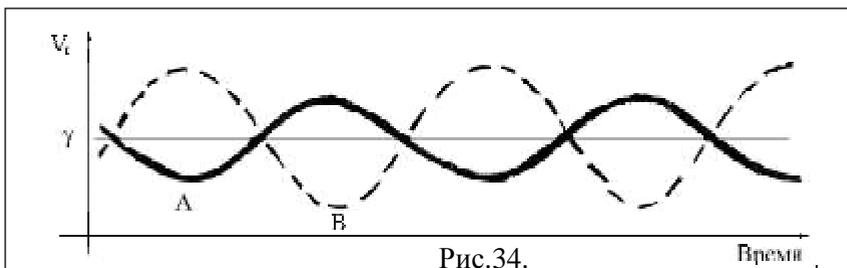


Рис.34.

Рис. 34. Кривые лучевых скоростей компонентов А и В;

V_r - лучевая скорость,

γ - значение лучевой скорости центра масс системы.

В широких звездных парах расстояние между компонентами настолько велико, а их относительные скорости настолько малы, что эти звезды движутся относительно *других* звёзд почти с одинаковыми скоростями. По этому признаку и обнаруживают широкую пару.

У некоторых двойных звезд вещество может перетекать от одного компонента к другому. Ввиду того, что для этого расстояние между ними должно быть очень мало, такие системы называют тесными-двойными системами (ТДС). Более массивный компонент ТДС изменяется в ходе эволюции быстрее, чем другой. Достигнув стадии гиганта (сверхгиганта), он раздувается до такой степени, что часть его атмосферы подпадает под гравитационное воздействие второго компонента. Тогда вещество первой звезды начинает перетекать к другой звезде, увеличивая её массу и ускоряя этим эволюцию. Если и вторая звезда превратится в гиганта, то обе звезда, вращаясь вокруг общего центра масс, касаются друг друга и ТДС принимает гантелевидную форму, рис.35.

Такая система называется контактной. Богатство проявлений, свойственных звездам, возрастает, если они - члены ТДС.

§6. Скопления звёзд

От кратных звёзд скопления отличаются большим числом членов и отсутствием иерархичности типа той, что показана на рис.31, случай (а).

Шаровые звездные скопления содержат сотни тысяч звезд, причем это - наиболее старые звёзды Галактики (см. ниже). В

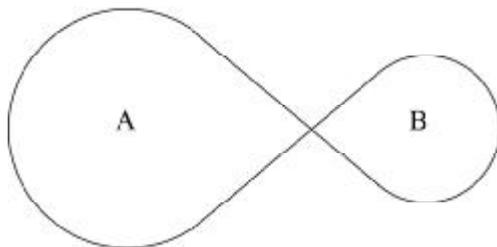


Рис.35. Тесная двойная система.

скоплениях выделяют ядро, в котором обычно сосредоточена наиболее массивные звезды, и обширную корону. В центре шарового скопления среднее расстояние от звезды до ближайшей к ней другой звезды составляет всего десятые доли светового года (один световой год равен $9,463 \times 10^{12}$ км), тогда как расстояние от Солнца до ближайшей звезды равно 4,3 светового года. Гипотетический наблюдатель, находящийся вблизи центра шарового скопления, увидит небо, сплошь усеянное яркими звёздами. Созвездия этого неба за десять тысяч лет изменят свои звёздные узоры до неузнаваемости (на Земле для этого потребовались бы сотни тысяч лет). Типичный диаметр шарового скопления - 100 световых лет.

Рассеянные звёздные скопления содержат меньше звёзд, чем шаровые, и обычно имеют неправильную форму. Их диаметры составляют 10-40 световых лет. Одно из ближайших к Солнцу рассеянных скоплений - Гиады в созвездии Телец. Расстояние до него - 140 световых лет. Число обнаруженных членов этого скопления - около 100. Другой пример - рассеянное скопление Плеяды в том же созвездии. Его ярчайшие 5 звёзд легко различимы невооруженным глазом.

