



Рис. 16.10. Радиант метеорного потока

Один раз в 33 года наблюдаются метеорные дожди с радиантом в созвездии Льва, когда Земля встречается с самой плотной частью роя. Этот рой вызывает **метеорный поток Леонид** (рис. 16.11), наблюдающийся в середине ноября. Орбита данного метеорного роя практически совпадает с орбитой кометы 1866 I. Таким образом, установлено родство метеорных роев с кометами. Комета, разрушаясь, порождает метеорный рой.



Рис. 16.11. Метеорный дождь Леонид. Старинная гравюра. 1833 г.

Метеорный поток носит имя того созвездия или звезды, вблизи которых находится радиант, например Дракониды, Ориониды и др.

Среди метеорных потоков встречаются такие, интенсивность которых из года в год не меняется. Это значит, что метеорные частички распределены почти равномерно вдоль орбиты роя.

Подобным метеорным потоком является поток Персеид, наблюдающийся ежегодно в августе. Орбита этого роя совпадает с орбитой кометы 1862 III.

### Вопросы и упражнения

1. Расскажите, что такое астероид. Какие крупнейшие астероиды вы знаете? 2. Почему на астероидах нет атмосферы? 3. Какова связь комет с метеорами и астероидами? 4. Охарактеризуйте смысл понятий «метеор», «метеорит», «болид». 5. Какова природа происхождения «звездных дождей»? 6. Можно ли наблюдать метеоры на Луне? 7. Что такое радиант метеорного потока? 8. Определите ширину метеорного роя Драконид, если он действует с 6 по 10 октября. 9. Оцените массу ядра кометы Хейла — Боппа, считая, что она имеет шарообразное ядро радиусом 20 км и плотность кометного вещества  $1000 \text{ кг/м}^3$ .

## V РАЗДЕЛ

# Методы исследования небесных тел

## § 17. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ

**1. Электромагнитное излучение.** В исследовании природы небесных тел большое внимание уделяется изучению их электромагнитного излучения. Небесные тела в зависимости от своего физического состояния излучают электромагнитные волны различной длины.

В вакууме электромагнитные волны всегда распространяются с одинаковой скоростью  $c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ . Очень важным свойством электромагнитного излучения является то, что скорость его распространения не зависит ни от длины волны, ни от скорости движения источника. Волна характеризуется частотой  $\nu$  и длиной  $\lambda$ , между которыми существует зависимость:

$$c = \nu \lambda.$$

Электромагнитные волны, имеющие разную длину волны, взаимодействуют с веществом по-разному. Соответственно методы исследования электромагнитного излучения отличаются. В связи с этим электромагнитное излучение условно делится на несколько диапазонов (табл. 17.1).

Излучение с длиной волны от 390 до 760 нм человеческий глаз воспринимает как **свет**, причем разным длинам волн соответствуют разные цвета (от фиолетового до красного). Для обнаружения излучения в других диапазонах требуются специальные приборы.

Таблица 17.1

### ДИАПАЗОНЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

ДИАПАЗОНЫ	ДЛИНА ВОЛНЫ, $\lambda$
Радиоволны	Больше 1 мм
Инфракрасные лучи	От 760 нм до 1 мм
Видимые лучи	От 390 до 760 нм
Ультрафиолетовые лучи	От 10 до 390 нм
Рентгеновские лучи	От 0,01 до 10 нм
Гамма-лучи	Меньше 0,01 нм





Рис. 17.1. Распространение излучения небесных тел в атмосфере Земли

В зависимости от своего физического состояния одни небесные тела излучают энергию в узких интервалах частот спектра электромагнитных волн (например, светлые газовые туманности), другие — во всем его диапазоне: от гамма-лучей до радиоволн включительно (например, звезды). Изучение физической природы небесных тел в широком диапазоне электромагнитного излучения привело к появлению в науке следующих разделов: гамма-астрономия, рентгеновская астрономия, инфракрасная астрономия, радиоастрономия и др.

Изучение электромагнитных волн, испускаемых небесными телами, затрудняется из-за того, что атмосфера Земли пропускает излучение лишь в определенных диапазонах длин волн: от 300 до 1000 нм, от 1 см до 20 м и в нескольких «окнах» инфракрасного диапазона (рис. 17.1). Излучение, достигающее до поверхности Земли, исследуют с помощью оптических телескопов (видимый свет) и радиотелескопов.



Рис. 17.2. Орбитальная станция «Скайлэб» на околоземной орбите



Рис. 17.3. Пилотируемый комплекс «Салют-7» — «Союз Т-5» на околоземной орбите

Сильнее всего земная атмосфера поглощает коротковолновую область диапазона электромагнитного излучения: ультрафиолетовые, рентгеновские и гамма-лучи. Наблюдения в этих диапазонах возможны только с помощью приборов, поднятых на большую высоту (на самолетах или зондах) либо установленных на межпланетных космических станциях (рис. 17.2), комплексах (рис. 17.3), искусственных спутниках Земли и ракетах.

**2. Телескопы и их характеристики.** Изучать далекие недоступные небесные объекты можно одним способом — собрав и проанализировав их излучение. Для этой цели и служат телескопы. При всем своем многообразии телескопы, принимающие электромагнитное излучение, решают две основные задачи:

- 1) собрать от исследуемого объекта как можно больше энергии излучения определенного диапазона электромагнитных волн;
- 2) создать по возможности наиболее резкое изображение объекта, чтобы можно было выделить излучение от отдельных его точек, а также измерить угловые расстояния между ними.

В зависимости от конструктивных особенностей оптических схем телескопы делятся на линзовые системы — рефракторы, зеркальные системы — рефлекторы и смешанные зеркально-линзовые системы, к которым относятся телескопы конструкции Б. Шмидта, Д. Д. Максудова и др.

**Телескоп-рефрактор** (рис. 17.4) в основном используется для визуальных наблюдений. Он имеет объектив и окуляр. Телескоп-рефрактор, совмещенный с фотокамерой, называют **астрографом** или астрономической камерой. Астрограф по сути представляет собой большой фотоаппарат: в фокальной плоскости его устанавливается кассета с фотопластинкой. Диаметр объективов рефракторов ограничен из-за трудностей отливки крупных однородных блоков оптического стекла: их прогибов и светопоглощения. Наибольший диаметр объектива телескопа-рефрактора, применяемого в настоящее время, — 102 см (Йеркская обсерватория, США). Недостатками такого типа телескопов считаются их значительная длина и искажение изображения. Для устранения этих недостатков используют многолинзовые объективы с просветленной оптикой (рис. 17.5).



Рис. 17.4. Ход лучей в телескопе-рефракторе



Рис. 17.5. 300-миллиметровый телескоп-рефрактор обсерватории Московского планетария



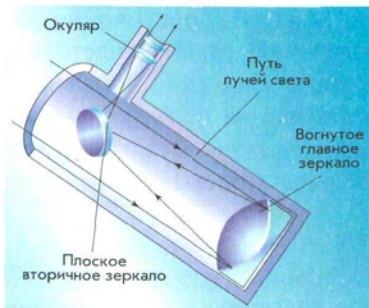


Рис. 17.6. Ход лучей в телескопе-рефлекторе

В рефлекторах с диаметром зеркала свыше 2,5 м в главном фокусе иногда устанавливают кабину для наблюдателя. С увеличением размеров зеркала в таких телескопах приходится применять специальные системы разгрузки зеркал, исключаящие их деформации из-за собственной массы, а также принимать меры для предотвращения их температурных деформаций. Сооружение крупных рефлекторов (с диаметром зеркала 4–6 м) сопряжено с большими техническими трудностями. Поэтому разрабатываются конструкции с составными мозаичными зеркалами, отдельные элементы которых требуют точной настройки с помощью специальной следящей аппаратуры, либо конструкции, содержащие несколько параллельных телескопов, сводящих изображение в одну точку.

В небольших и средних по размерам рефлекторах для удобства наблюдения свет отражается дополнительным плоским (вторичным) зеркалом к стенке трубы, где находится окуляр (рис. 17.6). Рефлекторы используют преимущественно для фотографирования неба, фотоэлектрических и спектральных исследований.

В **зеркально-линзовых телескопах** изображение получается с помощью сложного объектива, содержащего как зеркала, так и линзы. Это позволяет значительно снизить оптические искажения телескопа

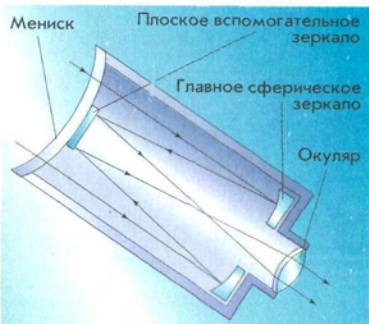


Рис. 17.7. Ход лучей в зеркально-линзовом телескопе

**Телескоп-рефлектор** имеет зеркальный объектив. В простейшем рефлекторе объектив — это одиночное, обычно параболическое зеркало; изображение получается в его главном фокусе. По сравнению с рефракторами телескопы-рефлекторы имеют намного большие размеры.

В рефлекторах с диаметром зеркала свыше 2,5 м в главном фокусе иногда устанавливают кабину для наблюдателя. С увеличением размеров

зеркала в таких телескопах приходится применять специальные системы разгрузки зеркал, исключаящие их деформации из-за собственной массы, а также принимать меры для предотвращения их температурных деформаций. Сооружение крупных рефлекторов (с диаметром зеркала 4–6 м) сопряжено с большими техническими трудностями. Поэтому разрабатываются конструкции с составными мозаичными зеркалами, отдельные элементы которых требуют точной настройки с помощью специальной следящей аппаратуры, либо конструкции, содержащие несколько параллельных телескопов, сводящих изображение в одну точку.

В небольших и средних по размерам рефлекторах для удобства наблюдения свет отражается дополнительным плоским (вторичным) зеркалом к стенке трубы, где находится окуляр (рис. 17.6). Рефлекторы используют преимущественно для фотографирования неба, фотоэлектрических и спектральных исследований.

В **зеркально-линзовых телескопах** изображение получается с помощью сложного объектива, содержащего как зеркала, так и линзы. Это позволяет значительно снизить оптические искажения телескопа

по сравнению с зеркальными или линзовыми системами. В телескопах системы Б. Шмидта оптические искажения главного сферического зеркала устраняются с помощью специальной коррекционной пластинки сложного профиля, установленной в объективе. В телескопах системы Д. Д. Максудова искажения главного сферического или эллиптического зеркал исправляются мениском, установленным перед зеркалом (рис. 17.7). Мениск — это линза

с мало отличающимися радиусами кривизны поверхности. Такая линза почти не влияет на общий ход лучей, но заметно исправляет искажения оптического изображения.

Основными оптическими параметрами телескопа являются: видимое увеличение и разрешающая способность.

**Видимое увеличение ( $G$ )** оптической системы — это отношение угла, под которым наблюдается изображение, даваемое оптической системой прибора, к угловому размеру объекта при наблюдении его непосредственно глазом. Видимое увеличение телескопа можно рассчитать по формуле:

$$G = \frac{F_{об}}{F_{ок}},$$

где  $F_{об}$  и  $F_{ок}$  — фокусные расстояния объектива и окуляра.

Для получения значительного увеличения объективы в телескопах должны быть длиннофокусными (фокусное расстояние в несколько метров), а окуляры — короткофокусными (несколько миллиметров). Неспкойная атмосфера Земли вызывает дрожание и искажение изображения, размывает его детали. Поэтому даже на крупных телескопах редко устанавливают увеличение более 500 раз.

Под **разрешающей способностью** оптического телескопа понимают наименьшее угловое расстояние между двумя звездами, которые могут быть видны в телескоп раздельно. Теоретически разрешающая способность (в секундах дуги) визуального телескопа для желто-зеленых лучей, к которым наиболее чувствителен глаз человека, может быть оценена при помощи формулы:

$$\psi = \frac{140''}{D},$$

где  $D$  — диаметр объектива телескопа в миллиметрах. На практике из-за постоянных перемещений воздушных масс разрешающая способность телескопов снижается. В итоге наземные телескопы, как правило, обеспечивают разрешающую способность около 1", и только в редких случаях, при весьма благоприятных атмосферных условиях, удается достичь разрешающей способности в несколько десятых долей секунды.

С 1995 г. работают два одинаковых 10-метровых телескопа «Кек-1» и «Кек-2» в обсерватории Мауна-Кеа (США). Каждое зеркало в них состоит из 36 сегментов. Качеством изображения телескопов руководит адаптивная оптика, управляющая каждым сегментом зеркала. По разрешающей способности такой телескоп приближается к космическому. Обсерватория расположена на высоте 4250 м над Тихим океаном на Гавайских островах.



Оптика Космического телескопа Хаббла (рис. 17.8) приближается к идеальной оптической системе. Вне атмосферы зеркало этого телескопа диаметром 2,4 м позволяет достичь разрешения 0,06".

Значительными возможностями обладает телескоп VLT (от англ. *Very Large Telescope* — очень большой телескоп), принадлежащий европейским странам и установленный на горе Параналь (высота 2635 м) на севере Чили. Телескоп VLT состоит из четырех телескопов диаметром по 8,2 м каждый. Крайние телескопы разнесены один от другого на расстояние 200 м, что позволяет всему комплексу приборов работать в режиме **оптического интерферометра**. Это означает, что если телескопы направлены на одну и ту же звезду, то собранное ими излучение суммируется, а разрешающая способность совместно работающих телескопов эквивалентна применению зеркала диаметром 200 м.

Количество построенных во всем мире телескопов с диаметром зеркала более шести метров приближается к двадцати (см. Приложение 13).

Собранное объективом телескопа излучение регистрируется и анализируется приемником излучения. На протяжении первых двух с половиной веков с начала телескопической эры единственным приемником излучения служил человеческий глаз. Однако это не только не очень чувствительный, но и достаточно субъективный приемник излучения. С середины XIX в. в астрономии стали широко применяться фотографические методы. Фотографические материалы (фотопластинки, фотопленки) обладают рядом ценных преимуществ по сравнению с человеческим глазом. Фотоэмульсия способна суммировать падающую на нее энергию, т. е., увеличивая выдержку на негативе, можно собрать больше света. Фотография позволяет документировать события, так как негативы могут храниться в течение

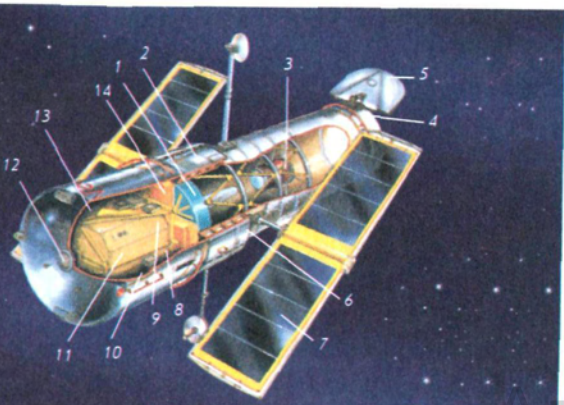


Рис. 17.8. Космический телескоп Хаббла (США): 1 — главное зеркало; 2 — модуль обслуживающих систем; 3 — вторичное зеркало; 4 — приспособление для защиты от боковых лучей; 5 — крышка; 6 — отсек оборудования; 7 — солнечные батареи; 8 — камера слабых объектов; 9 — высокоскоростной спектрограф; 10 — широкоугольная и планетная камеры; 11 — инструментальный отсек; 12 — спектрограф слабых объектов; 13 — спектрограф высокого разрешения; 14 — датчики точного гидирования

долгого времени. Фотопластинки обладают панорамностью, т. е. могут одновременно и точно фиксировать множество объектов.

Современные самые крупные телескопы управляются компьютерами, а полученные изображения космических объектов фиксируются в форме, которая обрабатывается компьютерными программами. Фотография почти вышла из употребления. В последние десятилетия получили широкое распространение **фотоэлектрические приемники излучения**, сведения от которых передаются непосредственно на компьютер. К таким приборам относятся ПЗС-матрицы (приборы с зарядовой связью). ПЗС-матрица — это интегральная схема, размещенная на полупроводниковом материале, которая превращает световую энергию излучения в энергию электрического тока. Сила тока пропорциональна интенсивности светового потока. Такие приборы обладают высокой эффективностью в регистрации световых квантов (квантовым выходом): используется до 80 % от общего их количества. Для сравнения: квантовый выход нашего глаза — 3 %, а фотоэмульсии — всего 1 %. Это значит, что телескоп, оборудованный ПЗС-матрицей, может регистрировать свет от объектов почти в 20 раз более слабых, чем при визуальном наблюдении. Кроме того, полученная информация записывается на магнитные носители в цифровом формате и сохраняется со временем (в отличие от фотографической эмульсии); может быть многократно скопирована и разослана разным исследователям. Компьютерная обработка изображения позволяет избавиться от помех и фона, создаваемых рассеянием света в атмосфере Земли и турбулентностью атмосферы.

**3. Радиотелескопы.** Изучением космических радиоисточников занимается радиоастрономия. Она зародилась в 1931 г., когда случайно было обнаружено радиоизлучение Млечного Пути. Спустя 15 лет в созвездии Лебедя нашли первый точечный источник радиоволн — слабую галактику, которую впоследствии удалось разглядеть в оптическом диапазоне.

Доходящее до Земли радиоизлучение большинства небесных объектов очень слабое. Для обнаружения и приема космического радиоизлучения используются приборы, которые получили название **радиотелескопов**. Радиотелескопы состоят из антенного устройства и чувствительной приемной системы. Приемная система, или радиометр, усиливает принятое антенной радиоизлучение и преобразует его в удобную для дальнейшей обработки форму.

Основное назначение антенного устройства — собрать максимальное количество энергии, приносимой радиоволнами от объекта. В качестве антенны используется сплошное металлическое или сетчатое зеркало, имеющее форму параболоида. Антенна радиотелескопа отличается от обычных антенн радиосвязи высокой направленностью,





Рис. 17.9. Северный сектор радиотелескопа РАТАН-600

Радиотелескопы очень большого размера могут быть построены из отдельных зеркал, каждое из которых фокусирует принимаемое излучение на один облучатель. Примером является российский радиотелескоп РАТАН-600 (рис. 17.9). Антенна этого телескопа представляет собой замкнутое кольцо диаметром около 600 м, состоящее из 895 плоских зеркал размером  $2,1 \times 7,4$  м, образующих сегменты параболоида. Каждое зеркало может перемещаться немного назад-вперед и, главное, поворачиваться вверх в пределах  $70^\circ$ . Управление панелями ведется с помощью компьютера, поэтому во время наблюдений антенна может оставаться наведенной на одну и ту же точку вращающегося небесного свода.

Мощность радиосигнала, поступающего на вход приемника, прямо пропорциональна площади антенны. Поэтому антенна большего размера с одним и тем же приемником дает лучшую чувствительность, т. е. позволяет обнаружить слабые источники с малой мощностью излучения. Антенны крупнейших радиотелескопов достигают сотен метров. Крупный радиотелескоп с вращающимся металлическим рефлектором диаметром 100 м находится недалеко от города Бонна в Германии. Неподвижная антенна в Аресибо (Пуэрто-Рико), располагающаяся в кратере потухшего вулкана, имеет диаметр 305 м (рис. 17.10). Для того чтобы изменить направление приема излучения, в этом радиотелескопе делают перестановку облучателя.



Рис. 17.10. Гигантский радиотелескоп в чаше кратера (Пуэрто-Рико)

т. е. способностью выделять радиоизлучение небольшого участка неба. В фокусе параболоида помещается облучатель — устройство, собирающее радиоизлучение, направленное на него зеркалом. Облучатель передает принятую энергию на приемное устройство, где сигнал усиливается, детектируется и регистрируется.

Если радиоизлучение источника одновременно воспринимается двумя и более антеннами, расположенными на некотором расстоянии друг от друга, и затем эти сигналы суммируются, то вследствие интерференции радиосигналов раз-

решающая способность телескопов значительно возрастает. Такой инструмент называется **радиоинтерферометром**. На рис. 17.11 показана схема работы радиоинтерферометра, состоящего из двух радиотелескопов, находящихся друг от друга на расстоянии  $D$ , которое может составлять сотни и даже тысячи километров. Например, многоэлементный радиоинтерферометр VLA (штат Нью-Мексико, США) состоит из 27 индивидуальных 25-метровых параболоидов, разнесенных на 25 км. Радиоинтерферометры со сверхдлинной базой объединяют радиотелескопы, разнесенные на тысячи километров. С их помощью удалось получить угловое разрешение порядка  $0,0001''$ .

Радиоволны свободно проходят сквозь огромные межзвездные газопылевые облака и атмосферу Земли. Поэтому методы радиоастрономии очень важны для изучения, например, центральных районов Млечного Пути и других галактик, так как оптические волны, идущие из этих областей, полностью поглощаются. Так, исследование излучения межзвездного водорода на волне 21 см позволило лучше понять структуру нашей Галактики и выявить ее спиральные рукава. Благодаря радиоастрономии были открыты квазары и пульсары.

В большей или меньшей степени радиоизлучательной способностью обладают все галактики. Но некоторые из них отличаются повышенной активностью. (На рис. 17.12 показано совмещение оптической фотографии и линий интенсивности радиоизлучения радиогалактики Центавр А.)

Все известные космические радиоисточники в 1980-х гг. были сведены в каталог, который насчитывает свыше 100 тыс. объектов.

В 1958 г. астрономы США получили первое радарное эхо от другой планеты — Венеры. Отражения радарных сигналов от других планет дают самые точные измерения расстояний. Эти же методы позволили проникнуть через плотную атмосферу Венеры и исследовать

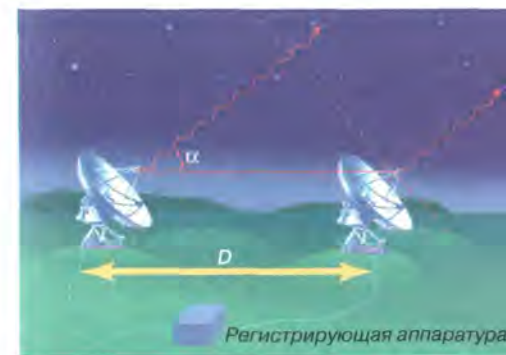


Рис. 17.11. Схема работы радиоинтерферометра



Рис. 17.12. Оптическое и радиоизлучение галактики Центавр А



рельеф ее поверхности. В 1994 г. американский космический аппарат «Магеллан» провел радарные исследования с орбиты вокруг Венеры и получил точные данные о деталях поверхности этой планеты. С помощью радара были точно определены периоды вращения Венеры и Меркурия.