Среди звездных скоплений встречаются как очень молодые (возраст - миллион лет и меньше), так и очень старые (возраст более десяти миллиардов лет).

Сам факт существования звездных скоплений свидетельствует, что, по крайней мере, часть звёзд рождается не поодиночке, а группами. На рис.36 фотокладки приводится схематический вид рассеянного и шарового скоплений. В галактике полное число рассеянных скоплений составляет около 10000, а шаровых - 200.

§7. Галактика

Млечный Путь, наблюдаемый в безлунные ночи в виде широкой серебристой полосы с неровными краями и тянущейся сквозь всё небо, представляет собой наиболее богатыми звездами области Галактики - нашего звездного дома. Почти всё, что видно на небе, Солнце, Луна, планеты, кометы, звёзды - входит в Галактику. Её частью является и сама Земля. Невооружённым

глазом из северного полушария можно наблюдать единственный объект, расположенный вне Галактики - большую туманность в Андромеде. Это - ближайшая другая галактика, даже большая нашей. На южном небе видна еще две галактики - Большое и Малое Маггеллановы облака. Используя телескоп, можно наблюдать многие миллионы галактик.

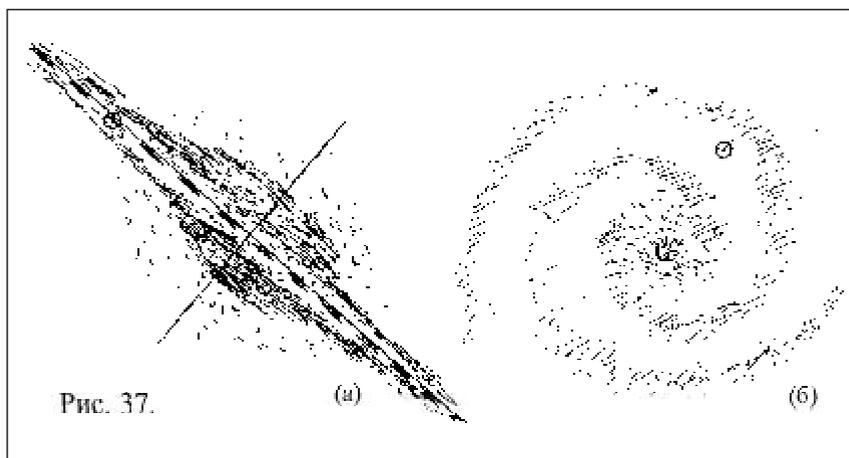
В Млечном Пути сосредоточено более 90 % звезд Галактики, общее число которых составляет от 200 до 400 миллиардов. "Влияние" Млечного Пути прослеживается за его пределами: плотность числа звезд (то есть числа в расчете на единицу угловой площади неба) убывает при увеличении углового расстояния от Млечного Пути.

В самом Млечном Пути даже в самые большие телескопы удастся увидеть далеко не все звезды по двум причинам: 1 - среди звезд встречаются настолько тусклые (то есть малой светимости), что они не видны даже находясь на сравнительно небольших расстояниях; 2 - между нами и достаточно удаленными звездами находятся облака, содержащие пыль. Они ослабляют свет звезд.

Общий вид Галактики схематично представлен в двух курсах на рис.37. Как видно, Галактика имеет экваториальную плоскость симметрии (она перпендикулярна чертежу и показана прерывистой линией) и ось вращения (прямая сплошная линия). Области, близкие к упомянутой плоскости, особенно богаты звездами. Из Солнца, отмеченного кружком с точкой, здесь наблюдается Млечный Путь.

Поперечник Галактики приблизительно равен 100000 световых лет. Солнце удалено от центра на 30000 световых лет. Период обращения Солнца вокруг центра называется галактическим годом и составляет около 200 млн. лет. Следует знать, что вместе с Солнцем в этом движении участвуют и другие звезды, а также газопылевые облака в межзвездном пространстве.