**4. Внеатмосферная астрономия.** Молодой раздел астрономии — **внеатмосферная астрономия** — изучает небесные объекты при помощи аппаратуры, вынесенной за пределы земной атмосферы. Различные приборы, установленные на искусственных спутниках Земли (ИСЗ) и автоматических межпланетных станциях (АМС), позволяют изучать космические объекты во всем диапазоне длин волн, начиная от жесткого гамма-излучения до километровых радиоволн. Поэтому современная астрономия стала, можно сказать, всеволновой.

Применение **инфракрасного излучения** в астрономии началось с того, что с его помощью ученые провели точные измерения температуры поверхности и атмосферы планет Солнечной системы: Так в атмосферах Марса, Венеры и Юпитера был найден углекислый газ. Инфракрасные наблюдения планет-гигантов позволили узнать структуру их атмосфер и обнаружить лед на спутниках. Сенсационным открытием инфракрасной астрономии стала вода, обнаруженная в космосе в большом количестве. Она присутствует в газопылевых туманностях, кометах и на малых планетах.

Так как земная атмосфера сильно экранирует **ультрафиолетовое излучение**, его приемники приходится размещать на искусственных спутниках Земли. Активные исследования космических ультрафиолетовых лучей проводит американский спутник FUSE (спектроскопический зонд дальнего ультрафиолетового диапазона), запущенный в 1998 г.

Проведенные в 1999 г. наблюдения дали очень интересные научные результаты. Оказалось, что в нашей Галактике широко распространены массы сильно нагретого (до полумиллиона градусов) межзвездного газа, находящегося на расстоянии от 5 до 10 тыс. световых лет от центральной плоскости Млечного Пути. Этот газ нагревается, скорее всего, в результате вспышек сверхновых звезд.



Рис. 17.13. Рентгеновское изображение Крабовидной туманности

Источниками **гамма-излучения** являются вспышки на Солнце, ядра активных галактик, квазары. Исследования гамма-излучения проводила космическая гамма-обсерватория им. Комптона (США), запущенная в 1991 г.

Самый чувствительный приемник рентгеновского излучения (рентгеновский телескоп) размещен на спутнике «Чандра», запущенном в 1999 г. При помощи этой обсерватории исследуются сверхновые звезды, туманности (рис. 17.13), нейтронные звезды, солнечная корона и вспышки на Солнце.

На околоземные орбиты ИСЗ выводят уникальные ультрафиолетовые, инфракрасные и оптические телескопы. Постепенно увеличиваются диаметры их главных зеркал, совершенствуется светоприемная аппаратура, повышается чувствительность приборов, разрабатываются новые методы стабилизации телескопов на орбите.

### Вопросы и упражнения

1. На какие диапазоны подразделяется весь спектр электромагнитного излучения? 2. Почему с поверхности Земли нельзя вести изучение небесных объектов во всех диапазонах электромагнитного излучения? 3. Какие основные задачи решают в астрономии с помощью телескопов? 4. Как можно определить видимое увеличение оптической системы телескопа? 5. Докажите, что увеличение телескопа при визуальных наблюдениях равно отношению фокусных расстояний объектива и окуляра. 6. Что понимают под разрешающей способностью телескопа? 7. Чем отличаются оптические телескопы от радиотелескопов? 8. Чем отличается радиоинтерферометр от радиотелескопа? 9. Что понимают под внеатмосферной астрономией?

## § 18. СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ В АСТРОНОМИИ

**1. Виды спектров.** В 1666 г. Исаак Ньютон, пропуская пучок солнечного света через трехгранную стеклянную призму, заметил, что тот не только преломляется к основанию призмы, но и распадается на цветные составляющие (рис. 18.1). Полученная на экране цветная полоска, состоящая из семи основных цветов, постепенно переходящих один в другой, была названа **спектром**.



Рис. 18.1. Образование непрерывного спектра





Рис. 18.2. Спектрограф, установленный на телескопе

Для наблюдения и исследования спектров применяют прибор — **спектроскоп**. Для получения и регистрации спектров небесных тел используют специальный оптический прибор — **спектрограф** (рис. 18.2).

Спектры сравнительно ярких светил фотографируют с помощью шелевых спектрографов, состоящих из коллиматора, призмы и фотокамеры (рис. 18.3). Фотографический снимок спектра небесного тела называется **спектрограммой**. Спектрограммой называют также график зависимости интенсивности (мощности) излучения небесного тела от длины волны или частоты.

Любое светящееся тело создает спектр испускания. Спектры бывают сплошные (непрерывные), линейчатые и полосатые.

**Сплошной спектр** имеет вид непрерывной полосы, цвета которой постепенно переходят один в другой (см. рис. 18.1). Все твердые тела, расплавленные металлы, светящиеся газы и пары, находящиеся под очень большим давлением, дают сплошной спектр. Такой спектр можно, например, получить от дугового фонаря и горящей свечи.

Иной вид имеет спектр, если в качестве источника света использовать раскаленные газы или пары, когда их давление мало отличается от нормального и газы находятся в атомарном состоянии. В этом случае говорят о **линейчатом спектре** (атомном). Он состоит из отдельных резких цветных линий, разделенных темными промежутками (рис. 18.4). Многие газы и пары состоят из отдельных атомов, например инертные газы (гелий, неон, аргон и др.), пары металлов. Газы и пары, состоящие из молекул (например, водород, кислород, пары йода), могут при опре-

деленных условиях распадаться на атомы (диссоциировать). Такие атомарные газы и пары также дают линейчатые спектры. Установлено, что каждый химический элемент в состоянии раскаленного газа, состоящего из атомов, испускает присущий только ему одному линейчатый спектр с характерными цветными линиями, всегда расположенными на определенном месте.

**Полосатый спектр** (молекулярный) состоит из отдельных линий, сливающихся в полосы (четкие с одного края и размытые с другого), разделенные темными промежутками. Такой спектр испускают молекулы газов и паров.

Наряду со спектрами испускания различают спектры поглощения. Как нам уже известно, наблюдая свет от дугового фонаря через спектроскоп, мы получим сплошной спектр. Если поместить перед щелью спектроскопа обычное зеленое стекло, то сплошной спектр предстанет в виде узкой зеленой полоски, а все остальные цвета будут отсутствовать — на их месте будет темная полоса. Подобно цветным стеклам, газы и пары веществ также способны поглощать определенные лучи спектра. Например, если лучи от дугового фонаря будут проходить сквозь пары натрия, температура которых ниже, чем температура раскаленных углей фонаря, то в сплошном спектре возникнут близко расположенные темные линии на том самом месте, где получаются желтые линии в спектре испускания натрия. Если же свет от дугового фонаря будет проходить через газы и пары других веществ, то в сплошном спектре, наблюдаемом в спектроскоп, мы увидим также ряд темных линий, характерных для этих веществ.

Сплошной спектр, пересеченный темными линиями или полосами в результате прохождения белого света через раскаленные газы или пары, называется **спектром поглощения**. Исследование явления возникновения спектров поглощения показало, что *вещество поглощает лучи тех длин волн, которые оно может испускать в данных условиях (закон Кирхгофа)*.

Таким образом, для каждого химического элемента его линейчатый спектр испускания и спектр поглощения обладают обратимостью. Это значит, что расположение темных линий поглощения в точности соответствует расположению цветных линий испускания.

Спектр содержит важнейшую информацию об излучении. Общий вид спектра и детальное распределение энергии в нем зависят от тем-



Рис. 18.4. Линейчатые спектры некоторых веществ (Hg, Ne, He, Na, H)

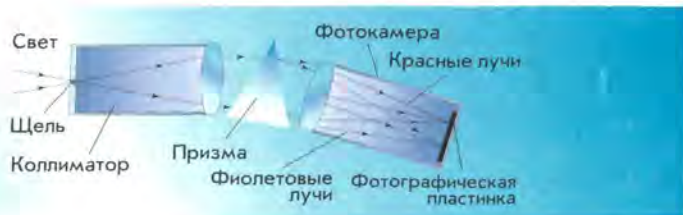


Рис. 18.3. Схема щелевого спектрографа



пературы, химического состава и физических свойств источника, а также от скорости его движения. Метод исследования химического состава тел и их физического состояния с помощью спектров испускания и поглощения называется **спектральным анализом**.

**2. Химический состав небесных тел.** В 1814 г. немецкий физик *Йозеф Фраунгофер*, наблюдая спектр Солнца при помощи сделанного им спектроскопа с дифракционной решеткой, обратил внимание на то, что сплошной спектр Солнца содержит значительное число темных линий. Ученый установил, что эти линии (названные впоследствии его именем) не случайны и всегда присутствуют в спектре Солнца на строго определенных местах. **Фраунгоферовы линии** — не что иное, как линии поглощения паров различных веществ, находящихся вблизи источника сплошного спектра — яркой поверхности Солнца (между фотосферой и спектральным прибором). Солнце окружено газовой оболочкой, имеющей более низкую температуру и меньшую плотность, чем фотосфера. Таким образом, спектр Солнца есть, по существу, спектр поглощения этих паров.

При детальной классификации фраунгоферовых линий один за другим на Солнце обнаружили все земные элементы. После осуществления большой по объему работы по установлению соответствия фраунгоферовых линий определенным элементам оказалось, что несколько спектральных линий не принадлежат ни одному земному элементу. Так был открыт новый элемент — гелий (солнечный). И только через 26 лет гелий обнаружили на Земле.

Сравнивая длины волн линий поглощения, наблюдаемых в спектрах небесных тел, с полученными в лаборатории или рассчитанными теоретически спектрами различных веществ, можно определить химический состав излучающего космического объекта, находящегося на очень большом расстоянии. Спектральный анализ позволяет определить состав не только Солнца, но и других объектов — звезд, туманностей. Анализ спектров — основной метод изучения физической природы космических объектов, который используется в астрофизике.

**3. Температура. Законы Вина и Стефана — Больцмана.** Всякое, даже слабо нагретое тело излучает электромагнитные волны (тепловое излучение). При температурах, не превышающих  $10^3$  К, излучаются главным образом инфракрасные лучи и радиоволны. По мере дальнейшего нагревания спектр теплового излучения меняется: во-первых, увеличивается общее количество излучаемой энергии, во-вторых, появляются лучи все более и более коротких длин волн — видимые (от красных до фиолетовых), ультрафиолетовые, рентгеновские и т. д.

При тепловом излучении внутренняя энергия теплового движения атомов и молекул тела переходит в энергию испускаемых электромаг-

нитных волн. При поглощении света происходит обратный процесс перехода электромагнитной энергии во внутреннюю энергию тела.

Тело, которое абсолютно не поглощало бы излучение и полностью отражало все падающие на него лучи, называют в физике **абсолютно белым телом**. Наблюдаемый цвет такого тела полностью определяется спектральным составом освещающего его излучения. Тело, полностью поглощающее все падающее на него излучение, называется **абсолютно черным телом**. При освещении такого тела посторонним источником света оно ничего не отражает и представляется нам черным.

Следует заметить, что в природе абсолютно белых и абсолютно черных тел нет. Реальные тела, которые мы называем черными (бархат, сажа), хорошо поглощают только излучение видимой области спектра, да и то не полностью.

При каждом определенном значении температуры нагретое тело излучает сильнее всего в некоторой области спектра. Температура небесных тел, имеющих непрерывный спектр, может быть измерена по распределению энергии в спектре. От распределения энергии в спектре зависит цвет источника, поэтому цвет тела оказывается связанным с его температурой.

Распределение энергии в непрерывном спектре тел разной температуры можно представить в виде графика (рис. 18.5). С увеличением температуры максимум излучения абсолютно черного тела смещается в коротковолновую область спектра. Длина волны  $\lambda_{\max}$ , которой соответствует максимум в распределении энергии, связана с абсолютной температурой  $T$  соотношением, которое называют **законом смещения Вина**:

$$\lambda_{\max} T = b.$$

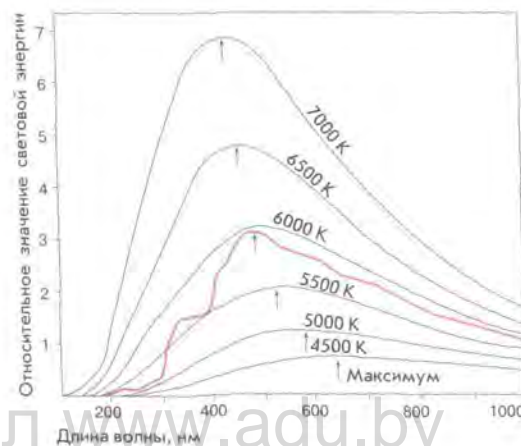


Рис. 18.5. Распределение энергии в непрерывных спектрах тел, нагретых до разных температур. Красная кривая — спектр Солнца



Если  $T$  выражать в градусах Кельвина, а  $\lambda_{\text{max}}$  — в микрометрах, то постоянная  $b \approx 2900 \text{ К} \cdot \text{мкм}$ . Данный закон выполняется не только для оптического, но и для любого другого диапазона электромагнитного излучения.

В спектрограмме Солнца наибольшая интенсивность излучения приходится на длину волны  $\lambda = 480 \text{ нм}$ , поэтому температура солнечной фотосферы близка к  $6000 \text{ К}$ .

По мере увеличения температуры меняется не только цвет излучения, но и его мощность. В результате экспериментов и теоретических расчетов было обосновано, что *мощность излучения абсолютно черного тела пропорциональна четвертой степени температуры (закон Стефана — Больцмана)*. Каждый квадратный метр поверхности абсолютно черного тела излучает за  $1 \text{ с}$  по всем направлениям во всех длинах волн энергию

$$\epsilon = \sigma T^4,$$

где  $\epsilon$  — мощность излучения единицы поверхности нагретого тела,  $T$  — абсолютная температура,  $\sigma$  — постоянная Стефана — Больцмана. Постоянная Стефана — Больцмана равна  $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ .

Зная количество энергии, приходящей от звезды к земной поверхности, можно по закону Стефана — Больцмана определить ее температуру. Законы Вина и Стефана — Больцмана справедливы для излучения абсолютно черного тела. В первом приближении можно считать, что звезды, и в частности Солнце, излучают как абсолютно черное тело.

**4. Эффект Доплера.** В астрофизике широко используется эффект Доплера, возникающий при движении источника излучения относительно наблюдателя. Суть эффекта Доплера заключается в следующем: если источник излучения движется по лучу зрения наблюдателя со скоростью  $v_r$ , называемой лучевой скоростью, то вместо длины волны  $\lambda_0$ , которую излучает источник, наблюдатель фиксирует волну длиной  $\lambda$ , так что

$$\lambda = \lambda_0 \left( 1 + \frac{v_r}{c} \right),$$

где  $c$  — скорость света.

Скорость  $v_r$  положительна при удалении источника света от наблюдателя ( $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 > 0$ ) и отрицательна при приближении к нему ( $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 < 0$ ).

С эффектом Доплера мы часто сталкиваемся в акустике. Например, если вы стоите на платформе, мимо которой проходит поезд, то можете заметить, что пока он приближался, звуковой сигнал был более высоким, а когда стал удаляться, высота звука сразу снизилась.

Аналогичное явление наблюдается и в оптике: свет от приближающегося источника становится более синим (частота увеличивается), а от удаляющегося — более красным (частота уменьшается). Это изменение сказывается на положении спектральных линий в спектре: они смещаются в синюю или красную область спектра.

Для измерения смещения спектральных линий рядом со спектром исследуемой звезды на ту же фотопластинку фотографируют спектр лабораторного источника, в котором имеются известные спектральные линии. Потом при помощи микроскопов, снабженных точными микрометрами, измеряют смещение линий объекта по отношению к лабораторной системе длин волн и тем самым находят величину  $\Delta\lambda$ . Затем по формуле

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v_r}{c},$$

которая следует из приведенной выше, вычисляют лучевую скорость  $v_r$ .

Приведенная выше формула Доплера пригодна лишь для скоростей  $v_r$  в пределах до  $0,1$  скорости света. При движении источников излучения со скоростями, близкими к скорости света, необходимо учитывать законы теории относительности.

Сдвиг спектральных линий теоретически предсказал в 1842 г. австрийский физик Х. Доплер. Правильность формулы Доплера подтвердил в 1899 г. лабораторными опытами и наблюдениями спектров звезд русский астрофизик А. А. Белопольский.

### Вопросы и упражнения

1. Что такое спектр? Какие явления доказывают сложный состав света?
2. Что можно узнать о космическом объекте, изучая его спектр?
3. Назовите и дайте определения трем основным видам спектров.
4. Что такое спектральный анализ? Какое применение он находит в астрономии?
5. Для чего предназначен и как устроен спектрограф? Что такое спектрограмма?
6. Сформулируйте и запишите закон смещения Вина и закон Стефана — Больцмана.
7. Рассчитайте, на какую область спектра приходится максимум излучения тела, нагретого до комнатной ( $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ) температуры.
8. Какую температуру должна иметь звезда, чтобы максимум в ее спектре приходился на область ультрафиолетового излучения?
9. В чем заключается эффект Доплера? Какое применение находит эффект Доплера в астрономии?
10. Измерения спектрограммы звезды показали, что линия железа ( $\lambda = 530,2 \text{ нм}$ ) в ее спектре сдвинута в сравнении с линиями лабораторного источника в сторону более коротких волн на  $0,02 \text{ нм}$ . Чему равна скорость звезды по лучу зрения?



# VI РАЗДЕЛ Солнце — дневная звезда

## § 19. СОЛНЦЕ КАК ЗВЕЗДА

**1. Общие сведения.** Солнце занимает исключительное положение в жизни человечества. Оно обеспечивает нас светом, теплом и является источником всех видов энергии, используемых людьми. Солнце влияет на магнитное поле и верхние слои атмосферы Земли, вызывая магнитные бури, ионизацию и циркуляцию атмосферы. Солнечная «погода» влияет на климат, биосферу и земную жизнь в целом. Эту основную роль Солнца человек осознал еще в древности.

**Солнце** — центральное тело Солнечной системы, типичная звезда, представляющая собой раскаленный плазменный шар. Солнце — одна из 100 млрд звезд нашей Галактики. Детально изучая физическую природу Солнца, мы получаем важнейшие сведения о природе остальных звезд. Диск Солнца, видимый с Земли, — ослепительно желтый круг со средним угловым диаметром 32'. Свет от него доходит до нас за 8½ мин.

Диаметр Солнца равен 1 млн 392 тыс. км, или 109 диаметров Земли. Объем Солнца, таким образом, более чем в миллион раз превосходит объем Земли, но масса его составляет  $M = 1,99 \cdot 10^{30}$  кг, что примерно равно 330 000 земных масс. Зная массу Солнца и его размеры, можно определить среднюю плотность солнечного вещества  $\rho = 1,409 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, что почти в 4 раза меньше средней плотности Земли. Но Солнце неоднородно. Плотность его быстро возрастает вглубь.

Измерения за пределами земной атмосферы показали, что на площадку 1 м<sup>2</sup>, расположенную перпендикулярно солнечным лучам, ежесекундно поступает 1,37 кВт энергии. Эта величина практически не меняется в течение длительного промежутка времени, поэтому она получила название **солнечной постоянной**. Максимум солнечного излучения приходится на оптический диапазон.

**Светимость Солнца**, или полное количество энергии, излучаемое Солнцем по всем направлениям в единицу времени, определим следующим образом: величину солнечной постоянной умножим на площадь сферы с радиусом  $r$  в одну астрономическую единицу (1 а. е. = 149,6 · 10<sup>9</sup> м). Она получится равной

$$L_{\odot} = 4\pi r^2 \cdot 1370 \text{ Вт} = 3,85 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$$

На Землю попадает ничтожная часть солнечной энергии, составляющая около половины миллиардной доли указанного выше значения. (Другие основные сведения о Солнце представлены в Приложении 14.)

### 2. Спектр и химический состав.

Почти все наши знания о Солнце основаны на изучении его спектра. Химические элементы, которые присутствуют в атмосфере Солнца, поглощают из непрерывного спектра, излучаемого фотосферой, свет определенной частоты. В результате в непрерывном спектре появляются темные линии. Как мы уже говорили, Й. Фраунгофер впервые изучил и зарисовал 576 темных линий солнечного спектра. Ученый правильно указал, что источник темных спектральных линий — солнечная атмосфера. По положениям в спектре (т. е. длинам волн) и интенсивностям этих фраунгоферовых линий можно установить, какие химические элементы присутствуют в солнечной атмосфере (рис. 19.1).

Уже отождествлено свыше 30 тыс. линий для 70 химических элементов, присутствующих в атмосфере Солнца. Для лучшего разрешения фраунгоферовых линий спектр Солнца максимально «растягивают» с помощью оптических приборов (рис. 19.2). Для удобства весь спектр разрезан на части и каждая полоска последовательно помещена внизу одна под другой. Как видим, даже на таком сильно «растянутом» рисунке спектра многие линии сливаются воедино. Фраунгоферовы линии по интенсивности и ширине чрезвычайно разнообразны.

Анализ интенсивностей спектральных линий показал, что преобладающим элементом на Солнце является водород.

**3. Внутреннее строение.** Основываясь на сведениях о радиусе, массе, светимости Солнца, на физических законах (которые в силу своей универсальности применимы и для других небесных тел), можно получить данные о давлении, плотности, температуре и химическом составе на разных расстояниях от центра Солнца. При приближении к центру Солнца растут, достигая максимальных значений, температура,

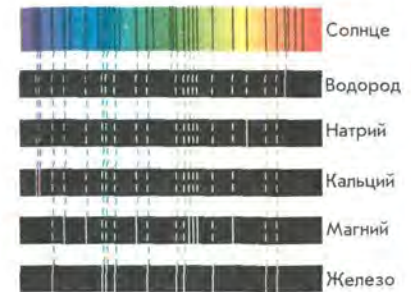


Рис. 19.1. Соответствие между положением фраунгоферовых линий солнечного спектра и линиями химических элементов



Рис. 19.2. Общий вид спектра Солнца



Таблица 19.1

## МОДЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ СОЛНЦА

Расстояние от центра $R/R_{\odot}$	Температура $T$ , К	Давление $P$ , Па	Плотность $\rho$ , $\times 10^3$ кг/м <sup>3</sup>
0	$1,5 \cdot 10^7$	$2,2 \cdot 10^{16}$	150
0,2	$1,0 \cdot 10^7$	$4,6 \cdot 10^{15}$	36
0,5	$3,4 \cdot 10^6$	$6,1 \cdot 10^{13}$	1,3
0,8	$1,3 \cdot 10^6$	$6,2 \cdot 10^{11}$	0,035
0,98	$1,0 \cdot 10^6$	$1,0 \cdot 10^9$	0,001

давление и плотность. Химический состав Солнца на разных глубинах тоже различается: процентное содержание водорода меньше всего в центре.