В состав Галактики входят: 1 - звезды (одиночные, кратные, в шаровых и рассеянных скоплениях), 2 - межзвездный газ (атомарный, молекулярный водород, другие газы и в числе их сложные химические соединения, включая органические), 3 - пыль (размеры пылинок 10^{-5} - 10^{-4} см), собранная вместе с газом в об-



лака, 4 - потоки космических лучей, управляемые и удерживаемые магнитным полем Галактики и 5 - планеты с их спутниками, метеороиды и кометы (по крайней мере, всё это имеется в окрестности Солнца).

В Галактике происходят сложные процессы эволюции её составляющих. Продолжается образование всё новых звезд из облаков межзвёздной среды. Достаточно массивные звезды время от времени взрываются, обогащая межзвёздную среду химическими элементами, синтезированными в их недрах при ядерных реакциях. Поэтому химический состав Галактики постепенно изменяется.

В Галактике выделяют две подсистемы: *диск* и *гало*. К гало относят шаровые скопления, звезды - субкарлики, выделяющиеся большими скоростями и низким (по сравнению с другими звёздами) содержанием элементов тяжелее гелия, а также некоторые другие объекты и, в том числе, особые типы переменных звёзд. Считается, что в гало входят наиболее старые образования Галактики; их возраст обычно не меньше 10 млрд. лет. К диску относят остальные звезды, а также рассеянные скопления и межзвёздные газопылевые облака. Эта грубая картина была со временем уточнена: диск и гало были разбиты на промежуточные, более молодые и более старые составляющие. Солнце принадле-

жит к старой составляющей диска.

Спиральную структуру (см. рис.37,б) образуют самые молодые объекты диска. Хотя при наблюдении других галактик спирали выделяются довольно контрастно (особенно при использовании голубого светофильтра), масса спиралей незначительна в сравнении с массой всей галактики. В динамике Галактики эти образования не играют заметной роли.

§8. Метагалактика

Так называют весь обозримый мир, изучаемый как единое целое. До 1924 года существование других галактик не было доказано, его лишь предполагали. После того, как Эдвин Хаббл при помощи самого большого в то время телескопа с диаметром зеркала 2,5 м обнаружил в галактике М31 (так обозначают туманность Андромеды) рис.37в фотокладки, переменные звезды - цефеиды, сомнения в звездной природе объекта М31 отпали. К настоящему времени установлено, что число доступных наблюдению галактик, во всяком случае, не меньше миллиарда. Самые далекие из них находятся на расстояниях около 12 млрд. световых лет. Их наблюдаемый теперь свет был испущен задолго до появления Земли.

В состав Метагалактики входят галактики и квазары, образующие группы и скопления. Всё пространство Метагалактики (часто называемой Вселенной) пронизано излучениями. Это, во-первых, инфракрасное, видимое, ультрафиолетовое и рентгеновское излучение галактик и квазаров, а также потоки нейтрино, и, во-вторых, реликтовое микроволновое и нейтринное излучения, возникновение которых связывают с Большим взрывом, положившим начало Метагалактики.

Одно время полагали, что пространственное распределение галактик имеет ячеистый вид (первоначально сгущения галактик в стенках “ячеек” называли сверхскоплениями). Однако, скорее всего, клочковатая структура *наблюдаемой* Метагалактики - результат совместного действия двух факторов: 1 - случайных флуктуаций (колебаний) в распределении чисел групп и скопле-

ний галактик в равных объёмах пространства и 2 - клочковатой структуры межзвёздного поглощающего вещества нашей Галактики. В отличие от звезд, изображения галактик на фотопластинках имеют низкую *поверхностную* яркость. Поэтому даже незначительное межзвёздное ослабление света (в газопылевых облаках) приводит к существенному искажению картины видимого распределения галактик даже вдали от Млечного Пути.