Высокое давление внутри Солнца обусловлено действием вышележащих слоев. Силы тяготения стремятся сжать Солнце. Им противодействуют упругость горячего газа и давление излучения, идущие из недр. Эти силы стремятся расширить Солнце. Тяготение, с одной стороны, а упругость газов и давление излучения, с другой — уравновешивают друг друга. Равновесие имеет место во всех слоях от поверхности до центра Солнца. Такое состояние Солнца и звезд называется **гидростатическим равновесием**. Эта простая идея была выдвинута в 1924 г. английским астрофизиком *Артуром Эддингтоном*. Она позволила составить уравнения, по которым рассчитывают модели внутреннего строения Солнца, а также других звезд. Такие модели представляют собой совокупность параметров звездного вещества (температура, давление, плотность и т. д.) на разных глубинах. В табл. 19.1 приведена так называемая модель внутреннего строения Солнца, т. е. зависимость его физических свойств от глубины.



Рис. 19.3. Внутреннее строение Солнца

Как видно из таблицы, температура в недрах Солнца достигает 15 млн градусов. Именно в этой области генерируется энергия Солнца. Солнечное вещество в основном состоит из водорода. При огромных давлениях и температурах протоны (ядра водорода) движутся со скоростями в сотни километров в секунду. Внутри Солнца (на расстояниях до 0,3 радиуса от центра; рис. 19.3) создаются условия, благоприятные для протекания термоядерных реакций слияния атомов легких химических

элементов в атомы более тяжелые. Из ядер водорода образуется второй из легчайших элементов — гелий. Для образования одного ядра гелия требуется 4 ядра водорода. На промежуточных стадиях образуются ядра тяжелого водорода (дейтерия) и ядра изотопа  $\text{He}^3$ . Эта реакция называется **протон-протонной** (рис. 19.4). При реакции небольшое количество массы реагирующих ядер водорода теряется, преобразуясь в огромное количество энергии. Выделяющаяся энергия поддерживает излучение Солнца. Через слои, окружающие центральную часть звезды, эта энергия передается наружу. В области от 0,3 до 0,7 радиуса от центра Солнца находится зона лучистого равновесия энергии, где энергия распространяется через поглощение и излучение  $\gamma$ -квантов. Рождающиеся в центре Солнца гамма-кванты имеют энергию в миллионы раз большую, чем энергия квантов видимого света. Длина волны гамма-квантов очень мала. В процессе поглощения квантов атомами и дальнейшего их переизлучения происходит постепенное уменьшение их энергии и увеличение длины волны. Мощные гамма-кванты постепенно дробятся на обладающие меньшей энергией: возникают рентгеновские, ультрафиолетовые и, наконец, видимые и инфракрасные лучи.

На протяжении последней трети радиуса Солнца находится **конвективная зона**. Здесь энергия передается не излучением, а посредством конвекции (перемешивания) (рис. 19.5). Причина возникновения конвекции в наружных слоях Солнца та же, что и в кипящем сосуде с водой: количество энергии, поступающее от нагревателя, гораздо больше того, которое отводится теплопроводностью. Поэтому вещество вынужденно приходит в движение и само начинает переносить тепло. Конвективная зона простирается практически до самой видимой поверхности Солнца (фотосферы).

**4. Источники энергии.** Анализ химического состава земных, лунных пород и метеоритов указывает на то, что Солнечная система

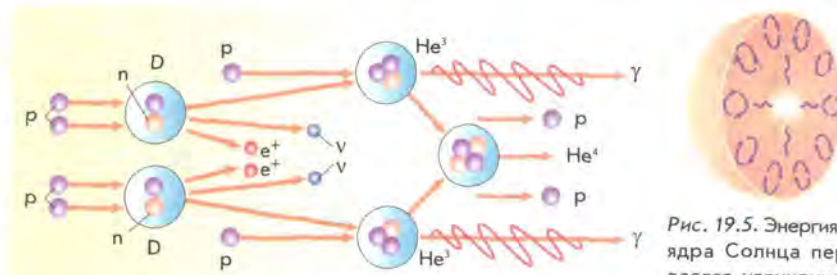


Рис. 19.4. Схема протон-протонной реакции:  $p$  — протон;  $n$  — нейтрон;  $D$  — ядро дейтерия;  $\text{He}^3$ ,  $\text{He}^4$  — ядра изотопов гелия;  $e^+$  — позитрон;  $\nu$  — нейтрино;  $\gamma$  — квант излучения

Рис. 19.5. Энергия от ядра Солнца передается излучением. У поверхности главным переносчиком энергии становится конвекция



образовалась около 4,7 млрд лет назад. Солнце, по современным данным, существует около 5 млрд лет. За последние 3 млрд лет светимость его почти не изменилась. Тогда полная энергия Солнца, выделенная за это время, равна  $E_{\odot} \approx L_{\odot} t = 3,6 \cdot 10^{43}$  Дж. Разделив эту величину на полную массу Солнца, получим, что каждый килограмм солнечного вещества выделил около  $1,8 \cdot 10^{13}$  Дж энергии. Реально эта величина еще больше, так как мы не учли еще первые 2 млрд лет. Ни одно химическое горючее не может обеспечить такую величину внутренней энергии, выделяемой 1 кг солнечного вещества.

В среднем Солнце теряет примерно 4 млн тонн водорода в секунду. На первый взгляд эта величина может показаться огромной. Однако она ничтожна по сравнению с полной массой Солнца. Расчеты показывают, что водорода в недрах достаточно для поддержания свечения Солнца на современном уровне еще на протяжении 5 млрд лет.

### Вопросы и упражнения

1. Как можно вычислить массу Солнца? 2. Что такое солнечная постоянная? Как ее определили? 3. Что понимают под светимостью Солнца? Чему она равна? 4. Какие химические элементы являются преобладающими для Солнца? 5. Опишите внутреннее строение Солнца. 6. На какие зоны условно подразделяются недра Солнца? Какие процессы происходят в каждой из этих зон? 7. Что является источником солнечной энергии?

VI

## § 20. СТРОЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ АТМОСФЕРЫ

**1. Фотосфера.** Диск Солнца кажется резко очерченным. Это происходит потому, что практически все видимое излучение Солнца исходит из очень тонкого слоя — **фотосферы**. Толщина фотосферы не превышает 300 км. Самые заметные объекты на Солнце — это темные пятна (см. рис. 19.3), одно из которых в увеличенном виде показано на рис. 20.1. Диаметры пятен иногда достигают 200 тыс. км. Совсем маленькие пятна называют **порами**. Вся фотосфера Солнца выглядит как совокупность ярких пятен — **гранул**, разделенных между собой узкими и менее яркими промежутками. Размер каждой из гранул

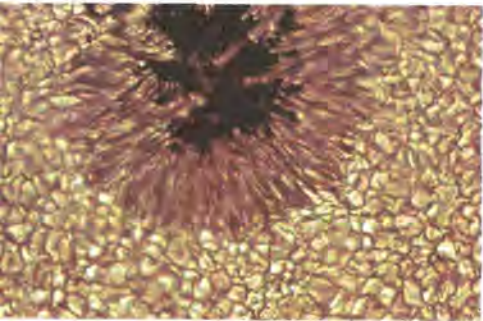


Рис. 20.1. Одно из солнечных пятен и фотосферная грануляция

около 700 км. Рисунок, который образуют гранулы, постоянно изменяется (буквально за 5—10 мин они успевают появиться и исчезнуть). Плазма в гранулах поднимается вверх, а в межгранульных пространствах опускается вниз. Поэтому разность температур гранул и темных промежутков достигает 600 К. Процесс постоянного возникновения и исчезновения гранул в фотосфере Солнца называется **грануляцией**.

Картина солнечных пятен, хотя и несколько медленнее, также постоянно меняется: пятна появляются, растут и распадаются (рис. 20.2). Время жизни групп пятен составляет два или три оборота Солнца вокруг своей оси. Пятна холоднее окружающего их вещества и поэтому на общем фоне солнечного диска выглядят темнее. Солнечные пятна обычно появляются группами в пределах небольшой области, вытянутой параллельно экватору. По размерам в группе выделяются два пятна: головное (западное) пятно, идущее впереди по вращению Солнца, и хвостовое.

Систематические наблюдения солнечных пятен показывают, что Солнце вращается в направлении движения планет и плоскость солнечного экватора наклонена к плоскости эклиптики под углом  $7^{\circ}15'$ . Также обнаружено, что угловая скорость вращения Солнца убывает от экватора к полюсам. Период вращения Солнца изменяется от 25 суток на экваторе до 30 суток у полюсов.

Многолетние наблюдения образования пятен на Солнце показали, что имеются циклические колебания числа пятен. Иногда их не бывает совсем, а иногда одновременно возникают десятки крупных пятен. Средняя продолжительность такого цикла составляет примерно 11 лет.

Кроме пятен, в фотосфере наблюдаются **факелы** — яркие образования, видимые в белом свете преимущественно вблизи края диска Солнца. Факелы имеют сложную волокнистую структуру, их температура на несколько сотен градусов превышает температуру фотосферы.

Обычно факелы появляются раньше пятен и продолжают существовать некоторое время после их исчезновения. Площадь факельных площадок в несколько раз превосходит площадь соответствующей группы пятен. В центре диска Солнца факелы практически не видны, так как их контрастность очень

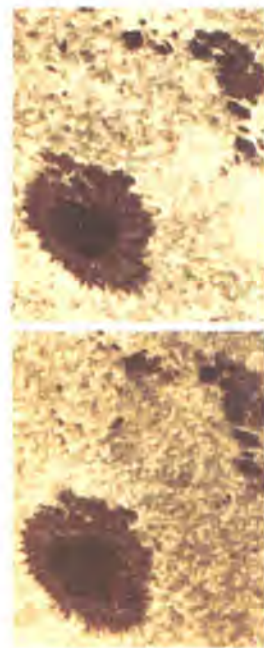


Рис. 20.2. Динамика изменения группы солнечных пятен (фотографии сделаны с интервалом в 2 ч 40 мин)

VI



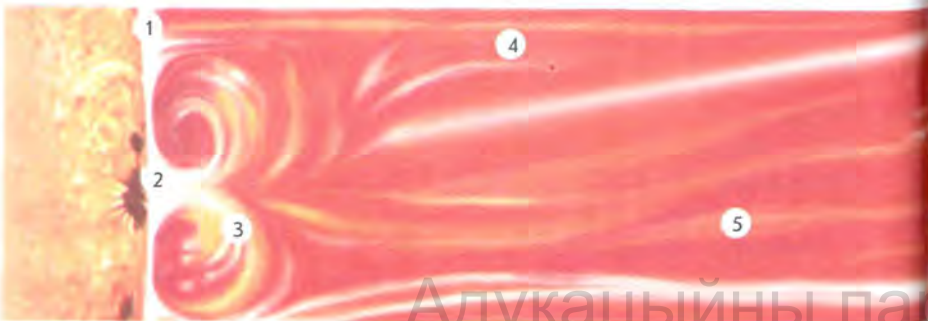


Рис. 20.3. Хромосфера Солнца, наблюдаемая во время полного солнечного затмения

женность достигает 10—15 тыс. км. Температура в хромосфере с высотой не падает, а растет от 4500 К до нескольких десятков тысяч. Излучение хромосферы в сотни раз меньше фотосферного, поэтому для ее наблюдения применяют специальные методы, позволяющие выделять слабое излучение. Хромосфера весьма неоднородна и представляется наблюдателю в виде продолговатых вытянутых язычков или зубчиков — **спикул** — длиной порядка 10 тыс. км, придающих ей вид горячей травы (рис. 20.4). Спикулы выбрасываются из нижней хромосферы со скоростью до 30 км/с; время их жизни составляет несколько минут. Одновременно на Солнце существует до 250 тыс. спикул.

На краю солнечного диска хорошо видны **протуберанцы** (см. рис. 19.3) — гигантские арки или выступы, как бы опирающиеся на хромосферу. Изменение и форма протуберанцев (рис. 20.5) тесно связаны с магнитным полем Солнца.

Рис. 20.4. Строение солнечной атмосферы: 1 — фотосфера; 2 — пятна; 3 — протуберанец; 4 — вспышка; 5 — хромосфера; 6 — солнечная корона; 7 — корональные лучи



мала. Средняя продолжительность их существования — 15 суток, но может достигать почти 3 месяцев.

Образование пятен и факелов связано с магнитным полем Солнца. Как показывают исследования, индукция магнитного поля Солнца в среднем в два раза выше, чем на поверхности Земли, однако в местах появления солнечных пятен она увеличивается в тысячи раз.

**2. Внешние слои атмосферы: хромосфера и корона.** Над фотосферой простирается **хромосфера** Солнца (рис. 20.3). Общая ее протя-

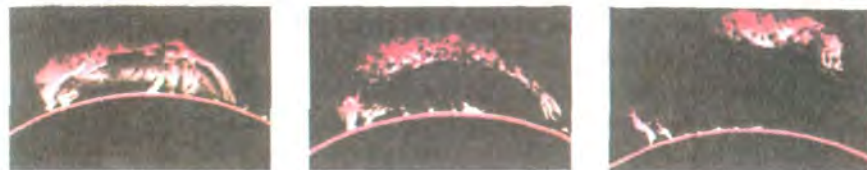


Рис. 20.5. Изменения протуберанца, наблюдавшегося в течение нескольких часов

В хромосфере наблюдаются мощные и быстро развивающиеся процессы — **вспышки** (рис. 20.6). Эти яркие образования существуют от нескольких минут до нескольких часов. Обычно солнечные вспышки проходят вблизи быстро развивающихся групп солнечных пятен. Они сопровождаются выбросами вещества. По характеру явления (быстрота развития и огромное энерговыделение) вспышки представляют собой взрывные процессы. Внешние слои атмосферы Солнца — хромосфера и еще выше располагающаяся **солнечная корона** (рис. 20.7) — хорошо видны во время полных солнечных затмений.

Корона — самая внешняя разреженная и горячая оболочка Солнца, распространяющаяся от него на несколько солнечных радиусов и имеющая температуру плазмы до 1 млн градусов. Яркость солнечной короны в миллион раз меньше, чем фотосферы, поэтому наблюдать солнечную



Рис. 20.6. Хромосферная вспышка на Солнце

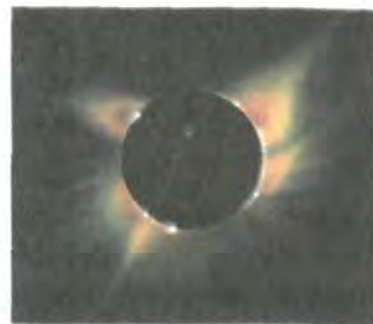
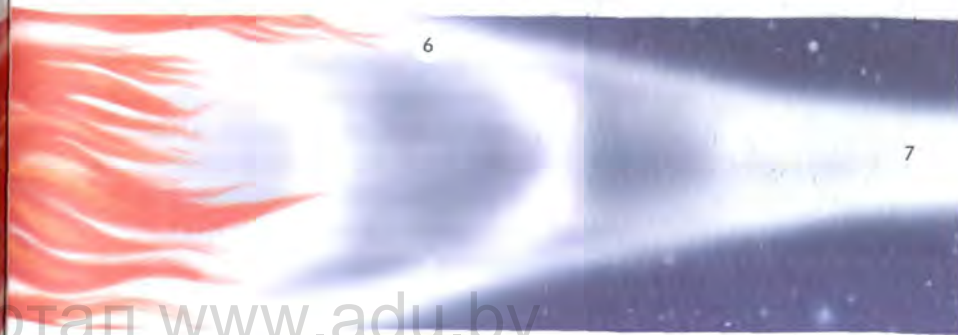


Рис. 20.7. Солнечная корона во время затмения Солнца





корону можно во время полных солнечных затмений или с помощью специальных телескопов-коронографов. Высокую температуру и разреженность короны подтверждает спектральный анализ. В ее спектре наблюдались неизвестные в земных условиях спектральные линии, которые приписывались гипотетическому химическому элементу «коронию». И только в 1940-х гг. было установлено, что линии «корония» принадлежат многократно ионизированному железу и другим хорошо известным химическим элементам, но находящимся в необычно высоких состояниях ионизации и возбуждения. Позже высокая температура короны была измерена по ее радиоизлучению, а затем и по рентгеновскому излучению. Нагревание короны до высоких температур осуществляется за счет передачи энергии колебательных (конвективных) движений вещества из фотосферы. Волны (с частотой звуковых колебаний) в короне, где плотность вещества быстро убывает, становятся ударными. Они быстро затухают, происходит преобразование механической энергии волн в тепло. Из-за высокой температуры плотность короны убывает медленно, поэтому самые внешние слои атмосферы Солнца тянутся вплоть до орбиты Земли.

**3. Магнитные поля и активные образования.** Масса, радиус, количество энергии, излучаемой Солнцем, остаются практически постоянными, но на всех уровнях солнечной атмосферы наблюдаются структурные образования, изменяющие свои физические параметры во времени. Совокупность нестационарных процессов, периодически возникающих в солнечной атмосфере, называется **солнечной активностью**. Проявлением солнечной активности являются пятна, факелы в фотосфере, протуберанцы, вспышки и выбросы вещества в атмосфере и короне. Места, где они возникают, называются **активными областями** (рис. 20.8). Все активные образования взаимосвязаны с помощью изменяющихся магнитных полей, которые всегда присутствуют в активных областях Солнца. Центры активности, зарождаясь на некоторой глубине под фотосферой, простираются в виде ярусов далеко в солнечную корону.

Не только появление пятен, но и солнечная активность в целом имеют 11-летнюю цикличность (колебание циклов фактически проходит в пределах от 7,5 до 16 лет).

Различают магнитные поля солнечных пятен, активных областей вне пятен и общее магнитное поле

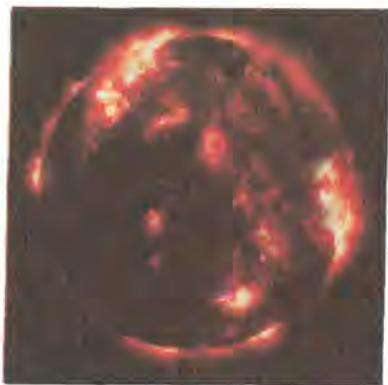


Рис. 20.8. Солнце в рентгеновских лучах. Наиболее яркие места — области проявления солнечной активности

Солнца. Общее магнитное поле невелико и имеет напряженность около 80 А/м. В активных областях магнитное поле увеличивается в сотни и тысячи раз. Структура магнитных полей в активных областях очень сложна; происходит чередование магнитных полюсов различной полярности. Встречаются также локальные магнитные области с большой напряженностью вне солнечных пятен.

### Вопросы и упражнения

1. Что такое фотосфера Солнца? 2. Какие объекты характерны для фотосферы Солнца? 3. Вычислите линейный размер пятна, если его угловой диаметр равен 17,6". 4. Почему солнечные пятна темнее, чем фотосфера? 5. Что понимают под грануляцией? 6. Что понимают под хромосферой и короной Солнца? 7. Какие явления наблюдаются в хромосфере и короне Солнца? 8. Что такое солнечная активность и какова ее цикличность?

## § 21. ВЛИЯНИЕ СОЛНЦА НА ЖИЗНЬ ЗЕМЛИ

**1. Интенсивность солнечного излучения вне оптического диапазона.** Электромагнитное излучение Солнца, максимум которого приходится на видимую часть спектра, проходит строгий отбор в земной атмосфере. Она «прозрачна» только для видимого света и частично ультрафиолетового и инфракрасного излучений, а также для радиоволн в сравнительно узком диапазоне.

В ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах мощность солнечного излучения резко уменьшается — в сотни тысяч раз по сравнению с мощностью излучения в оптическом диапазоне. Но если в оптическом диапазоне Солнце является постоянной звездой, то излучение в коротковолновой области спектра зависит от солнечной активности, увеличиваясь или уменьшаясь в несколько раз в течение 11-летнего солнечного цикла. Сильно возрастает поток коротковолнового излучения во время хромосферных вспышек. Из нижних слоев хромосферы исходит ультрафиолетовое излучение, максимальная интенсивность которого может в 2 раза превышать минимальное значение в 11-летнем цикле. Основное рентгеновское излучение исходит из короны Солнца.

Рентгеновское и ультрафиолетовое излучение Солнца поглощается в верхних слоях атмосферы Земли. Оно ионизирует газы земной атмосферы. Ионизированный слой верхней части атмосферы Земли называется **ионосферой**. Слабая ионизация регистрируется уже на высоте 60 км, а максимум концентрации электронов и ионов наблюдается



на высоте 250—400 км от поверхности Земли. Ионосфера Земли полностью определяет распространение коротких радиоволн между удаленными пунктами земной поверхности. При сильных всплесках солнечного рентгеновского излучения от хромосферных вспышек происходит нарушение связи на коротких волнах.

Длинноволновое (мягкое) ультрафиолетовое излучение Солнца способно проникать в атмосферу Земли до высоты 30—35 км. Там оно разделяет молекулы кислорода  $O_2$  на два составляющих атома. Свободные атомы, соединяясь с молекулами кислорода, образуют новое вещество — **озон**, каждая молекула которого состоит из трех атомов кислорода.

Озоновый слой поглощает практически все ультрафиолетовое излучение Солнца, оставляя лишь малую долю, достигающую поверхности Земли и вызывающую у людей загар. Когда толщина озонового слоя уменьшается, солнечное ультрафиолетовое излучение может возрасти в 1,5—2 раза. Оно биологически активно и вызывает увеличение количества заболеваний раком кожи.

**2. Солнечный ветер.** Непрерывный расширяющийся поток плазмы, исходящий приблизительно радиально от Солнца вдоль линий напряженности магнитного поля и заполняющий собой межпланетное пространство, называется **солнечным ветром**. В его состав входят протоны, электроны, а также  $\alpha$ -частицы и в незначительном количестве ряд высокоионизированных атомов (кислород, кремний, сера, железо). Скорость частиц солнечного ветра увеличивается по мере их удаления от Солнца. Вблизи Земли скорость солнечного ветра достигает 450 км/с, а плотность составляет несколько частиц в кубическом сантиметре.