Если в Метагалактике выделять равные кубические объёмы с длиной ребра куба порядка 300 млн. световых лет, то число галактик внутри таких объемов окажется одинаковым в пределах случайных колебаний. Это свойство Метагалактики называют ее *однородностью*, предполагая дополнительно, что все характеристики вещества и излучения в этих объемах тоже одинаковы. В основе построения теоретических моделей Метагалактики лежит *космологический принцип* - предположение, что Вселенная однородна и изотропна. (Изотропность означает одинаковость свойств материи по всем направлениям).

Свойства галактик частично рассматривались выше на примере Галактики. Следует добавить, что кроме спиральных галактик существуют еще эллиптические (названные так по их виду в проекции на фотопластинку), в которых нет спиралей и, как правило, отсутствует пыль. Наконец, существует класс многочисленных неправильных галактик - относительно небольших размеров и неправильной формы (пример - Малое Магелланово Облако).

Квazarы, упомянутые выше при перечислении известных видов объектов Метагалактики, вероятно являются ядрами зарождающихся галактик. Бурные процессы в этих ядрах сопровождаются излучением электромагнитной энергии в десятки и сотни раз более мощным, чем от самых больших “зрелых” галактик. Первоначально квазары были обнаружены как радиоисточники ничтожно малых угловых размеров. В оптической области спектра квазар выглядит белой звездочкой. Ни один квазар нельзя увидеть невооружённым глазом. Ещё одно свойство квазаров - все они удаляются от нас (в каком бы направлении не наблюдались) со скоростями в *десятки* и *сотни* тысяч километров в секунду.

Скопления галактик содержат сотни членов, группа - несколько

десятков. Наша Галактика вместе с галактикой М31 (на расстоянии в два миллиона световых лет) входит в Местную группу галактик, включающую ещё три десятка сравнительно небольших галактик.

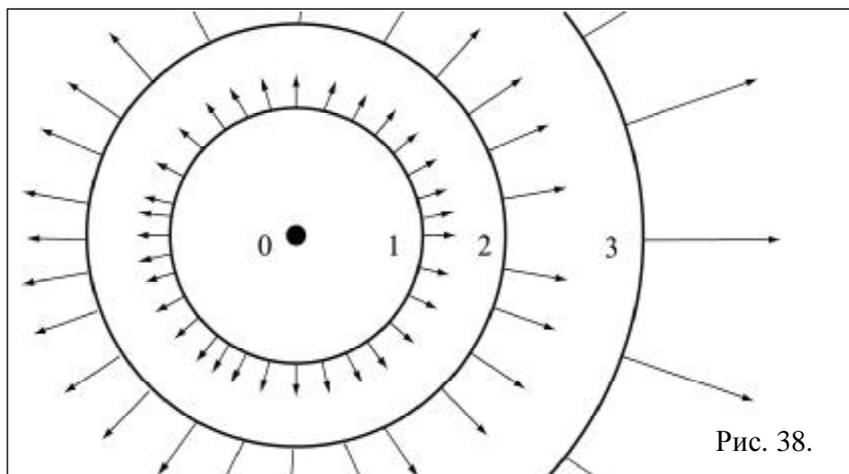
В 1929 году был опубликован закон Хаббла, согласно которому все галактики (за исключением нескольких самых близких) удаляются от нас:

$$V_r = Hr .$$

Здесь V_r - лучевая скорость в км/с (см. Гл.VII), r - расстояние, выраженное в мегапарсеках (мегапарсек равен $3,1 \times 10^{19}$ км) и $H = 75$ - постоянная, называемая *постоянной Хаббла*.

На рис.38 показано сечение Метагалактики плоскостью, проходящей через наблюдателя О. Скопления галактик изображены точками, длины стрелок пропорциональны скоростям скоплений относительно точки О (в ней находится наблюдатель, измеряющий скорости).