Поток энергии, уносимый солнечным ветром, достигает примерно  $10^{-8}$  светимости Солнца. Поток солнечной плазмы не может преодолеть противодействие магнитного поля Земли и обтекает его. При этом образуется полость — **магнитосфера** (рис. 21.1). Магнитосфера имеет каплеобразную форму.



Рис. 21.1. Схема образования магнитосферы Земли

Магнитосфера имеет каплеобразную форму. Со стороны Солнца она сжата давлением солнечного ветра. Граница магнитосферы, обращенная к Солнцу, находится на расстоянии в среднем 10—12 радиусов Земли. С противоположной (ночной) стороны магнитосфера вытянута подобно хвосту кометы, и ее протяженность достигает расстояния, равного 6000 радиусов Земли. С изменением скорости и плотности частиц солнечного ветра изменяется и форма магнитосферы.

**3. Солнечно-земные связи.** Солнечная активность оказывает сильное влияние в первую очередь на внешние оболочки Земли — магнитосферу и ионосферу. Во время мощных солнечных вспышек частицы могут разгоняться до 100 000 км/с, т. е. возникают космические лучи солнечного происхождения. Под воздействием солнечных космических лучей в атмосфере образуется окись азота  $NO$ , которая, взаимодействуя с озоном, активно его разрушает за счет реакции  $NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2$ . После мощных вспышек на Солнце наблюдается понижение содержания озона в стратосфере над полярными шапками Земли.

С помощью специальных приборов — коронографов, установленных на космических аппаратах, регистрируют грандиозные выбросы вещества из возмущенной короны Солнца. Оторвавшийся от Солнца сгусток корональной плазмы, несущий внутри себя замкнутую петлю магнитного поля, называется **корональным выбросом массы**. Скорость выброса доходит иногда до 1000 км/с. На расстоянии нескольких радиусов Солнца корональный выброс имеет размер, сравнимый с радиусом Солнца. При движении к Земле это плазменное облако расширяется в десятки раз, растягиваясь до 30 млн км. В годы максимума солнечной активности частота корональных выбросов масс увеличивается в 5 раз. Плазменное облако с «вымороженным» магнитным полем достигает Земли за 1,5—2 дня.

Столкновение плазменного облака с магнитосферой Земли приводит к сильным ее возмущениям. Воздействие коронального выброса приводит к возникновению сильных магнитных бурь, к разогреву и ускорению плазмы внутри магнитосферы. При этом быстрые протоны и электроны, сталкиваясь с молекулами воздуха на высоте

100—200 км, ионизуют их и заставляют светиться. В результате ионизации на Земле, преимущественно в околополярных широтах, наблюдаются полярные сияния (рис. 21.2). При высокой геомагнитной активности сияния появляются на высоте 300—400 км, и их можно наблюдать даже на широтах Республики Беларусь. По форме полярные сияния необычайно разнообразны: дуги, спирали, полосы, ленты, занавесы и т. д. Полярные сияния бывают чаще и ярче в годы максимума солнечной активности. Сияния могут происходить и в атмосферах других планет, например в атмосфере Венеры.



Рис. 21.2. Полярное сияние



Во время магнитной бури изменяются электрические поля над поверхностью Земли. Это, во-первых, приводит к возникновению перегрузок в линиях электропередач (до нескольких сотен ампер) и их отключению. Во-вторых — к наведению сильных токов в трубах газо- и нефтепроводов и к выходу из строя их систем управления. Последствия магнитной бури также сказываются на бортовых электронных системах космических аппаратов.

Магнитные бури приводят к изменению давления в тропосфере (нижнем слое атмосферы Земли), в результате развиваются циклоны.

На тот факт, что Солнце влияет на биологические объекты, в том числе и на здоровье человека, впервые еще в 1915 г. обратил внимание А. Л. Чижевский. Проанализировав исторические документы, ученый пришел к выводу, что в прошлом вспышки эпидемий приходились преимущественно на годы максимумов солнечной активности. На основании выведенной связи ученый попытался предсказать некоторые эпидемии на 35 лет вперед. Его прогнозы сбылись в семи случаях из восьми.

К колебаниям солнечной активности особенно чувствительна нервная система человека. Статистически достоверно установлено, что число больных, поступающих в клиники, резко увеличивается в дни подъема солнечной активности. Предполагается, что солнечная активность влияет на человека через возмущения магнитного поля Земли.

Чтобы всесторонне исследовать происходящие на Солнце явления, ученые проводят непрерывные наблюдения Солнца, которые называют **Службой Солнца**. В этих наблюдениях участвуют крупные астрофизические обсерватории, а также множество специальных станций. Для более эффективного решения проблем солнечно-земных связей организуются специальные международные комплексные программы исследований, выполняемые в определенные периоды времени («Международный геофизический год», «Международный год спокойного Солнца» и т. д.).

### Вопросы и упражнения

1. Как земная атмосфера влияет на прохождение различных видов солнечного излучения к Земле? 2. Почему на Земле часто наблюдается нарушение связи на коротких радиоволнах? 3. Какова роль озонового слоя в атмосфере Земли? Каким образом активность Солнца может влиять на толщину озонового слоя Земли? 4. Что такое солнечный ветер? Как он возникает? 5. Что называют магнитосферой Земли? Какое влияние на нее оказывает солнечный ветер? 6. Каким образом влияет межпланетное магнитное поле на магнитосферу Земли? 7. Каковы причины и последствия магнитных бурь на Земле? 8. Каковы причины происхождения полярных сияний?

## VII РАЗДЕЛ

## Звезды

### § 22. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВЕЗД. СВЕТИМОСТЬ

**1. Видимая звездная величина.** При первоначальном знакомстве со звездным небом (§ 2) мы рассмотрели понятие «звездная величина» ( $m$ ). Вы уже знаете, что звезды 1-й звездной величины создают в 2,512 раза большую освещенность, чем звезды 2-й звездной величины, которые в свою очередь дают световые потоки в 2,512 раза больше, чем звезды 3-й звездной величины, и т. д. Таким образом, за интервал в видимую 1 звездную величину (обозначается  $1^m$ ) принято отношение освещенностей ( $E$ ) в 2,512 раза. Данное число выбрано для удобства так, чтобы его десятичный логарифм в точности равнялся 0,4, а интервал в  $5^m$  соответствовал бы отношению в 100 раз. В виде формулы эти соотношения выразил *Н. Поггон*:

$$\frac{E_1}{E_2} = 2,512^{m_2 - m_1} \quad (22.1)$$

Видимая звездная величина Луны в полнолуние равна  $-12,7^m$ , а в фазе первой четверти составляет  $-9,0^m$ . По формуле (22.1) можем найти, что освещенность Луны в полнолуние ( $E_n$ ) больше освещенности Луны в фазе первой четверти ( $E_l$ ) в 30 раз:

$$\frac{E_n}{E_l} = 2,512^{m_l - m_n} = 2,512^{-9+12,7} = 2,512^{3,7} \approx 30.$$

Видимую звездную величину Солнца определил *В. К. Цераский*. Она оказалась равной  $-26,8^m$ . Шкала звездных величин позволяет выражать в звездных величинах блеск слабых светил, невидимых невооруженным глазом. В настоящее время крупнейшие телескопы с диаметром зеркал 8–10 м и современной приемной аппаратурой позволяют регистрировать объекты до 28-й звездной величины.

**2. Определение расстояний до звезд.** Ученые давно предполагали, что звезды имеют такую же физическую природу, как и наше Солнце. Из-за колоссальных расстояний диски звезд не видны даже в сильные телескопы. Чтобы сравнивать звезды между собой и с Солнцем, необходимо найти методы определения расстояний до них. Основным таким методом является метод параллактического смеще-



ния звезд, рассмотренный нами ранее. Так как радиус Земли слишком мал по сравнению с расстоянием до звезд, необходимо выбрать больший базис для измерения параллактического смещения звезд. Еще Н. Коперник понимал, что согласно его гелиоцентрической системе близкие звезды на фоне далеких звезд должны описывать эллипсы в результате годового движения Земли вокруг Солнца.

Кажущееся перемещение более близкой звезды на фоне очень далеких звезд происходит по эллипсу с периодом в 1 год и отражает движение наблюдателя вместе с Землей вокруг Солнца (рис. 22.1). Положение Земли на орбите и видимые с Земли положения звезды на небе на данном рисунке обозначены одинаковыми цифрами. Маленький эллипс, описываемый звездой, называется параллактическим эллипсом. В угловой мере большая полуось этого эллипса равна величине угла, под которым со звезды видна большая полуось земной орбиты, перпендикулярная направлению на звезду. Этот угол называется **годовым параллаксом** ( $\pi$ ). Параллактические смещения звезд служат неопровержимым доказательством обращения Земли вокруг Солнца.

Расстояния до звезд определяются по их годовому параллактическому смещению, которое обусловлено перемещением наблюдателя (вместе с Землей) по земной орбите.

Из рис. 22.2 видно, что если  $CT = a$  есть средний радиус земной орбиты,  $MC = r$  — расстояние до звезды  $M$  от Солнца  $C$ , а угол  $\pi$  — годичный параллакс звезды, то

$$r = \frac{a}{\sin \pi}$$

Так как годовые параллаксы звезд оцениваются десятичными долями секунды, а 1 радиан равен  $206\,265''$ , то расстояние до звезды можно определить из соотношения:

$$r = \frac{206\,265''}{\pi''} \text{ а. е.} \quad (22.2)$$

При измерении расстояний до звезд астрономическая единица (а. е.) — среднее расстояние от Земли до Солнца — слишком мала. Поэтому для удобства определения расстояний до звезд в астрономии применяется специальная единица длины — парсек (пк), название которой происходит от слов



Рис. 22.1. Параллактическое смещение звезды на протяжении года:  $C$  — Солнце;  $S$  — звезда;  $a$  — полуось земной орбиты;  $\pi$  — годичный параллакс



Рис. 22.2. Годичный параллакс звезды:  $C$  — Солнце;  $M$  — звезда;  $T$  — Земля

«параллакс» и «секунда». Парсек — это расстояние, с которого радиус земной орбиты был бы виден под углом в  $1''$ .

Согласно формуле (22.2),  $1 \text{ пк} = 206\,265 \text{ а. е.} = 3,086 \cdot 10^{13} \text{ км}$ . Таким образом, расстояние до звезд в парсеках будет определяться выражением:

$$r = \frac{1}{\pi''} \text{ пк.} \quad (22.3)$$

В астрономических единицах обычно выражаются расстояния до небесных тел Солнечной системы. Расстояния до небесных тел, находящихся за пределами Солнечной системы, обычно выражаются в парсеках, килопарсеках ( $1 \text{ кпк} = 10^3 \text{ пк}$ ) и мегапарсеках ( $1 \text{ Мпк} = 10^6 \text{ пк}$ ), а также в световых годах ( $1 \text{ св. г.} = 9,46 \cdot 10^{12} \text{ км} = 63\,240 \text{ а. е.} = 0,3067 \text{ пк}$  или  $1 \text{ пк} = 3,26 \text{ св. г.}$ ). **Световой год** — расстояние, которое электромагнитное излучение (в вакууме) проходит за 1 год.

Нижний предел измерений тригонометрических параллаксов не превышает  $0,005''$ , что позволяет определять расстояния не свыше 200 пк. Расстояния до еще более далеких объектов определяются менее точно иными методами.

**3. Абсолютная звездная величина.** Видимый блеск звезд не характеризует их реального излучения. Он определяется двумя факторами: истинным излучением звезды и расстоянием до нее. Солнце, например, гораздо ближе к Земле, чем любая другая звезда, поэтому оно — самое яркое светило на небе. Следовательно, для сравнения истинного блеска звезд необходимо вычислять их звездную величину на определенном одинаковом расстоянии. За такое одинаковое (или стандартное) расстояние принято 10 пк. Видимая звездная величина, которую имела бы звезда, если бы находилась от нас на расстоянии 10 пк, называется **абсолютной звездной величиной**.

На расстоянии  $r$  видимая звездная величина звезды пусть будет равна  $m$ , а освещенность, создаваемая этой звездой, —  $E$ . По определению, видимая звездная величина с расстояния  $r_0 = 10 \text{ пк}$  будет равна абсолютной звездной величине  $M$ , а  $E_0$  — освещенность (или излучение) звезды с расстояния 10 пк. Тогда, используя формулу (22.1), можем записать:

$$\frac{E}{E_0} = 2,512^{M-m} \quad (22.4)$$



Из физики известно, что освещенности, создаваемые одним и тем же источником излучения, обратно пропорциональны квадратам расстояний до него, т. е.

$$\frac{E}{E_0} = \frac{r_0^2}{r^2}. \quad (22.5)$$

Подставляя (22.5) в (22.4), получим, что  $2,512^{M-m} = 100r$ . Прологарифмировав данное равенство и упростив его, получим

$$M = m + 5 - 5 \lg r. \quad (22.6)$$

Учитывая, что  $r = \frac{1}{\pi}$ , формулу (22.4) можно записать в виде:

$$M = m + 5 + 5 \lg \pi. \quad (22.7)$$

По формуле (22.6) вычислим абсолютную звездную величину Солнца. Расстояние до Солнца  $r = 1 \text{ а. е.} = \frac{1}{206265} \text{ пк}$ ; видимая звездная величина Солнца  $-26,8^m$ . После подстановки этих значений получим, что  $M_{\odot} = -26,8^m + 5^m + 26,6^m$ . Это означает, что со стандартного расстояния в 10 пк Солнце выглядит слабой звездочкой почти 5-й звездной величины.

Абсолютные звездные величины звезд колеблются от  $-9^m$  до  $19^m$ , т. е. отличаются на  $28^m$ , или по освещенности в 160 миллиардов раз, друг от друга.

**4. Светимость звезд.** Зная абсолютную звездную величину звезды, можно вычислить действительное общее излучение звезды или ее светимость. **Светимостью** называется полная энергия, излучаемая звездой за 1 с. Светимость звезды можно выразить в ваттах, но чаще ее выражают в светимостях Солнца. Напомним, что светимость Солнца равна  $3,85 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$  (см. § 19).

Используя формулу (22.1), можно записать соотношение между светимостями и абсолютными звездными величинами какой-либо звезды и Солнца:

$$\frac{L}{L_{\odot}} = 2,512^{M_{\odot} - M}, \quad (22.8)$$

где  $L$  и  $L_{\odot}$  — светимости звезды и Солнца;  $M$  и  $M_{\odot}$  — соответственно их абсолютные звездные величины. Если принять  $L_{\odot} = 1$  и с учетом того, что  $M_{\odot} = 4,8^m$ , формула (22.8) примет вид:

$$L = 2,512^{4,8 - M}.$$

Звезды-сверхгиганты, имеющие  $M = -9^m$ , обладают мощностью излучения больше нашего Солнца в 330 тыс. раз, а самые неяркие звезды с абсолютной звездной величиной  $M = 19^m$  излучают свет в 480 тыс. раз слабее нашего Солнца.

## Вопросы и упражнения

1. Чем отличается абсолютная звездная величина от видимой звездной величины? 2. Звездные величины компонентов двойной звезды соответственно равны  $2,4^m$  и  $4,0^m$ . Невооруженным глазом они воспринимаются одиночной звездой. Какова суммарная звездная величина этой двойной системы? 3. Что понимают под годичным параллаксом звезды? 4. Что понимают под светимостью звезды? Какова светимость Солнца? 5. Определите расстояние (в парсеках и световых годах) до звезды, имеющей годичный параллакс  $0,762''$ . 6. Новая звезда в момент вспышки имела видимую звездную величину  $3,2^m$ . Большинство новых звезд этого типа имеют абсолютную звездную величину  $-8^m$ . Определите расстояние до звезды. 7. Определите светимость Полярной звезды, если ее абсолютная звездная величина  $M = -4,6^m$ .

## § 23. ТЕМПЕРАТУРА И РАЗМЕРЫ ЗВЕЗД

**1. Температура звезд.** В первом приближении можно считать, что звезды излучают как абсолютно черные тела. Тогда температуру  $T$  поверхности (фотосферы) звезд можно определить, воспользовавшись законом излучения Стефана — Больцмана и законом смещения Вина, как мы это уже делали при определении температуры Солнца (см. § 19):

$$T = 4 \sqrt{\frac{L}{4\pi R^2 \sigma}}. \quad (23.1)$$

Напомним, что подсчитанную таким методом температуру называют **эффективной температурой**. Однако этот метод применяется ограниченно, так как достаточно точное значение радиусов измерено примерно у нескольких десятков ярких гигантских звезд.

Что же касается остальных звезд, то их температура может быть найдена по распределению энергии в их непрерывном спектре. Для этого измеряют интенсивность излучения в различных диапазонах длин волн непрерывного спектра звезды. В полученной спектрограмме звезды устанавливают, в какой длине волны интенсивность излучения максимальна, а затем, используя закон смещения Вина (см. § 18), определяют температуру звезды. Температура, вычисленная по закону смещения Вина, называется **цветовой температурой звезды**. Цветовая температура несколько отличается от эффективной температуры, так как определяется по узкому участку спектра.



Температуры звезд сильно различаются. Холодные красные звезды имеют температуру около 3000 К. Наше Солнце с температурой фотосферы 6000 К относится к желтым карликам. Температура горячих звезд достигает 50 000 К. Основная часть излучения горячих звезд приходится на ультрафиолетовую часть спектра, и мы их воспринимаем как звезды голубого цвета. Наиболее горячими являются немногочисленные молодые звезды типа Вольфа — Райе. Температуры фотосфер у них очень высоки: от 60 000 до 100 000 К.

**2. Спектральная классификация звезд.** Звезды отличаются большим разнообразием, однако среди них можно выделить отдельные группы, обладающие общими свойствами. При первом знакомстве со звездным небом обращает на себя внимание тот факт, что звезды различаются по цвету. Гораздо сильнее это заметно при рассмотрении спектров. Важнейшие различия спектров звезд заключаются в количестве и интенсивности наблюдаемых спектральных линий, а также в распределении энергии в непрерывном спектре. С учетом видов спектральных линий и их интенсивности строится **спектральная классификация звезд**, которая утвердилась в 20-е гг. XX в.

Последовательность спектральных классов (в так называемой гарвардской системе) обозначается заглавными буквами латинского алфавита: O, B, A, F, G, K, M, L. Тонкие различия внутри каждого класса дополнительно подразделяют на 10 подклассов — от 0 до 9. Например, наше Солнце принадлежит к спектральному классу G2.

Данная последовательность спектральных классов отражает уменьшение температуры атмосфер (фотосфер) звезд от класса O к классу L. Спектральная последовательность одновременно является и цветовой (см. табл. 23.1). Для ее запоминания используется следующая фраза (мнемоническое правило):

O B A F G K M L  
Один Бритый Англичанин Финики Жевал Как Мелкий Лук

Химический состав атмосфер большинства звезд почти одинаков. Наружные слои звезд состоят из водородно-гелиевой смеси с очень малой добавкой более тяжелых элементов. Например, аналогичные нашему Солнцу звезды содержат в своих атмосферах 73 % водорода, 25 % гелия и 2 % всех остальных элементов.

Различия в спектрах звезд определяются главным образом различиями температур. В фотосферах холодных звезд могут существовать простейшие молекулы. Поэтому характерными деталями спектров звезд классов M и L являются широкие полосы поглощения молекул, например C<sub>2</sub>H. При более высоких температурах молекулярные

Таблица 23.1

## КЛАССИФИКАЦИЯ ЗВЕЗДНЫХ СПЕКТРОВ

Класс	Цвет	Температура $t$ , $\times 10^3$ К	Характерные признаки спектра	Типичные звезды
O	Голубой	55—30	Характерны линии ионизированного гелия; видны линии многократно ионизированного углерода, кислорода, кремния и азота	$\lambda$ Ориона, $\lambda$ Цефея
B	Голубоватобелый	30—10	Максимальное количество линий нейтрального гелия с постепенным ослаблением к классу B9; хорошо видны линии ионизированного кремния, азота и углерода	$\alpha$ Девы (Спика), $\gamma$ Ориона (Беллатрикс)
A	Белый	10—7,5	В спектре преобладают водородные линии; линии гелия ослабляются; в классе A2 появляется линия нейтрального кальция, а в классе A5 — линия нейтрального железа	$\alpha$ Большого Пса (Сириус), $\alpha$ Лиры (Вега)
F	Желтоватый	7,5—6	Водородные линии все еще интенсивны, но заметны многочисленные линии металлов (ионизированных и нейтральных); очень интенсивны линии кальция	$\alpha$ Малого Пса (Процион), $\alpha$ Киля (Канопус)
G	Желтый	6—5	Водородные линии не главные среди мощных спектральных линий металлов	Солнце, $\alpha$ Возничего (Капелла)
K	Красноватый	5—3,5	Очень сильны линии нейтральных металлов; в классе K5 появляются следы полос поглощения молекул окиси титана	$\alpha$ Волопаса (Арктур), $\alpha$ Тельца (Альдебаран)
M	Красный	3,5—2,5	Особенно выделяются полосы окиси титана; встречаются спектры с одной или несколькими водородными линиями	$\alpha$ Ориона (Бетельгейзе), $\alpha$ Скорпиона (Антарес)
L	Коричневый	Около 2	Сильная полоса поглощения C <sub>2</sub> H; линии редких щелочных металлов, цезия, рубидия	GL229B



соединения распадаются. В таких спектрах пропадают спектральные полосы молекулярных соединений, зато появляются линии, соответствующие нейтральным металлам. Таким образом, спектральная классификация звезд — это температурная классификация звездных спектров, основанная на оценках относительной интенсивности и вида спектральных линий.

Около 99% всех звезд принадлежат к спектральным классам В — М. Спектры небольшого количества звезд, которые не укладываются в рассмотренную последовательность или имеют особенности, отмечаются дополнительными буквами (например: A0n, A3s, B0k, B2e). Встречаются сложные спектры, в которых смешиваются характеристики двух и даже трех спектральных классов. Их обозначают, например, так: G0A2 или G0+A2.

В настоящее время спектральной классификацией охвачено более 500 тыс. звезд.

**3. Размеры звезд.** Линейный радиус звезды можно определить, если известны ее угловой радиус  $\rho''$  и расстояние до звезды  $r$  или годичный параллакс  $\pi''$  по формуле:

$$R = r \cdot \sin \rho''.$$

Так как  $r = 206\,265''/\pi''$  а. е., для углового радиуса  $\sin \rho'' = \rho''/206\,265''$ , то имеем  $R = \rho''/\pi''$  а. е.

Линейные радиусы звезд принято выражать в радиусах Солнца. В радиусах Солнца 1 а. е. =  $149,6 \cdot 10^6$  км;  $0,696 \cdot 10^6$  км = 215. Используя это соотношение, получим формулу для определения линейных радиусов звезд в радиусах Солнца в следующем виде:

$$R = 215 \rho'' / \pi''.$$

Звезды настолько далеки от нас, что их угловые размеры меньше предела разрешения крупнейших телескопов. Для ярких близких звезд угловой радиус находят по интерференционной картине, которая получается в результате перекрытия изображений звезды, построенной двумя широко расставленными телескопами. Например, с помощью оптического интерферометра, состоящего из двух сферических зеркал диаметром 6,6 м каждое, разнесенных на максимальное расстояние 180 м, удалось измерить угловой диаметр  $\epsilon$  Ориона. Он оказался равным  $0,000\,72''$ , а так как годичный параллакс звезды равен  $\pi'' = 0,002\,4''$ , то  $R = 0,000\,36''/0,002\,4'' = 32R_{\odot}$ .

Радиусы звезд могут быть вычислены по их мощности излучения (светимости) и температуре. Запишем значение полной мощности излучения для выбранной звезды и для Солнца:

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4, \quad L_{\odot} = 4\pi R_{\odot}^2 \sigma T_{\odot}^4.$$

где  $L$  и  $L_{\odot}$ ,  $R$  и  $R_{\odot}$ ,  $T$  и  $T_{\odot}$  — соответственно светимости, линейные радиусы и абсолютные температуры звезды и Солнца.

Принимая  $L_{\odot} = 1$  и  $R_{\odot} = 1$ , получим:

$$L = R^2 \frac{T^4}{T_{\odot}^4},$$

или окончательно в линейных радиусах Солнца:

$$R = \sqrt{L} \left( \frac{T_{\odot}}{T} \right)^2. \quad (23.2)$$

Размеры звезд сильно отличаются: от диаметров, сравнимых с диаметром орбиты Юпитера (красные сверхгиганты), до размеров планет Солнечной системы (белые карлики) или даже до нескольких километров у нейтронных звезд (рис. 23.1).

### Вопросы и упражнения

1. Каким образом, используя законы Стефана — Больцмана и Вина, можно определить температуру звезды? 2. В чем заключается отличие эффективной и цветовой температур звезды? 3. По каким принципам производится спектральная классификация звезд? 4. Укажите классы и подклассы спектральной классификации звезд. 5. К каким классам принадлежит основное количество звезд? К какому классу и подклассу спектральной классификации звезд относится наше Солнце? 6. Кратко охарактеризуйте общие

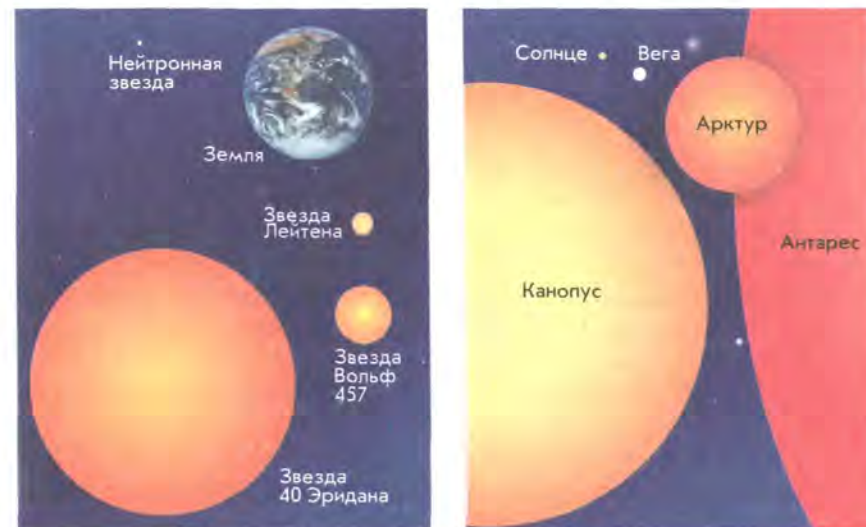


Рис. 23.1. Размеры некоторых звезд в сравнении с размерами Земли (слева) и Солнца (справа)



признаки спектров каждого класса спектральной классификации звезд. 7. Из каких химических элементов в основном состоят звезды? 8. Опишите способы определения линейных радиусов звезд. 9. Вычислите линейный радиус звезды  $\alpha$  Малого Пса (Процион), если светимость ее в 7 раз больше светимости Солнца, а температура — 6800 К. 10. Вычислите размер звезды  $\alpha$  Малого Пса (Процион), если угловой ее диаметр, измеренный звездным интерферометром, оказался равным  $0,00571''$ , а годичный параллакс  $\pi'' = 0,288''$ . Сравните полученный результат с ответом предыдущей задачи.

## § 24. ДВОЙНЫЕ ЗВЕЗДЫ. МАССА ЗВЕЗД

**1. Типы двойных звезд.** Наблюдения показывают, что многие звезды во Вселенной образуют пары или являются членами сложных систем. **Двойными звездами** называют близко расположенные пары звезд. Различают оптические и физические двойные звезды. **Оптические двойные звезды** (пары) состояются из весьма далеких друг от друга в пространстве звезд, которые случайным образом проектируются на небесную сферу по лучу зрения. **Физические двойные звезды** представляют собой системы близко расположенных в пространстве звезд, связанных силами тяготения и обращающихся около общего центра масс.

Звезды физических двойных пар часто имеют различный цвет. Так, у Антареса — очень яркой красной звезды в созвездии Скорпиона — имеется слабый зеленый (при наблюдении в телескоп) спутник.

Первая известная еще в древности звездная пара — это Мицар (конь) и Алькор (всадник). Мицар — средняя звезда ручки «ковша» созвездия Большой Медведицы, которая имеет видимую звездную величину  $2,2^m$ . На угловом расстоянии  $12'$  от нее расположена слабая звезда Алькор со звездной величиной  $4,0^m$ . Звездная пара Мицар и Алькор — пример оптической двойной звезды. В свою очередь, даже в школьный телескоп хорошо видно: Мицар состоит из двух очень близких звезд, неразличимых невооруженным глазом. Компоненты звездной пары Мицар А и Мицар В отстоят друг от друга на расстоянии  $14''$  и имеют звездные величины  $2,4^m$  и  $4,0^m$  соответственно. Звездная пара Мицар — пример физической двойной звезды.

Физические двойные звезды в зависимости от способа их наблюдений подразделяются на **визуально-двойные звезды** (их компоненты можно увидеть при помощи телескопа визуально или сфотографировать), **затменно-двойные звезды** (их компоненты периодически загораживают друг друга от наблюдателя), **спектрально-двойные звезды**

(двойственность проявляется в периодических смещениях или раздвоениях линий их спектров), **астрометрически-двойные звезды** (одна звезда не видна и возмущает правильное движение соседней).

Первый список двойных звезд составил в 1803 г. английский астроном *Уильям Гершель*. Этот перечень содержал несколько сотен объектов. Систематические наблюдения двойных звезд проводил основатель Пулковской обсерватории *В. Я. Струве*. Его каталог, опубликованный в 1827 г., содержал 3110 звездных пар. К настоящему времени известно около 100 тыс. визуально-двойных звезд.

Периоды обращения компонентов у визуально-двойных систем заключены в пределах от нескольких лет до нескольких тысяч лет.

Двойные звезды являются частным случаем **кратных звезд**, состоящих иногда из нескольких компонентов. Существуют звезды тройные, четверные и даже более высокой кратности. К кратным звездам принято причислять звезды, имеющие менее 10 компонентов. Системы с большим числом звезд называются **звездными скоплениями**.

Двойственность и кратность в звездном мире — широко распространенное явление.

**2. Затменно-двойные звезды.** Затменно-двойные, или **затменно-переменные**, звезды представляют собой тесные пары, обращающиеся с периодом от нескольких часов до нескольких лет по орбитам, большая полуось которых сравнима с самими звездами. По этой причине мы не можем увидеть отдельно их компоненты, так как угловое расстояние между звездами очень мало. Судить о двойственности системы можно лишь по периодическим колебаниям блеска. Так как луч зрения при наблюдении таких звезд и плоскости их орбит практически совпадают, у таких звезд обнаруживается явление затмений, когда один из компонентов проходит впереди или сзади другого относительно наблюдателя. Рассмотренную ситуацию поясняет рис. 24.1, на котором приведена кривая изменения блеска  $m$  затменно-двойной звезды, связанного с периодическими затмениями одного



Рис. 24.1. Изменение блеска затменно-двойной звезды



компонента другим. Цифры на графике относятся к соответствующим положениям одного из компонентов звезды на орбите. Разность звездных величин в минимуме и максимуме блеска называется **амплитудой**, а промежуток времени между двумя последовательными наименьшими минимумами — **периодом переменности**.

Типичный пример затменно-переменной звезды — звезда  $\beta$  Персея (Алголь), которая регулярно затмевается на 9,6 ч с периодом 2,867 суток. Падение блеска в минимуме у этой звезды составляет 2,3 звездной величины.

Изменение вида кривой блеска затменно-переменной звезды позволяет определить характеристики орбит ее компонентов: наклонение плоскости орбиты, эксцентриситет, период обращения. Если у затменно-переменной звезды известен годичный параллакс, к тому же она наблюдается как спектрально-двойная звезда, то можно определить светимость компонентов, оценить их массы, размеры и отклонения их форм от шаровидной.

Всего известно около 4000 затменно-двойных звезд.

**3. Спектрально-двойные звезды.** Спектрально-двойные звезды, так же как и затменно-двойные, представляют собой очень тесные пары. Компоненты (звезды) пары обращаются в плоскости, слабо наклоненной к направлению луча зрения наблюдателя. Спектрально-двойные звезды не различимы по отдельности даже в мощные телескопы, однако легко обнаруживаются при спектроскопических наблюдениях лучевых скоростей.

Звезды, двойственность которых устанавливается лишь на основании спектральных наблюдений, называются **спектрально-двойными**.

Предположим, что наблюдатель находится в плоскости орбиты двойной системы, состоящей из более массивной и яркой звезды *A* и менее яркой и массивной звезды *B* (рис. 24.2). Каждый из компонентов — *A* и *B*, обращаясь вокруг центра масс системы, то приближается к наблюдателю, то удаляется от него. Вследствие эффекта Доплера в первом случае линии в спектре звезды будут сдвинуты к фиолетовой области спектра, во втором — к красной, причем период этих смещений равен периоду обращения. На рисунке римские цифры обозначают соответствие спектров положениям звезд на орбитах.

Постоянное совершенствование методики определения сдвига спектральных линий позволило в 1995 г. обнаружить у звезды 51 Пегаса спутник массой в половину массы Юпитера. К 2000 г. методом лучевых скоростей у 32 звезд обнаружены от одного до нескольких спутников. Они получили общее название — **экзопланеты**.

**4. Астрометрически-двойные звезды.** Встречаются такие тесные звездные пары, когда одна из звезд или очень мала по размерам, или

имеет низкую светимость. В этом случае такую звезду рассмотреть не удастся, но обнаружить двойственность все же можно. Яркий компонент будет периодически отклоняться от прямолинейной траектории то в одну, то в другую сторону (рис. 24.3), как будто по прямой движется центр масс системы. Такие возмущения будут пропорциональны массе спутника.

Исследования одной из ближайших к нам звезд, известной под названием Росс 614 (ее блеск  $11,4^m$  и параллакс  $0,25''$ ), показали, что амплитуда отклонений звезды от ожидаемого направления достигает  $0,36''$ . Период обращения звезды относительно центра масс равен 16,5 года.

Среди близких к Солнцу звезд обнаружено около 20 астрометрически-двойных звезд.

**5. Масса звезд.** Длительные наблюдения визуально-двойных звезд убедили астрономов, что видимое относительное движение компонентов звездной пары совершается по эллипсу и удовлетворяет закону площадей. Из этого следует, что в двойных системах обращения звезд происходят в соответствии с законами Кеплера и подчиняются закону всемирного тяготения Ньютона.

Получены оценки масс примерно для ста звезд различных типов. Анализ этих данных привел к следующим результатам:

1. Массы звезд заключены в пределах от 0,03 до 60 масс Солнца. Наибольшее количество звезд имеют от 0,4 до 3 масс Солнца.

2. Существующая зависимость между массами звезд и их светимостью дает возможность оценивать массы одиночных звезд по их светимостям. В интервале масс  $0,5 M_{\odot} \leq M \leq 10 M_{\odot}$  светимость звезды пропорциональна четвертой степени ее массы  $L = M^4$ . При  $M > 10 M_{\odot}$  показатель степени равен 2, для светимости  $L = M^2$ .

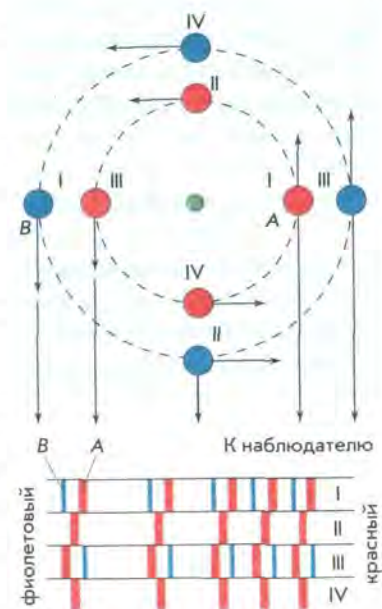


Рис. 24.2. Смещение линий в спектре двойной звезды

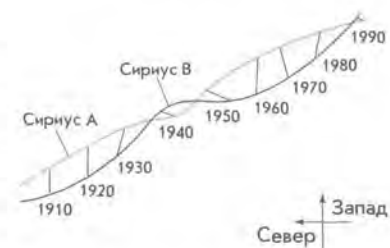


Рис. 24.3. Отклонение в движении Сириуса, вызванное гравитационным возмущением спутника



3. Масса звезды в момент ее формирования является важнейшим параметром, определяющим последующую эволюцию звезды.

Радиусы звезд имеют весьма широкие пределы, поэтому средняя плотность звезд колеблется от  $5 \cdot 10^{-2}$  до  $3 \cdot 10^8$  кг/м<sup>3</sup> (сравните с Солнцем —  $1,4 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>).

### Вопросы и упражнения

1. Какие звезды называются двойными? Приведите их классификацию и примеры названий. 2. Что такое амплитуда и период переменности затменно-переменных звезд? 3. Дайте подробное объяснение: почему происходит смещение линий в спектрах спектрально-переменных звезд?

## § 25. ЭВОЛЮЦИЯ ЗВЕЗД

**1. Диаграмма «спектр — светимость».** Существует зависимость между основными физическими характеристиками звезд. На основе наблюдений определяются спектральные классы звезд, а по известному расстоянию — абсолютные звездные величины, или светимости звезд.

В начале XX в. независимо друг от друга датский астроном *Эйнар Герцшпрунг* и несколько позже американский астрофизик *Генри Рессел* установили связь между этими характеристиками. Эту зависимость можно представить в виде диаграммы: по горизонтальной оси откладывается спектральный класс (или температура) звезд, а по вертикальной — их светимость (в абсолютных величинах или в единицах светимости Солнца). Каждой звезде соответствует точка на этой диаграмме. Такая диаграмма называется **диаграммой Герцшпрунга — Рессела** или **диаграммой «спектр — светимость»** (см. рис. на форзаце).

Звезды на диаграмме не распределяются случайным образом по всей ее площади, а образуют несколько групп, названных последовательностями. Эти последовательности, названные **классами светимости**, говорят о наличии у некоторых звездных групп индивидуальной зависимости светимости от температуры.

Большинство звезд на диаграмме лежит в пределах четко выраженной, простирающейся от левого верхнего до правого нижнего угла полосы, которая называется **главной последовательностью**.

В левой верхней части главной последовательности находятся самые горячие звезды класса O, которые в десятки тысяч раз превышают по светимости Солнце. Такие звезды называют **голубыми**

**сверхгигантами**. По мере уменьшения температуры светимость звезд падает. Затем полоса главной последовательности проходит через область, где находятся похожие на Солнце звезды класса G. И наконец, главная последовательность опускается к нижней правой части диаграммы. Здесь находятся звезды класса M с малой массой и относительно низкой температурой. Эти звезды называются **красными карликами**.

К звездам главной последовательности относятся хорошо известные звезды — Сириус ( $\alpha$  Большого Пса), Вега ( $\alpha$  Лиры), наше Солнце. Звезды с относительно низкой температурой фотосферы ( $3+5 \cdot 10^3$  К) и светимостью в 100—1000 раз большей светимости Солнца образуют **последовательность красных гигантов**. К данной последовательности относятся, например, Арктур ( $\alpha$  Волопаса), Альдебаран ( $\alpha$  Тельца).

В верхнем правом углу диаграммы группируются **красные сверхгиганты**. Это звезды с очень высокой светимостью, низкой плотностью, в сотни раз большими диаметрами, чем у Солнца. К красным сверхгигантам причисляют звезду Бетельгейзе ( $\alpha$  Ориона).

В левой нижней части диаграммы расположены горячие звезды слабой светимости — **белые карлики**. Их размеры сравнимы с размерами Земли, а массы близки к массе Солнца. Поэтому средняя плотность белых карликов превышает плотность земных пород в сотни тысяч раз. С другой стороны, средняя плотность звезд-сверхгигантов очень низкая — в тысячи раз меньше плотности земной атмосферы. Плотность вещества в атмосфере звезды влияет на ширину спектральных линий. Поэтому, например, у красных карликов спектральные линии шире, чем у красных гигантов и сверхгигантов. Значит, по виду спектральных линий определяется, к какой последовательности принадлежит звезда (главная, карлики, гиганты).

По последовательности оценивается абсолютная звездная величина, а затем и расстояние (см. § 23). Этот метод определения расстояний называется **методом спектральных параллаксов**.

Наиболее многочисленными звездами являются красные карлики: на 10 млн красных карликов приходится около 1 млн белых карликов, примерно 1000 гигантов и только 1 сверхгигант.

**2. Рождение звезд.** Процесс звездообразования идет в Галактике непрерывно — с момента ее возникновения. Подтверждением рождения звезд в настоящее время является существование массивных горячих звезд классов O и B, время жизни которых не превосходит 10 млн лет.

Продолжительность жизни звезд составляет от миллионов до десятков миллиардов лет. Это время слишком велико, чтобы проследить жизненный путь звезд, или их **эволюцию**. Поэтому основным



методом исследования эволюции звезд служит построение **моделей внутреннего строения звезд**.

При построении модели задают начальные условия физического состояния газа: химический состав, давление (плотность), температуру, массу. Затем на основании физических законов (газовых законов, закона тяготения) рассчитывают изменения этих параметров с течением времени. Правильность той или иной модели подтверждается сравнением с диаграммой Герцшпрунга — Рассела, суммирующей наблюдения большого числа звезд, находящихся на различных стадиях эволюции. Эти исследования позволили установить эволюцию звезд.

По современным представлениям, звезды образуются в результате сжатия (гравитационной конденсации) вещества межзвездной среды (рис. 25.1, 1). Звезды рождаются группами из гигантских газопылевых комплексов размерами до 100 пк и массой в десятки, а иногда и сотни тысяч солнечных масс. Газ в этих комплексах находится в молекулярном состоянии с температурой около 10 К.

Под действием гравитационных сил комплекс сжимается, плотность его растет, и он распадается на отдельные сгустки, или газопылевые облака (рис. 25.1, 2).

В газопылевом облаке случайно или под действием внешних причин возникают гравитационно-неустойчивые фрагменты, которые продолжают сжиматься. Внешними причинами, стимулирующими звездообразование, могут служить столкновения молекулярных облаков; звездный ветер от молодых горячих звезд; ударные волны, порожденные вспышками сверхновых звезд. Если масса фрагмента достаточно велика, то происходит дальнейший распад на отдельные фрагменты-сгустки (рис. 25.1, 3).

Фрагменты звездной массы, сжимающиеся под действием собственного тяготения, называют **протозвездами**. При гравитационном сжатии газ в протозвезде разогревается, и она начинает излучать

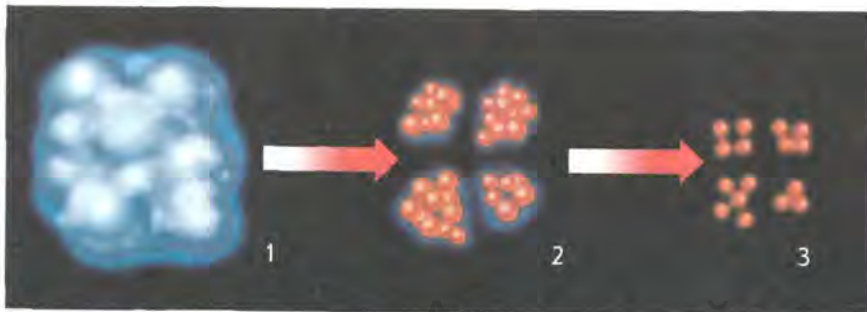


Рис. 25.1. Образование звезд из газопылевого облака

в инфракрасном диапазоне спектра. Вещество, окружающее ядро протозвезды, падает на него, увеличивая его массу и температуру. Когда давление, создаваемое излучением звезды, становится достаточно большим, падение вещества прекращается. Давление излучения ограничивает массу будущих звезд величиной в несколько десятков масс Солнца. Длительность стадии сжатия зависит от массы протозвезды: при массе меньше солнечной — сотни миллионов лет, при большей — сотни тысяч лет.

Часто у вращающейся протозвезды вокруг центрального сгустка образуется протяженный газопылевой диск, из которого потом развивается планетная система (рис. 25.2). Формирующаяся звезда в конце стадии сжатия имеет значительные размеры при еще относительно низкой температуре поверхности. Сжатие протозвезды прекращается, когда температура в центре ядра достигнет нескольких миллионов градусов, тогда включаются термоядерные источники энергии, реакции протон-протонного цикла. Момент начала термоядерных реакций есть момент рождения звезды. Теперь температура и плотность внутренних слоев становятся такими, что сила их упругости может противодействовать весу наружных слоев. После начала водородных реакций и установления равновесного состояния звезда попадает на главную последовательность диаграммы «спектр — светимость». Новорожденные звезды появляются на главной последовательности по всей ее длине (в зависимости от их массы).