Этот рисунок не следует понимать так, что скопления, удаляясь от точки О, увеличивают свои скорости. Правильнее будет считать, что в точке О произошел взрыв и те объекты, которые получили большие скорости, успели удалиться от точки взрыва на большие расстояния. Скорости же почти не меняются. Спустя некоторое время те скопления, которое находятся на окружности 1, окажутся на окружности 2, принеся туда свои ско-



рости. За то же время, скопления, находившиеся на окружности 2, попадут на окружность 3, так что и там скорости окажутся меньшими, чем на рис.38.

Судьба расширения Метагалактики зависит от средней плотности материи. Если она меньше некоторого критического значения, то гравитационное взаимодействие между скоплениями галактик не остановит расширение и оно не сменится сжатием. При плотности, большей критического значения, Метагалактика то сжимается, то снова расширяется. Данные наблюдений пока не позволяют сделать уверенный выбор между этими вариантами. Однако при исследовании скоростей галактик в скоплениях выясняется, что значения скоростей превосходят тот предел, при котором скоплению уже грозит быстрый распад. Следовательно, либо скопления галактик действительно распадаются (но тогда неясно, почему они не успели уже это сделать), либо там присутствуют какие-то скрытые, не наблюдаемые в оптической области спектра, массы. Допустив наличие таких масс, можно получить значение средней плотности Метагалактики примерно равное критическому. Однако существует ещё и третья возможность: члены скопления с наибольшими скоростями относительно его центра на самом деле скоплению не принадлежат и лишь случайно проецируются на него. Исключить такую возможность непросто, так как расстояния до галактик определяются с большими ошибками.

Самые далекие скопления движутся со скоростями, близкими к скорости света. Следствием этого (и эффекта Доплера) является наблюдаемое увеличение длины волны излучения. Далёкие галактики краснеют и тускнеют. Более того, с точки зрения земного наблюдателя замедляются все происходящие там физические процессы. Но точно так же выглядит и наша звёздная система (Галактика) с точки зрения жителей тех далеких галактик. Наконец, на еще больших взаимных расстояниях, определяющих так называемый “горизонт событий”, объекты оказываются недоступными для их взаимных наблюдений. Виной тому является скорость взаимного удаления, близкая к скорости света.

Время начала расширения можно грубо оценить, исполь-

зую закон Хаббла. Как видно из рис.39, любая галактика, удаляющаяся от нашей со скоростью V_r , преодолет расстояние r за время, равное r/V_r .

Заменив величину V_r произведением Hr , после сокращения найдем, что искомое время равно $1/H$. Ввиду того, что *ответ не зависит от расстояния r* , можно сделать вывод, что вещество, из которого сформировались скопления галактик, было выброшено из одного и того же места одновременно. Это произошло около 15-20 млрд. лет назад (“возраст Вселенной”).

Напрашивающийся вывод, что наша Галактика находится в центре Метагалактики, раз от нее разбегаются во все стороны скопления галактик, неверен. Можно доказать, что закон Хаббла справедлив для наблюдателя, расположенного в любой точ-



Рис. 39.

ке Метагалактики.

Неопределенность “возраста Вселенной” отчасти связана с ошибками в определении значения постоянной Хаббла. Более серьезным источником неопределённости является отсутствие экспериментальных данных о поведении свободного фотона на протяжении многих миллионов лет (столько времени требуется излучению, испущенному далекой галактикой, чтобы достичь земного наблюдателя). Если фотон за это время теряет часть своей энергии (например, при взаимодействии с окружающими физическими полями), то “красное смещение в спектрах галактик, по крайней мере, отчасти имеет не доплеровскую природу. Тогда “возраст Вселенной”, приведенный выше, окажется заниженным. Он может составить и 30, и 50 млрд. лет.

Является ли Метагалактика единственной в мироздании, или же она - представительница многочисленного класса объектов, пока неясно.

До сих пор остаются неизвестными даже сами размеры Ме-

тагалактики. Первая нестационарная модель Метагалактики принадлежит русскому физическому и математическому Александру Александровичу Фридману.