**3. Эволюционные перемещения.** От массы в первую очередь зависит, какую температуру будет иметь ядро звезды в момент установления устойчивого равновесия. Чем больше масса сжимающегося газопылевого комплекса, затем протозвезды и наконец звезды, тем больший вес вышележащих слоев приходится выдерживать ее ядру. Поэтому нужна более высокая температура, чтобы газовое давление могло противостоять этому весу. Наблюдения показывают, что светимость звезд пропорциональна массе в четвертой степени.

С другой стороны, согласно закону Стефана — Больцмана,

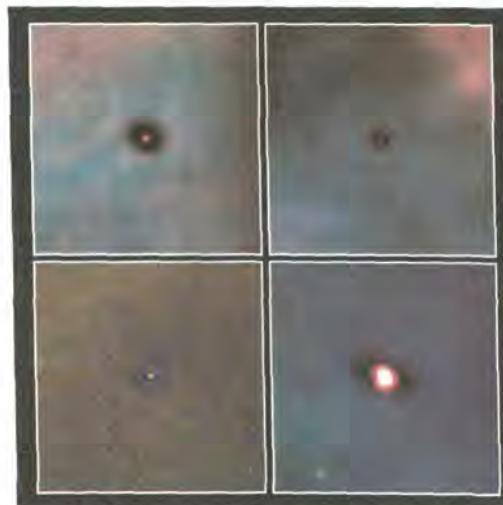


Рис. 25.2. Протозвезды с протопланетными дисками в туманности Ориона. Фотография Космического телескопа Хаббла



тепловое излучение звезды (светимость) пропорционально четвертой степени температуры (см. § 18). Это и подтверждает то, что при большей массе звезды температура ее недр и фотосферы будет выше. Самые массивные звезды, в 30—50 масс Солнца, порождают наиболее горячие звезды класса О. Температура центральных областей таких звезд составляет 30—35 млн градусов.

Большую часть времени звезда находится на главной последовательности. Но так как запасы водорода пропорциональны массе, а расход энергии (светимость) пропорционален четвертой степени массы, то водород в массивных звездах выгорает быстрее. Время пребывания звезды на главной последовательности определяется простой зависимостью:

$$t = 10^{10} \frac{1}{M^3} \text{ (лет)},$$

где  $M$  — масса звезды в массах Солнца.

По приведенной выше формуле можно подсчитать, что Солнце исчерпает свой запас водородного топлива примерно за 10 млрд лет (таким образом, Солнце, возраст которого оценивается около 5 млрд лет, «прожило» на главной последовательности лишь половину своей жизни). Звезды, равные 10 массам Солнца, — исчерпают всего за 10 млн лет. Слабо излучающие красные карлики массой около 0,5 масс Солнца — за 80 млрд лет. Горячих молодых звезд-гигантов наблюдается меньше из-за малого времени их жизни. Поэтому наиболее заполнена нижняя правая часть главной последовательности диаграммы «спектр — светимость».

После выгорания водорода в недрах звезды образуется горячее гелиевое ядро. Дальнейшая эволюция звезды зависит от массы этого ядра. Если она меньше 1,2 массы Солнца, под действием гравитационного сжатия гелиевое ядро снова разогревается (температура повышается до 100 млн градусов). Внешние слои звезды при этом расширяются и охлаждаются. Звезда словно разбухает. Светимость ее возрастает, а температура падает. Звезда сходит с главной последовательности и, в зависимости от массы, становится красным гигантом (рис. 25.3) или сверхгигантом.

Разрастающаяся атмосфера звезды постепенно удаляется от ядра, образуя **планетарную туманность**. В конце концов запасы ядерной



Рис. 25.3. Относительные размеры красного гиганта и Солнца

энергии в звезде исчерпываются. При массе 1,4 массы Солнца под действием гравитационных сил звезда сжимается и становится маленьким плотным белым карликом. Колоссальное внутреннее давление приводит к разрушению атомов и их полному сжатию. Плотность такой звезды более чем в 100 тыс. раз превосходит плотность воды.

Стадии эволюции, как и все звезды, проходит и наше Солнце. Через 5—8 млрд лет оно превратится сначала в красный гигант, затем, сбросив оболочку, станет белым карликом. Звезды намного массивнее Солнца превращаются в ходе эволюции в нейтронные звезды или черные дыры (рис. 25.4).



Рис. 25.4. Эволюция звезд различной массы

### Вопросы и упражнения

1. По какому принципу строится диаграмма Герцшпрунга — Рессела?
2. Как на диаграмме Герцшпрунга — Рессела располагаются звезды различного размера?
3. В какой части диаграммы Герцшпрунга — Рессела располагаются звезды, которые: а) обладают большими, чем у Солнца, светимостью и температурой; б) меньшей, чем у Солнца, светимостью, но большей, чем у него, температурой; в) большей, чем у Солнца, светимостью, но меньшей, чем у него, температурой; г) меньшими, чем у Солнца, светимостью и температурой?
4. Дайте краткую характеристику звездам: голубым сверхгигантам, красным гигантам, белым карликам, красным карликам.
5. Что понимают под эволюцией звезд?
6. Опишите в общих чертах процесс образования звезд.

## § 26. НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ЗВЕЗДЫ

**1. Общая характеристика переменных звезд.** Многие звезды изменяют свой блеск вследствие идущих в них нестационарных процессов. Такие звезды называются переменными. **Физические переменные звезды** — это звезды, которые меняют свою светимость за короткие промежутки времени в результате физических процессов, происходящих в самой звезде.

В зависимости от характера протекающих внутри звезды процессов физические переменные звезды бывают пульсирующие и эруптивные.



Все переменные звезды имеют специальные обозначения, если им не были присвоены раньше буквы греческого алфавита. В каждом созвездии первые 334 переменные звезды обозначаются последовательностью букв латинского алфавита R, S, T, ..., Z, RR, RS, ..., RZ, SS, ST, ..., ZZ, AA, ..., AZ, QQ... с добавлением названия соответствующего созвездия. Следующие переменные звезды, которым не хватило комбинаций этих букв в своем созвездии, обозначаются V 335, V 336 и т. д.

**2. Пульсирующие переменные звезды.** При эволюционном превращении звезды в звезду-гиганта происходит увеличение ее объема и уменьшение средней плотности вещества. В это время внутреннее строение звезды изменяется коренным образом, что может сопровождаться нарушением равновесия между силами гравитационного притяжения и лучевого давления. Это приводит к периодическим колебаниям объема звезды: ее оболочка то расширяется, то сжимается (возвращается к своему прежнему объему). Такие периодические колебания переменных звезд называются пульсационными.

При увеличении радиуса звезды увеличивается и площадь фотосферы, а также температура и светимость. Внешние слои движутся то от наблюдателя, то к нему, что приводит к смещению спектральных линий.

Первая пульсирующая звезда была открыта немецким астрономом *Давидом Фабрициусом* в 1596 г. в созвездии Кита и названа *Мирой*. Период изменения блеска этой звезды составляет 331,6 суток.

Обширный класс очень ярких переменных звезд-гигантов и сверхгигантов классов F и G называется **цефеидами** (по типичному их представителю  $\delta$  Цефея). Амплитуда блеска (звездная величина) колеблется от 0,5 до 2 звездных величин, а период колебаний — от нескольких до 70 суток.

Одновременно с изменением видимой звездной величины у цефеид меняется их спектр. По смещению его интенсивности обнаружено, что у цефеид периодически (с периодом изменения блеска) изменяется температура в среднем на 1500 градусов (рис. 26.1).

Изменение физических параметров звезды происходит таким образом, что в максимуме блеска цефеида имеет максимальную температуру, при этом ее радиус уменьшается и фотосфера звезды удаляется от нас с наибольшей скоростью. Эти явления объясняются пульсацией наружных слоев цефеид, приводящей к периоди-

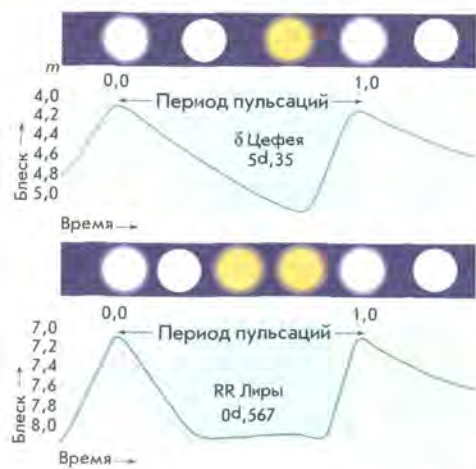


Рис. 26.1. Графики изменения блеска звезд  $\delta$  Цефея и RR Лиры

ческим изменениям их светимости, температуры и радиуса в пределах  $\approx 5\%$  от их средних значений.

Теоретические расчеты и практические наблюдения показывают, что только звезды-гиганты и сверхгиганты проходят через стадию цефеид. Период пульсаций звезды зависит от средней плотности ее вещества и подчиняется следующей закономерности:

$$P = \frac{\text{const}}{\sqrt{\rho}} = \frac{0,12}{\sqrt{\rho}},$$

где  $P$  — период пульсаций (сутки),  $\rho$  — средняя плотность (в единицах средней плотности Солнца). Средняя плотность вещества цефеид составляет около  $10^{-2}$  кг/м<sup>3</sup>.

Цефеиды с большей массой имеют большую светимость, больший радиус, но меньшую плотность и, соответственно, больший период пульсации, т. е. цефеиды обладают важной зависимостью «период — светимость» (рис. 26.2). Эта зависимость описывается выражением:  $M = -1,25 - 3,00 \lg P$ , где  $P$  — период изменения блеска в сутках, а  $M$  — средняя абсолютная звездная величина. Таким образом, по известному из наблюдений периоду можно определить светимость или абсолютную звездную величину звезды. Сравнивая ее с наблюдаемой видимой звездной величиной, можно определить расстояние до цефеиды. Высокая светимость и переменность блеска позволяют обнаруживать цефеиды вплоть до расстояний 20 Мпк. Их наблюдают в ближайших галактиках, определяя таким образом расстояния до этих звездных систем.

Цефеиды образно называют маяками Вселенной. К настоящему времени в нашей Галактике известно свыше 700 цефеид.

Другой разновидностью пульсирующих переменных звезд являются **звезды типа RR Лиры**, имеющие более короткие периоды от 0,2 до 1,2 суток. Практически все звезды этого типа — гиганты спектрального класса A. Они очень быстро меняют блеск (см. график на рис. 26.1). Амплитуда изменения блеска достигает 1 звездной величины. У этих звезд, как и у цефеид, существует зависимость между периодом и светимостью (см. рис. 26.2).

Существуют звезды, которые пульсируют с гораздо большими периодами — от нескольких недель до года и более. Эти долгопериоди-

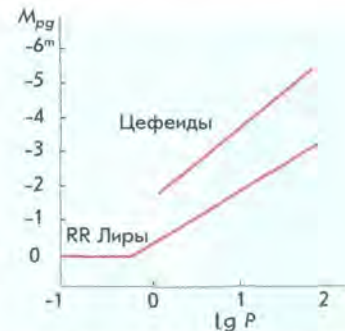


Рис. 26.2. График зависимости абсолютной звездной величины от периода изменения блеска у цефеид и звезд типа RR Лиры



ческие переменные звезды называются звездами типа Миры Кита — **миридами** (по наименованию звезды в созвездии Кита — о Кита). В переводе с латинского языка Мира означает «удивительная». Практически все звезды этого типа — старые красные гиганты огромных размеров и большой светимости. Амплитуды изменения блеска таких звезд могут достигать десяти звездных величин.

**3. Новые звезды.** Звезды, блеск которых внезапно увеличивается в тысячи и миллионы раз за несколько суток, после чего ослабевает до первоначального уровня в течение года и более, называются **новыми звездами**. Термин «новая звезда» не подразумевает, что звезда родилась. Так называют звезды, которые раньше были тусклыми, а затем внезапно их блеск увеличился. Например, одна из новых звезд, вспыхнувшая в июне 1918 г., увеличила свой блеск за четыре дня с 11-й до  $-0,5$ -й звездной величины (т. е. в 40 тыс. раз), а затем приняла прежнее значение блеска за период чуть более 1,5 года.

Наблюдения показывают, что вспыхивающими новыми звездами в основном являются горячие белые карлики спектральных классов O — B, имеющие абсолютную звездную величину порядка  $4^m + 5^m$ . Во время вспышки эти звезды увеличивают свой блеск на  $7^m + 16^m$  звездных величин (рис. 26.3). За время вспышки новая звезда излучает энергию около  $10^{38}$  Дж (такая энергия излучается Солнцем примерно за 100 тыс. лет!). В максимуме вспышки спектр новых звезд похож на спектр сверхгигантов спектральных классов A и F, а линии спектра смещены в фиолетовую сторону. Эти факты указывают на то, что вспышка новой звезды представляет собой взрыв, происходящий на поверхности звезды. За счет энергии взрыва и энергии расширяющейся наружной оболочки обеспечивается сильное излучение новой звезды в период максимума блеска.

Причиной взрыва новых звезд является обмен вещества между компонентами тесных двойных пар, к которым принадлежат все до-



Рис. 26.3. График изменения блеска новой звезды

статочно детально исследованные бывшие новые звезды. Вспышки новых звезд — довольно частое явление: ежегодно астрономы делают 2—3 открытия. Благодаря высокой светимости в максимуме блеска, новые звезды астрономы обнаруживают в ближайших галактиках: около 250 зарегистрировано в туманности Андромеды и около 20 — в Магеллановых Облаках.

Многие новые звезды вспыхивают неоднократно. Если вспышка повторяется, такую звезду называют **повторной Новой**.

**4. Сверхновые звезды.** Сверхновые звезды — одно из самых грандиозных и захватывающих космических явлений. **Сверхновыми** называются звезды, вспыхивающие подобно Новым и достигающие в максимуме абсолютной звездной величины от  $-18^m$  до  $-19^m$ . Отдельные Сверхновые в максимуме блеска превышают светимость Солнца в десятки миллиардов раз, достигая абсолютной звездной величины  $M = -20^m + 21^m$ .

В китайских летописях упоминается о внезапном появлении в 1054 г. в созвездии Тельца «звезды-гостя», которая казалась ярче Венеры и была видна даже днем. Спустя два месяца эта звезда начала угасать, а еще через несколько месяцев совершенно исчезла из поля зрения. В наше время с помощью достаточно мощных телескопов в этом созвездии можно видеть туманность причудливой формы, напоминающую плывущего в воде краба. Туманность так и назвали — Крабовидная (рис. 26.4). Наблюдения показали, что она расширяется. С учетом скорости расширения можно заключить, что Крабовидная туманность — это остаток взрыва Сверхновой 1054 г.

Впервые термин «новая звезда» применил Т. Браге при описании появившейся яркой звезды в 1572 г. Несмотря на то что по нынешним представлениям это название оказалось не совсем удачным (вспышка означает не рождение звезды, а ее гибель), оно до сих пор используется в астрономии. Наиболее мощные взрывы гибнущих звезд стали по аналогии называть сверхновыми звездами.

В нашей Галактике за последнее тысячелетие зарегистрировано несколько случаев вспышек сверхновых звезд.

Фотографическим методом отмечено более 300 вспышек Сверхновых в других галактиках, причем



Рис. 26.4. Крабовидная туманность — остаток от взрыва сверхновой звезды



нередко их светимость оказывалась сравнимой с общей светимостью всей галактики, в которой произошла вспышка. Наиболее яркая сверхновая звезда, наблюдавшаяся с помощью современной техники, появилась в 1987 г. в одной из ближайших галактик — Большом Магеллановом Облаке (рис. 26.5).

Звезда вспыхивает вследствие коллапса (схлопывания) своего массивного ядра. Происходит это следующим образом. На разных этапах жизни массивной звезды в ее ядре протекают термоядерные реакции, при которых сначала водород превращается в гелий, затем гелий в углерод и так далее до образования ядер элементов группы железа (Fe, Ni, Co). Плотность центра железного ядра достигает значения  $10^{12}$  кг/м<sup>3</sup> при температуре  $10^9 \div 10^{10}$  К. Постепенно звезда все больше и больше «расслаивается» (рис. 26.6).

Ядерные реакции с образованием еще более тяжелых химических элементов идут с поглощением энергии, поэтому звезда начинает охлаждаться и сжиматься. Внутренние слои словно обрушиваются к центру звезды; возникает ударная волна, движущаяся обратно от центра. В итоге наружные слои звезды выбрасываются с огромной скоростью. В результате катастрофического изменения структуры звезды происходит вспышка Сверхновой.

При взрыве освобождается энергия порядка  $10^{46}$  Дж. Такую энергию наше Солнце способно излучить лишь за миллиарды лет. От огромной звезды остаются только расширяющаяся с большой скоростью газовая оболочка и нейтронная звезда (или пульсар). **Пульсар** представляет собой быстро вращающуюся нейтронную звезду, для которой характерно радиоизлучение, пульсирующее с периодом, равным периоду вращения звезды.



Рис. 26.5. Сверхновая SN 1987A в Большом Магеллановом Облаке (указана стрелкой)

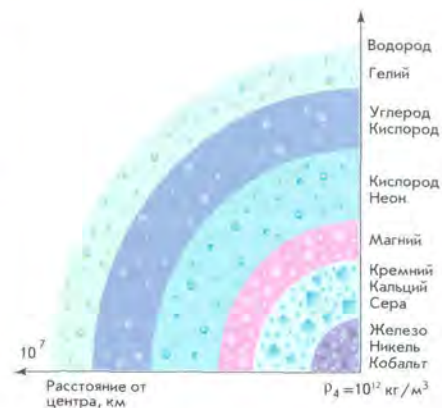


Рис. 26.6. Расслоение массивных звезд

Если звездная масса невелика, то силы гравитации сравнительно слабы, и сжатие звезды (гравитационный коллапс) прекращается. При очень высокой плотности вещества электроны, соединяясь с протонами, образуют нейтральные частицы — нейтроны. Вскоре почти вся звезда будет состоять из одних нейтронов, настолько тесно прижатых друг к другу, что огромная звездная масса будет сосредоточена в очень небольшом шаре, размером порядка десяти километров (рис. 26.7). Плотность образовавшегося шара — **нейтронной звезды** — чудовищно велика: она может составлять  $10^{17} \div 10^{18}$  кг/м<sup>3</sup>.

Нейтронные звезды обнаружены в 1967 г. как источники периодического радиоизлучения. Сначала наблюдатели предположили, что эти сигналы посылает иная цивилизация. Однако с открытием других таких же источников радиосигналов стало ясно, что они имеют естественное происхождение. Вдобавок от этих источников было зарегистрировано рентгеновское и гамма-излучение.

Если в недрах звезды отсутствуют силы, противодействующие ее сжатию под действием сил гравитации, то звезда и дальше будет сжиматься. Плотность вещества будет продолжать увеличиваться.

В результате массивная звезда на заключительном этапе своей эволюции превращается в неустойчиво сжимающийся объект — **черную дыру** (рис. 26.8). Поле тяготения на границе черной дыры настолько велико, что сигналы от этого объекта не выходят наружу (отсюда происходит его название). Другими словами: гравитационное поле черной дыры настолько сильное, что даже свет не в состоянии его преодолеть.

Критический радиус, до которого должна сжаться звезда, чтобы превратиться в черную дыру, называется **гравитационным радиусом** ( $r_g$ ) или радиусом Шварцшильда. Для массивных звезд  $r_g$  составляет несколько десятков километров и может быть рассчитан по формуле:

$$r_g = \frac{2GM}{c^2}$$



Рис. 26.7. Относительные размеры белого карлика и нейтронной звезды



Рис. 26.8. Относительные размеры нейтронной звезды и черной дыры





Рис. 26.9. Схема черной дыры в двойной системе

где  $G$  — гравитационная постоянная,  $M$  — масса звезды,  $c$  — скорость света.

Теория относительности приводит к выводу, что вещество должно быть сжато в микроскопически малом объеме пространства в центре черной дыры. Это состояние называется сингулярностью. Границу черной дыры именуют горизонтом событий.

Так как черные дыры непосредственно наблюдать нельзя, поиски их сопряжены с большими трудностями. Чаще всего черную дыру удастся обнаружить двумя способами. Во-первых, если черная дыра образовалась в двойной системе звезд, то ее положение можно определить по обращению второго компонента вокруг «пустого места» (рис. 26.9). Во-вторых, при падении вещества на черную дыру должно возникать мощное рентгеновское излучение. Источники такого излучения (Лебедь X-1, Скорпион X-1 и др.) зарегистрированы как бы «кандидатами» в черные дыры. Схематично черную дыру можно представить следующим образом: гравитационное поле невидимой черной дыры захватывает поток газа от внешних слоев голубого сверхгиганта; вблизи черной дыры газ сильно разогревается и становится источником электромагнитного излучения в рентгеновском и гамма-диапазоне.

Черные дыры также могут существовать и наблюдаться как постоянно взаимодействующие с веществом в ядрах галактик и квазаров.

### Вопросы и упражнения

1. Чем отличаются физические переменные звезды от затменно-переменных звезд? 2. Какова причина пульсаций цефеид? 3. В чем состоит отличие новой звезды от Сверхновой? 4. Как часто наблюдаются новые и сверхновые звезды? 5. Как образовалась Крабовидная туманность? 6. Каковы причины взрыва новых и сверхновых звезд? 7. Почему нейтронные звезды называют пульсарами? 8. Объясните механизм радиоизлучения пульсара. 9. Какой объект называют черной дырой? Какими свойствами обладает черная дыра?

## VIII РАЗДЕЛ

# 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 назвали **Галактикой** (от греческого слова «гала» — молоко). Еще Галилео Галилей в 1609 г. в телескоп обнаружил, что Млечный Путь состоит из огромного количества слабых звезд.

Млечный Путь проходит через оба полушария по большому кругу небесной сферы (рис. 27.1). Линия, идущая вдоль середины Млечного Пути, названа **галактическим экватором**, а образующая его плоскость — **галактической плоскостью**. Галактическая плоскость наклонена к плоскости небесного экватора под углом  $63^\circ$ .

Следует понимать, что термин «Галактика» относится к звездной системе, а термин «Млечный Путь» — к ее светящейся проекции на небо.

Количественные подсчеты звезд в разных направлениях от галактического экватора предпринял *У. Гершель* в 70-х гг. XVIII в. Выборочные подсчеты показали, что число звезд резко убывает по обе стороны от галактической плоскости. Дальнейшими исследованиями было установлено, что все звезды неба образуют единую звезд-

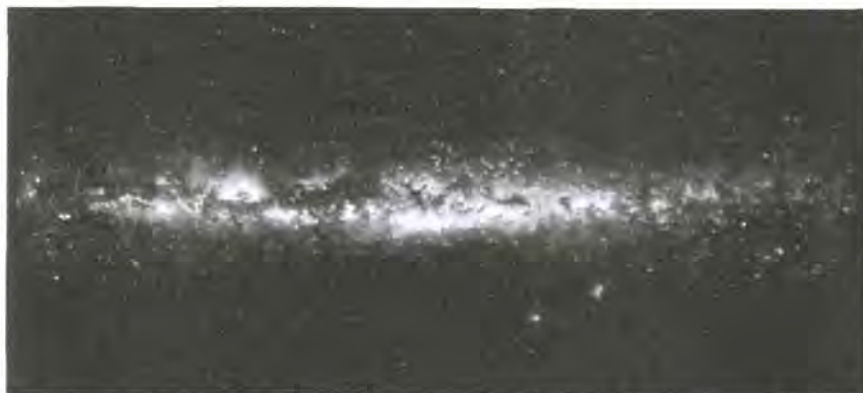


Рис. 27.1. Млечный Путь



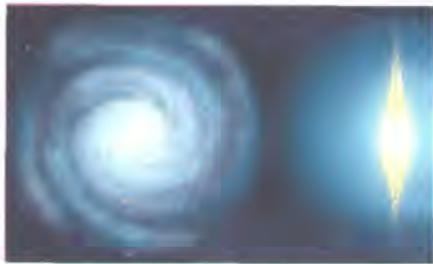


Рис. 27.2. Строение нашей Галактики

ную систему. В Млечном Пути сосредоточено подавляющее число звезд Галактики — огромной звездной системы, имеющей форму плоского линзообразного диска (рис. 27.2) поперечником около 30 и толщиной около 4 кпк (или соответственно около 100 и 12 тыс. световых лет). Шарообразное утолщение в середине диска получило название **балдж** (от английского *bulge* — вздутие). Наиболее плотная и компактная центральная часть нашей Галактики, расположенная в созвездии Стрельца, называется ядром. Звездный диск Галактики имеет структуру в виде спиральных ветвей (рукавов).

Часть звезд нашей Галактики не входят в состав диска, а образуют 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 10 кпк, и лежит почти в галактической плоскости. Звездный состав Галактики очень разнообразен. По химическому составу, возрасту и характеру орбит звезды условно разделили на два «населения». К **населению I** относится большая часть находящихся на главной последовательности звезд классов O, B, A, F, L; большая часть звезд-гигантов; белые карлики и планетарные туманности. Возраст этих объектов — порядка нескольких миллиардов лет. Население I заполняет диск Галактики (более молодые объекты связаны со спиральными ветвями). Это молодые горячие звезды, их скопления, долгопериодические цефеиды, новые и сверхновые звезды, газ, пыль. В гало преобладают объекты **населения II**: шаровые звездные скопления, красные сверхгиганты, субкарлики, звезды с дефицитом тяжелых элементов. Это «старое население» Галактики, его возраст — порядка 15 млрд лет. В центральных областях Галактики сосредоточены красные гиганты, сверхгиганты и звезды-карлики классов M и K. Ближе к центру Галактики обнаружены потоки плотного горячего газа, расширяющегося со скоростью 100—200 км/с. В самом центре Галактики в пределах 1 пк находятся точечные источники радио-, инфракрасного и рентгеновского излучений.

**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 сотен до нескольких тысяч звезд. Ближайшие к нам рассеянные звездные скопления — Плеяды и Гиады — находятся в созвездии Тельца. Невооруженным глазом можно различить в Плеядах 5—7 слабых звездочек, располагающихся в виде маленького ковшика (рис. 27.3). Скопление Гиады не столь компактное, но содержит более яркие звезды. Сейчас известно около 1200 рассеянных звездных скоплений. Все они концентрируются у галактической плоскости и, подобно другим объектам плоской составляющей Галактики, участвуют во вращении вокруг ее центра. Общее же число рассеянных скоплений в Галактике оценивается в  $2 \cdot 10^4$ .

Шаровые звездные скопления имеют сферическую или эллипсоидальную форму, 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. Всего в Галактике открыто около 130 шаровых скоплений, а их общее число достигает примерно 500. Звездное население шаровых скоплений состоит из давно проэволюционировавших звезд — красных гигантов и сверхгигантов. Шаровые скопления нашей Галактики — одни из старейших. Их возраст составляет  $10 \div 15$  млрд лет. В шаровых скоплениях встречаются переменные пульсирующие звезды, что позволяет определять расстояние до них. Часто кажется, что в центре скопления звезды сливаются в единое целое (рис. 27.4), но на самом деле это всего лишь оптический эффект. Между звездами достаточно много свободного пространства, и они никак не могут сталкиваться друг с другом.

Рис. 27.3. Рассеянное звездное скопление Плеяды в созвездии Тельца; его главные звезды освещают окружающую туманность



Рис. 27.3. Рассеянное звездное скопление Плеяды в созвездии Тельца; его главные звезды освещают окружающую туманность

Рис. 27.4. Шаровое звездное скопление NGC 6205 в созвездии Геркулеса



Рис. 27.4. Шаровое звездное скопление NGC 6205 в созвездии Геркулеса





Рис. 27.5. Пространственная ( $v$ ), лучевая ( $v_r$ ) и тангенциальная скорости ( $v_t$ )

характеристикам звездные ассоциации похожи на большие очень молодые рассеянные скопления, но с меньшей концентрацией звезд к центру. Размеры ассоциаций от 30 до 200 пк, а число звезд достигает нескольких сотен. Возраст ассоциаций оценивается в несколько миллионов лет, и они наблюдаются внутри мощных газопылевых комплексов. Примером может служить туманность Ориона.

**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  $0,7^\circ$ , звезды Арктура более чем на  $1^\circ$ . На основании этого факта был сделан вывод о пространственном движении звезд относительно Солнца. Так впервые было обнаружено, что звезды движутся.

Скорость движения небесного объекта (звезды) в пространстве относительно Солнца называется **пространственной скоростью** данного объекта. В общем случае пространственная скорость  $v$  (рис. 27.5) 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 между собой соотношением

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

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:

Помимо звездных скоплений, различают еще один тип группировок молодых звезд — **звездные ассоциации**. Этот термин в 1947 г. ввел советский академик *В. А. Амбарцумян* для разреженных групп горячих звезд высокой светимости спектральных классов О и В. Некоторые звезды в ассоциациях настолько молоды, что еще не сформировались окончательно. По своим

$$v_t = 4,74 \frac{\mu}{\pi}.$$

где  $\mu$  — **собственное движение** (видимое угловое смещение звезды на небесной сфере за один год). Оно выражается секундами дуги в год (рис. 27.6). Измерения и расчеты показали, что большинство звезд, сравнительно близких к Солнцу, движутся относительно него со скоростями, не превышающими 30 км/с. Самым большим собственным движением обладает карликовая звезда Барнарда:  $\mu = 10,27''$ . Лучевая скорость этой звезды  $v_r = -108$  км/с (знак «минус» показывает, что звезда приближается к Солнцу). Тангенциальная и пространственная скорости для этой звезды будут равны соответственно 88,4 и 140 км/с. Подавляющее же большинство измеренных собственных движений у звезд составляют сотые и тысячные доли секунды дуги в год. Не случайно поэтому звезду Барнарда называют «летающей».

Анализ собственных движений звезд привел к обнаружению также движения Солнца среди звезд. Выяснилось, что звезды с наименьшими по величине собственными движениями расположены на небе в основном вблизи Веги и Сириуса, причем те, которые находятся около Веги, двигаются по направлению к Земле, а около Сириуса — от нее. Из этого факта У. Гершель сделал вывод о движении Солнечной системы в пространстве относительно звезд в направлении Веги. Та точка на небесной сфере ( $\alpha = 270^\circ$ ,  $\delta = +30^\circ$ ; 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 называется **солнечным антиапексом**. Вследствие собственных движений звезд по истечении десятков тысяч лет вид созвездий меняется (рис. 27.7).

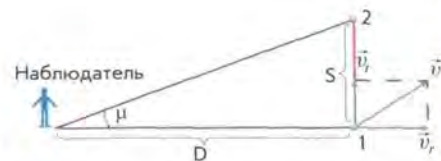


Рис. 27.6. Определение тангенциальной скорости звезды

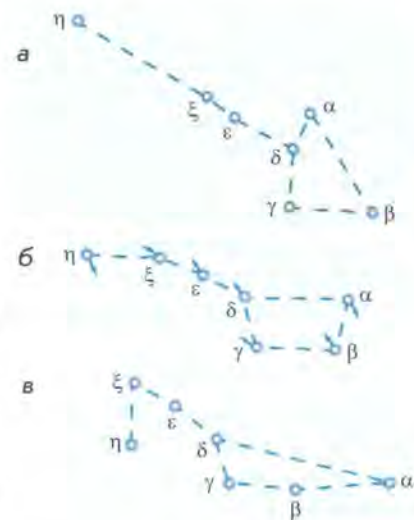


Рис. 27.7. Изменение относительного расположения звезд в «ковше» Большой Медведицы за 100 тыс. лет: а — 50 тыс. лет назад; б — в настоящее время (стрелками указаны направления тангенциальных скоростей звезд); в — через 50 тыс. лет





Рис. 27.8. Траектория звезд в Галактике (диск Галактики — тонкие линии, сферическая составляющая — утолщенные линии)

**4. Вращение Галактики.** 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 250 км/с) на расстоянии Солнца, после чего очень медленно убывает.*

4. *Полный период обращения Солнца вокруг ядра Галактики составляет примерно 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. 27.8). Такие звезды имеют относительно Солнца очень большие скорости (до 200—300 км/с).

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

Зная скорость обращения и радиус круговой орбиты, можно оценить 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·м<sup>2</sup>/кг<sup>2</sup>, получим, что  $M = 1,8 \cdot 10^{41}$  кг, или около 150 млрд масс Солнца. Масса Галактики в пределах объема радиусом 15 кпк оценивается приблизительно в 200 млрд масс Солнца. С учетом остальной части Галактики ее масса оценивается примерно в  $10^{12}$  масс Солнца.

### Вопросы и упражнения

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. Как было доказано, что звезды движутся? 8. Что понимают под пространственной, лучевой и тангенциальной скоростями звезды? 9. Звезда, находясь на расстоянии 10 пк, имеет тангенциальную скорость 20 км/с. За сколько лет она переместится по небу на угловой размер Луны (0,5'')? 10. Каковы особенности вращения нашей Галактики?

## § 28. МЕЖЗВЕЗДНЫЕ ГАЗ И ПЫЛЬ

**1. Межзвездный газ.** Звездное небо содержит много туманных объектов. Они бывают светящиеся и темные, поглощающие свет. Широкое применение фотографии в астрономии позволило обнаружить, описать и составить каталоги темных туманностей.

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

В начале XX в. астрономы зарегистрировали в спектрах далеких звезд узкие линии поглощения некоторых химических элементов и простейших молекул (Na, Ca, K, Ti, CN, CH), которые не участвуют в сдвиге остальных спектральных линий, обусловленном движением звезд. Эти линии вызываются поглощением межзвездными элементами и молекулами света звезд, когда свет звезд проходит сквозь полупрозрачные облака межзвездной среды.

**Межзвездная среда** — это вещество и поля, заполняющие межзвездное пространство внутри Галактики. Большая часть массы межзвездного вещества приходится на разреженный газ и пыль. Основной компонент межзвездной среды — **межзвездный газ**, который состоит из водорода (70 % массы) и гелия (28 %). Остальная часть массы межзвездного вещества приходится на 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 температурных условий и плотности межзвездный газ может находиться в трех различных состояниях: молекулярном, ионизированном и атомарном.

Основные данные о межзвездном газе получены радиоастрономическими методами, после того как в 1951 г. было обнаружено



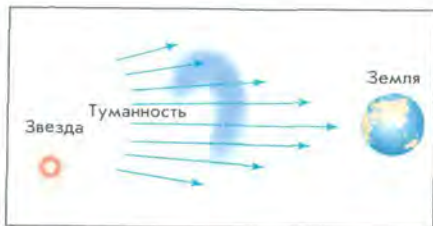


Рис. 28.1. Туманность излучает свет, если ее освещает яркая близлежащая звезда

Основная часть межзвездного газа сосредоточена в спиральных ветвях Галактики, где он распределен также неравномерно: собран в клочковатые образования размерами в десятки и сотни парсек со средней концентрацией частиц несколько атомов в  $1 \text{ см}^3$ . Около половины массы межзвездного газа содержится в гигантских **молекулярных облаках** со средней массой  $10^5$  масс Солнца и диаметром около 40 пк. Из-за низкой температуры (около 10 К) и повышенной плотности (до  $10^3$  частиц в  $1 \text{ см}^3$ ) водород и другие элементы в этих облаках объединены в молекулы. Таких молекулярных облаков в Галактике насчитывается около 4000.

Области ионизированного водорода с температурой 8000—10 000 К проявляют себя в оптическом диапазоне как **светлые диффузные туманности**. Их свечение возбуждается ультрафиолетовым излучением близкорасположенных горячих звезд (спектральных классов В и О).

Светлая туманность излучает свет, если ее освещает близлежащая звезда (рис. 28.1). Звезды класса W, O, B способны вызвать ионизацию атомов водорода на расстоянии примерно 500 световых лет.

Диффузные туманности, имеющие неправильную, клочковатую форму, достигают размеров до 10 пк, а их плотность колеблется от  $10^{-17}$  до  $10^{-20} \text{ кг/м}^3$ . Распределяются области такого ионизированного водорода в плоской подсистеме Галактики (население I) и являются указателями мест, где в настоящее время идут процессы звездообразования. Так, в Большой туманности Ориона (рис. 28.2) с помощью Космического телескопа Хаббла обнаружены протозвезды, окруженные протопланетными дисками.



Рис. 28.2. Большая туманность Ориона

Если близлежащие звезды не столь горячи и не могут ионизировать водород, то туманность светится за счет отражения звездного

радиоизлучения нейтрального атомарного водорода на волне 21 см. Оказалось, что атомарный водород, имеющий температуру 100 К, образует в диске Галактики тонкий слой толщиной 200—300 пк, увеличивающийся до нескольких килопарсек на расстоянии 15—20 кпк от ее центра.

света (рис. 28.3). Данные туманности содержат много пыли. Примером такой светлой туманности является туманность в скоплении Плеяды в созвездии Тельца (см. рис. 27.3).

Некоторые из туманностей при наблюдении через фильтр видятся словно состоящими из отдельных волокон. Таковой, например, является известная Крабовидная туманность в созвездии Тельца (см. рис. 26.4), которая считается остатком взорвавшейся сверхновой звезды.

Особым типом туманностей являются **планетарные туманности**, которые выглядят как слабо светящиеся диски или кольца, напоминающие диски планет. Эти туманности представляют собой светящуюся расширяющуюся оболочку ионизированного газа, сброшенного красным гигантом на конечной стадии своей эволюции. В центре планетарной туманности находится остаток погибшего красного гиганта — горячий белый карлик или нейтронная звезда. Под действием внутреннего давления газа планетарная туманность расширяется примерно со скоростью 20—40 км/с, при этом плотность газа падает. Эти объекты обогащают межзвездную среду веществом, их известно более 1200. Планетарная туманность Песочные Часы (рис. 28.4) показывает, какие сложные процессы могут происходить на последней стадии эволюции звезды.

**2. Межзвездная пыль.** В межзвездном пространстве рассеяны мелкие твердые частицы (металлические, силикатные или графитовые), размерами от 0,01 до 1 мкм. Тугоплавкие частички образуются и поставляются в межзвездную среду за счет расширения оболочек новых и сверхновых звезд, планетарных туманностей, холодных красных гигантов и сверхгигантов. В межзвездном пространстве пыль везде сопутствует газу. На ее долю приходится около 1% от массы газа.

Межзвездная пыль, как и межзвездный газ, концентрируется в галактической плоскости, образуя газопылевые облака клочковатой структуры. В межзвездных



Рис. 28.3. Туманность светит отраженным светом близлежащей звезды

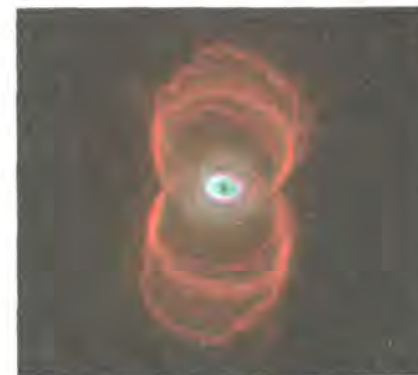


Рис. 28.4. Планетарная туманность Песочные Часы





Рис. 28.5. Облака межзвездной пыли в направлении на центр нашей Галактики

облаках мелкие пылинки быстро обрастают оболочками из наиболее распространенных элементов (H, C, N, O). За миллионы лет даже при низкой температуре в оболочках межзвездных пылинок происходят сложные химические процессы с образованием молекул воды, этилена, синильной кислоты, этилового спирта и др. Зарегистрировано около 90 типов молекул, некоторые из них содержат до 13 атомов.

Из-за пыли самые плотные газовые образования — молекулярные облака — практически непрозрачны и выглядят на небе как темные области, почти лишенные звезд (рис. 28.5). Такие газопылевые образования называются **темными туманностями** (рис. 28.6).

Благодаря развитию внеатмосферной астрономии появилась возможность наблюдать межзвездную пыль не только в нашей (рис. 28.7), но и в соседних галактиках. В результате учеными был сделан вывод, что свойства пыли во Вселенной мало чем отличаются от свойств пылинок Млечного Пути.

Таким образом, **межзвездная пыль** — это мелкие твердые частички неправильной формы размером от 0,01 до 1 мкм. Они состоят из тугоплавкого ядра и оболочки из летучих соединений. Пыль играет активную роль и участвует как существенный компонент в протекающих во Вселенной процессах.

**3. Космические лучи и межзвездное магнитное поле.** Кроме разреженного газа и пыли, в межзвездном пространстве с огромными скоростями, близкими к световой, движется большое количество элементарных частиц и ядер различных атомов. Поток этих частиц называют **космическими лучами**. Они пронизывают все межпланет-

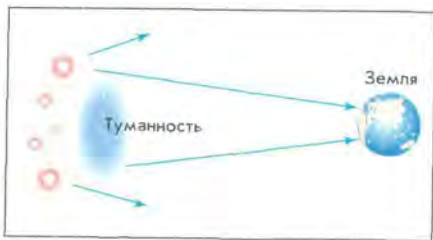


Рис. 28.6. Темная туманность заслоняет свет звезд, находящихся на большом расстоянии от Земли

ное и межзвездное пространство. На площадку в  $1 \text{ м}^2$  ежесекундно попадает в среднем около 10 тыс. различных частиц. В составе космических лучей присутствуют электроны, ядра гелия и более тяжелых элементов, но в основном преобладают протоны (более 90%), которые имеют среднюю энергию  $1,6 \cdot 10^{10}$  Дж. Не все частицы,

образующие космические лучи, приходят к нам из глубин Вселенной. Многие из них рождаются при вспышках на Солнце (см. § 21). Основными источниками космических лучей в Галактике служат остатки сверхновых звезд и пульсары (см. § 26).

Первое свидетельство существования межзвездного магнитного поля было получено итальянским физиком *Энрико Ферми* и американским ученым *Эдвардом Теллером* при изучении космических лучей.

Электроны, входящие в состав космических лучей, постепенно тормозятся в магнитном поле, теряя энергию на излучение радиоволн. Такое излучение называется **синхротронным**. Оно регистрируется радиотелескопами. Мощными источниками синхротронного излучения являются остатки сверхновых звезд. Наблюдения показывают, что синхротронное излучение приходит к нам и из областей межзвездного пространства. Следовательно, магнитное поле существует и там.

Магнитная индукция межзвездного магнитного поля невелика — около  $10^{-10}$  Тл. Это в среднем в 100 тыс. раз меньше, чем у поверхности Земли. Линии индукции межзвездного магнитного поля в основном параллельны галактической плоскости и, изгибаясь, идут вдоль спиральных ветвей Галактики. Крупномасштабные магнитные поля обнаружены и в других галактиках.

### Вопросы и упражнения

1. Что понимают под межзвездной средой? Чем она заполнена?
2. Какова масса межзвездного вещества нашей Галактики?
3. Что понимают под туманностями? Назовите основные виды туманностей. Почему одни туманности — светлые, другие — темные?
4. Что представляет собой межзвездная пыль?
5. Из каких наблюдений можно сделать вывод о существовании межзвездной пыли?
6. Каково происхождение газопылевых туманностей и молекулярных облаков?
7. Что представляют собой космические лучи? Какими свойствами они обладают?
8. Охарактеризуйте межзвездное магнитное поле. Почему оно называется синхротронным?



Рис. 28.7. Один из комплексов туманностей в созвездии Ориона. В центре выделяется темная туманность Конская Голова



## § 29. ЗВЕЗДНЫЕ СИСТЕМЫ — ГАЛАКТИКИ

**1. Типы галактик.** В 1924 г. с помощью крупнейшего в то время телескопа (обсерватория Маунт-Вилсон, США) *Эдвин Хаббл* установил, что туманность Андромеды образована множеством звезд, сливающихся в сплошное туманное пятно из-за огромной удаленности. Большинство других известных туманностей оказались такими же удаленными гигантскими системами, состоящими из миллионов и миллиардов звезд. Гигантские гравитационно-связанные системы звезд и межзвездного вещества, расположенные вне нашей Галактики, стали называть **галактиками**. Современные мощные телескопы сделали доступной регистрацию сотен миллиардов галактик.

Фотоснимки показали, что галактики различаются по внешнему виду и структуре. Хаббл предложил классификацию галактик по форме. Позднее его классификация стала основой современной классификационной схемы. Согласно современной классификации различают галактики следующих основных типов: эллиптические (E), спиральные (S), неправильные (Ir) и линзовидные (S0) (рис. 29.1).



Рис. 29.1. Классификация галактик Э. Хаббла



Рис. 29.2. Эллиптическая галактика М 87 в созвездии Девы

**Эллиптические галактики** в проекции на небесную сферу выглядят как круги или эллипсы (рис. 29.2). Число звезд в них плавно убывает от центра к краю. Звезды вращаются в такой системе в разных плоскостях. Сами эллиптические галактики вращаются очень медленно. Они содержат только желтые и красные звезды, практически не имеют газа, пыли и молодых звезд высокой светимости. Физическим характеристикам этих галактик свойствен довольно широкий диапазон: диаметры галактик — от 5 до 50 кпк, массы — от  $10^6$  до  $10^{13}$  масс Солнца, светимости от  $10^6$  до  $10^{12}$  светимостей Солнца. Около 25 % изученных галактик принадлежат к эллиптическому типу.

Около половины изученных галактик относятся к спиральному типу. **Спиральные галактики**

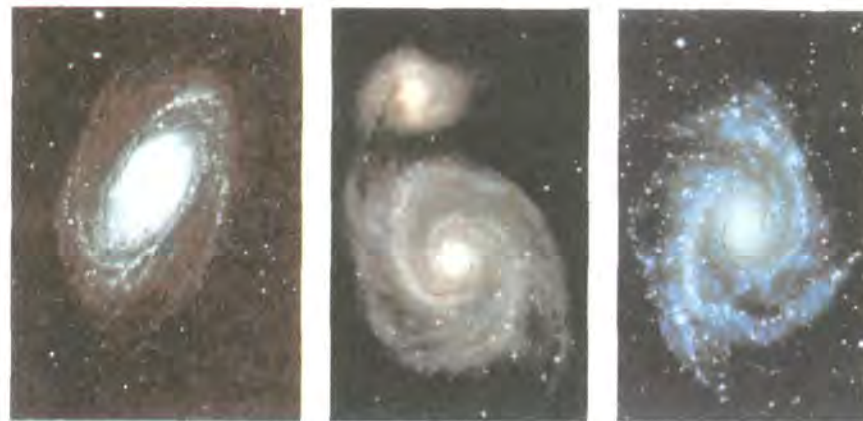


Рис. 29.3. Спиральные галактики: а — М 81; б — М 51; в — NGC 2997

это сильно сплюснутые системы с центральным уплотнением (в котором находится ядро галактики) и с заметной спиральной структурой. Размеры этих галактик достигают 40 кпк, а светимости —  $10^{11}$  светимостей Солнца. В окружающем уплотнении диска имеются две или более клочковатые спиральные ветви (рис. 29.3). Так, к хаббловским типам спиральных галактик относится галактика М 81, тип Sa, система с туго закрученными спиральными ветвями, шарообразная часть яркая и протяженная (рис. 29.3, а). Галактика М 51 относится к типу Sb, имеет более мощные и четкие спирали, центральная часть менее выделяется (рис. 29.3, б). Галактика NGC 2997 принадлежит к типу Sc, система с развитой клочковатой спиральной структурой, шарообразная часть которой слабо просматривается на общем фоне (рис. 29.3, в).

Примерно у половины спиральных галактик в центральной части есть почти прямая звездная перемилька — **бар**, от которой начинают закручиваться спиральные рукава (рис. 29.4). Такие галактики называются **спиральными с перемилькой**.

В спиральных ветвях галактик сосредоточены самые яркие и молодые звезды, яркие газопылевые туманности, молодые звездные скопления и комплексы. Поэтому спиральный узор отчетливо виден даже у далеких галактик.



Рис. 29.4. Спиральная галактика с перемилькой (баром) NGC 1365





Рис. 29.5. Галактика туманность Андромеды

тик, хотя на долю спиральных рукавов приходится всего несколько процентов массы всей галактики. Наша Галактика является спиральной. Ближайшая звездная система, похожая по структуре и типу на нашу Галактику, — это туманность Андромеды (рис. 29.5). Свет от этой галактики доходит до нас примерно за 2 млн лет.

**К неправильным галактикам** относят маломассивные галактики неправильной структуры. У них не наблюдается четко выраженного ядра и вращательной симметрии. Видимая яркость таких галактик создается молодыми звездами высокой светимости и областями ионизированного водорода. Массы неправильных галактик составляют от  $10^8$  до  $10^{10}$  масс Солнца, размеры этих галактик достигают 10 кпк, а светимости их не превышают  $10^{10}$  светимостей Солнца. В таких галактиках содержится много газа — до 50 % их общей массы.

Ближайшими к нам яркими неправильными галактиками являются Магеллановы Облака (Большое и Малое). Они выглядят как два туманных облачка, серебристо светящихся в хорошую погоду на ночном небе. Они расположены в Южном полушарии и поэтому невидимы с территории Беларуси. Большое Магелланово Облако (рис. 29.6), имеющее в диаметре 7 кпк, расположено от нас на расстоянии 52 кпк. По мнению некоторых астрономов, в этой неправильной галактике можно различить зачатки спиральной структуры.

**Линзовидные галактики** внешне (если видны плашмя) очень похожи на эллиптические, но имеют сплюснутый звездный диск. По структуре подобны спиральным галактикам, однако не имеют плоской составляющей и спиральных ветвей. От спиральных галактик, наблюдаемых с ребра, линзовидные галактики отличаются отсутствием полосы темной материи. Немецкий астроном *Карл Шварцшильд* выдвинул теорию, согласно которой линзовидные галактики могут образовываться из спиральных в процессе «выметания» газопылевой материи.



Рис. 29.6. Большое Магелланово Облако — одна из близких к нам галактик

Рис. 29.5. Галактика туманность Андромеды

Рис. 29.6. Большое Магелланово Облако — одна из близких к нам галактик

Рис. 29.6. Большое Магелланово Облако — одна из близких к нам галактик

Галактики характеризуются показателем сжатия  $e$ :

$$e = \frac{10(a-b)}{a},$$

где  $a$  — большая и  $b$  — малая полуоси галактики.

Показатель сжатия дописывается за буквой, обозначающей тип галактики, например E3, E5. Сферическая галактика имеет показатель сжатия 0. У спиральных галактик показатель сжатия всегда больше семи, а у эллиптических — всегда меньше семи.

**2. Расстояния до галактик. Закон Хаббла.** Расстояния до ближайших галактик определяются по оценкам видимых звездных величин цефеид (см. § 26). Для долгопериодических цефеид установлена зависимость «период колебаний — светимость». С помощью этой зависимости определяют абсолютную звездную величину по длительности колебаний блеска: чем короче период колебаний блеска, тем цефеида слабее по абсолютной звездной величине. Расстояние  $r$  вычисляется по формуле:

$$\lg r = 0,2(m - M) + 1, \quad (29.1)$$

где  $m$  и  $M$  — видимая и абсолютная звездные величины.

Для галактик, где не обнаружены цефеиды или их невозможно увидеть, в качестве индикаторов расстояний используют ярчайшие звезды — сверхгиганты, новые и сверхновые звезды, шаровые звездные скопления. Расстояния также определяют по формуле (29.1). Видимую звездную величину оценивают из наблюдений, а абсолютную считают известной (средней) для данного класса объектов. Например, сверхновые звезды, как это следует из наблюдений, имеют примерно одинаковую абсолютную величину в максимуме блеска.

Расстояния до далеких галактик определяют по их угловым размерам или по видимой звездной величине, а до очень далеких галактик — исключительно по величине красного смещения в их спектре. Красное смещение обычно измеряется относительным изменением длины волны спектральных линий

$$\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}.$$

Еще в 1912—1914 гг. американский астроном *Весто Слайфер* обнаружил, что линии в спектрах далеких галактик смещены относительно их нормального положения в сторону красного конца спектра. Это означало, что галактики удаляются от нас со скоростями в сотни километров в секунду. Позже Э. Хаббл определил расстояния до некоторых галактик и их скорости. Из наблюдений следовало, что чем дальше от нас находится галактика, тем с большей



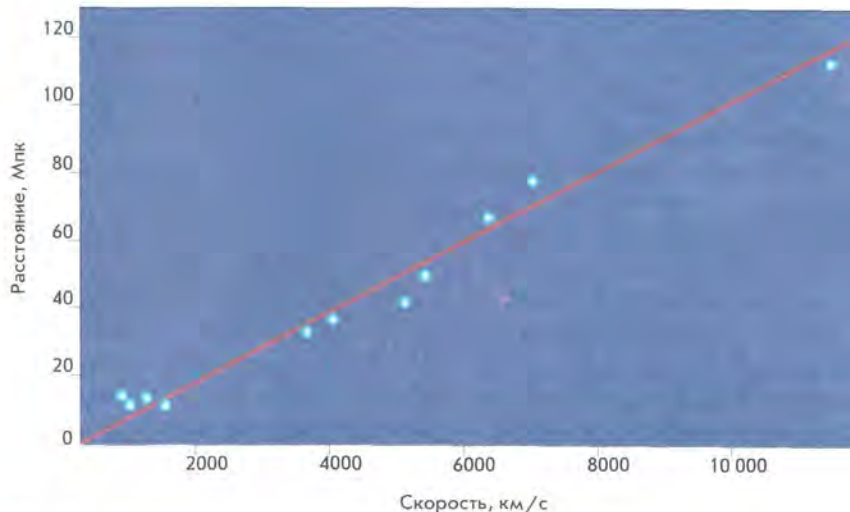


Рис. 29.7. Зависимость скорости удаления галактик от расстояний до них

скоростью она удаляется (графически данная зависимость представлена на рис. 29.7). Закон, по которому скорость удаления галактики пропорциональна расстоянию до нее, получил название **закона Хаббла**. Закон Хаббла можно сформулировать и таким образом: *относительное увеличение длин волн линий в спектрах галактик пропорционально расстоянию  $r$  до них*, т. е.

$$r \sim \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}.$$

Предполагая, что явление красного смещения обусловлено движением галактик со скоростью  $v_r$  по лучу зрения в направлении от наблюдателя, можем найти лучевую скорость галактики по измеренному относительному смещению длины волны спектральных линий:

$$v_r = \frac{c(\lambda - \lambda_0)}{\lambda}. \quad (29.2)$$

С учетом закона Хаббла зависимость (29.2) можно записать в виде:

$$v_r = Hr, \quad (29.3)$$

где  $H$  — коэффициент пропорциональности, называемый постоянной Хаббла. Коэффициент Хаббла показывает, на сколько километров в секунду возрастает скорость галактик с увеличением расстояния до них на 1 Мпк. Значение  $H$  постоянно уточняется, по различным оценкам оно заключено в пределах от 50 до 90 км/(с·Мпк). При расчетах чаще всего принимают  $H = 75$  км/(с·Мпк).

Необходимо отметить, что закон Хаббла выполняется только для далеких галактик, расстояние до которых превышает 5–10 Мпк.

**3. Массы галактик.** Массы галактик можно оценить на основании линейных скоростей вращения их внешних частей. Скорости вращения  $v$  устанавливают путем сравнения смещений спектральных линий в различных частях галактики.

Предположим, что вся масса  $M$  галактики сконцентрирована в ее центре и вращение происходит по законам Кеплера. Тогда из второго закона Ньютона  $F = ma$  ( $a = \frac{v^2}{R}$  — центростремительное ускорение), с учетом движения тела в поле сил тяготения  $F = G \frac{mM}{R^2}$ , получим:

$$\frac{GM}{R^2} = \frac{v^2}{R},$$

где  $R$  — радиус галактики. После преобразований получим выражение для оценки массы галактики:

$$M = \frac{Rv^2}{G}. \quad (29.4)$$

Для галактик, как и для звезд, имеется определенная зависимость между массой и светимостью. Эта зависимость была использована для вычисления масс галактик. Однако оценки масс галактик по их светимостям получались значительно меньше, чем по вращению галактик. Это явление было названо «парадоксом скрытой массы». Чтобы объяснить его, нужно предположить, что где-то в галактике расположена несветящаяся, темная материя.

В 70-х гг. XX в. с помощью методов рентгеновской астрономии был открыт горячий межгалактический газ. По температуре газа можно оценить массу его скоплений. Первые результаты рентгеновских наблюдений горячего газа в группах галактик подтвердили присутствие в них скрытой массы, не входящей в состав отдельных галактик. Сегодня астрономы убеждены: Вселенная в основном заполнена невидимым веществом. Оно образует протяженные гало галактик и заполняет межгалактическое пространство, концентрируясь в скоплениях галактик.

Спектральные наблюдения, проделанные с использованием Космического телескопа Хаббла и крупных современных наземных телескопов, подтвердили наличие больших масс (около 50 млн масс Солнца) несветящегося вещества в ядрах ряда галактик (рис. 29.8). Вместе с тем природа невидимого вещества до конца не выяснена. Возможно, что «скрытая масса» создается не только межгалак-



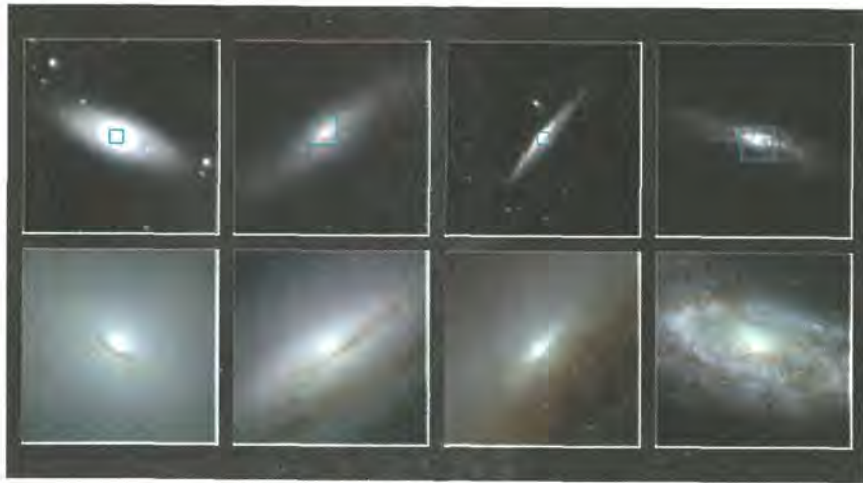


Рис. 29.8. Ядра галактик содержат массивные черные дыры. Нижний ряд фотографий ядер галактик получен с помощью Космического телескопа Хаббла

тическим газом, но и какими-то еще не открытыми новыми элементарными частицами. Необходимо отметить следующий факт: все изучавшиеся до сих пор человечеством астрономические объекты составляют лишь незначительную долю космического вещества. (По расчетам невидимая масса во много раз превышает видимую!)

**4. Галактики с активными ядрами.** У большинства галактик можно выделить яркую центральную часть — ядро. Эта область отличается большой звездной плотностью, достигающей  $10^6$ – $10^8$  пк<sup>-3</sup>. Но, несмотря на это, столкновений ядер и звезд в этой области не происходит.

Исследования последних лет показали, что ядро — не просто более плотное место галактики: в самом центре его можно обнаружить еще одно уплотнение — ядрышко. Так, при наблюдении ядра туманности Андромеды (его размеры 100 пк) удалось выделить яркое ядрышко поперечником 1–14 пк. Оно вращается как твердое тело (с периодом обращения 500 тыс. лет). Масса ядрышка составляет примерно 13 млн солнечных масс. Плотность — около 1500 солнечных масс на 1 пк<sup>3</sup>, т. е. в 20 тыс. раз больше, чем около Солнца. Ядрышко ведет себя таким образом, как будто это самостоятельное образование, «вложенное» в галактику.

Радиоисследования нашей Галактики показали, что в ее центре также имеется ядрышко размером примерно в 6 пк.

В ядрах некоторых галактик происходит колоссальное выделение энергии, которое нельзя объяснить излучением или взрывами обычных звезд. Такие галактики получили название **галактик с активными ядрами** или **сейфертовских галактик** (по имени американского ас-

тронома Карла Сейферта, впервые описавшего их в 1943 г.).

Галактики с высокой активностью ядер составляют несколько процентов от всех наблюдаемых галактик. Формы проявления активности ядер сейфертовских галактик, или просто **сейфертов**, различны. Это может быть большая мощность излучения в инфракрасной, оптической или рентгеновской области спектра, причем меняющаяся за сравнительно небольшое время (несколько лет, месяцев или даже дней). В некоторых случаях наблюдается быстрое движение газа в ядре (со скоростями ~ 1000 км/с). Иногда газ образует длинные прямолинейные газовые струи — джеты (рис. 29.9).



Рис. 29.9. Ядро галактики выбрасывает газовые струи — джеты

Наиболее вероятная гипотеза, объясняющая активность ядер, предполагает наличие черной дыры (массой в десятки или сотни миллионов масс Солнца) в центре галактики.

В 1998 г. Космический телескоп Хаббла передал снимки центральной области галактики Центавр А (NGC 5128), расположенной на расстоянии 10 млн световых лет. Находящаяся там массивная черная дыра «захватывает» маленькую соседнюю галактику. Снимки показали окружающий галактику NGC 5128 темный пояс из пыли со множеством светящихся голубым цветом недавно рожденных звезд и пылевых сгущений, погруженных в газовые облака (рис. 29.10). Снимки, сделанные в инфракрасных лучах, помогли астрономам заглянуть за пылевой занавес. Они открыли диск горячего газа, который закручивается и всасывается в черную дыру. Размеры этого диска по космическим меркам невелики, однако сравнимы с размерами нашей Солнечной системы, а масса равна многим миллионам солнечных масс.

**5. Взаимодействующие галактики.** Расположенные близко одна к другой галактики иногда бывают связаны между собой полосой светящейся материи. Часто эти светящиеся голубоватого цвета полосы являются продолжением спиральных ветвей. Полосы состоят из горячих молодых звезд. Нередко галактики

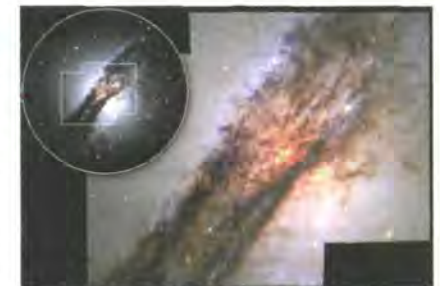


Рис. 29.10. Активное ядро галактики Центавр А





Рис. 29.11. Так, возможно, будет выглядеть на нашем небе туманность Андромеды через несколько миллиардов лет

погружены в общий «звездный туман», тогда их называют **взаимодействующими**. В большинстве случаев особенности форм взаимодействующих галактик объясняются возмущающими приливными силами, действующими на звезды одной галактики со стороны другой. Многие исследователи считают, что взаимодействующие галактики сближаются, а наблюдения в современные крупные телескопы показывают, что среди таких галактик очень много сталкивающихся. Даже наша Галактика является взаимодействующей. В настоящий момент она поглощает одну карликовую галактику, находящуюся на противоположной от нас стороне галактического диска. Через несколько миллиардов лет наша Галактика «проглотит» Магеллановы Облака, а через 5 млрд лет столкнется с туманностью Андромеды (M31) (рис. 29.11). Но при этом очень мала вероятность того, что будут сталкиваться отдельные звезды, так как они удалены одна от другой на расстояния, в сотни миллионов раз превышающие их диаметр.

Столкновения галактик, напротив, возможны — ведь промежутки между ними превосходят их размеры лишь в десятки и сотни раз. Часто карликовая галактика врывается в большую звездную спираль и, проходя сквозь нее, притягивает к себе отдельные звезды. Сегодня изучено взаимодействие галактик разных типов: спиральных, эллиптических и неправильных, которые или пролетают мимо друга на близком расстоянии, или задевают одна другую, или просто сталкиваются. Гравитационная сила взаимодействия, как правило, существенно изменяет внешний вид таких взаимодействующих галактик.



Рис. 29.12. Сталкивающиеся галактики NGC 4038 и NGC 4039. Красным цветом светятся газопылевые облака, падающие на черные дыры в ядрах галактик, голубым — молодые горячие звезды, рождающиеся благодаря возмущениям газопылевых масс

Ближе всего к нам находится пара сталкивающихся крупных галактик NGC 4038 и NGC 4039 в созвездии Ворона (рис. 29.12). Эта взаимодействующая система удалена на 63 млн световых лет. Под влиянием сил тяготения у галактик появились длинные «антенны», состоящие из газа и звезд,

поэтому их часто называют «антенными» галактиками. Эти образования возникли в результате соударения звездных систем. Астрономы открыли в «антенных» галактиках более тысячи недавно образовавшихся звездных скоплений. В каждом из них содержится до миллиона звезд. Возраст скоплений не превышает 100 млн лет. Они образовались под действием приливных сил, возбужденных сближением двух систем.

Сила тяготения галактики существенно влияет не на всю соседнюю галактику в целом, а лишь на ее близлежащие области. Таким образом возникают приливные силы, возмущающие и искажающие первоначальную форму галактики. Результат столкновения галактик зависит от геометрии удара и скорости. При скорости сближения около 200 км/с звездные системы чаще всего сливаются; 600 км/с — проходят одна сквозь другую. Если же сближение идет со скоростью до 1000 км/с, галактики разлетаются в клочья.

**6. Квазары.** В начале 60-х гг. XX в. по радиоизлучениям были обнаружены объекты, подобные активным ядрам галактик, — **квазары**. Слово «квазар» образовано от словосочетания «квазизвездные радиоисточники», т. е. похожие на радиоизлучающие звезды. Спектры квазаров содержат яркие эмиссионные линии, сильно смещенные в красную сторону, как у далеких галактик. Расстояния, определенные по красному смещению, оказались более 5 млрд световых лет. На фотографиях квазары выглядят очень яркими по сравнению с удаленными галактиками и в радиодиапазоне излучают так же сильно, как близкие радиоисточники. Некоторые из квазаров наблюдаются с таких расстояний, на которых обычные галактики с помощью современного оборудования уже обнаружить не удастся. Вокруг десятков близких квазаров расположены слабые протяженные оптические туманности. Их средний размер около 90 000 пк, а светимость в несколько раз меньше светимости ярчайших галактик. Пока неизвестно, есть ли в этих туманностях звезды.

До открытия квазаров считалось, что самые грандиозные проявления взрывных процессов — это вспышки Сверхновых, однако активность квазаров не похожа на активность обычных звезд. Природа активности радиоизлучения квазаров пока точно не установлена, но с определенной уверенностью можно сказать следующее:

- 1) квазары — самые далекие объекты, наблюдаемые во Вселенной;
- 2) значительная часть квазаров — это ядра далеких галактик, которые находятся в состоянии очень высокой активности;
- 3) квазары — самые мощные из известных в природе источников видимого и инфракрасного излучений, т. е. это космические объекты с колоссальной яркостью излучения.

Изучение большого количества квазаров с помощью Космического телескопа Хаббла в 1995 г. привело ученых к выводу, что неда-



лекие квазары (с красным смещением  $z = 0,5$ ) связаны со взаимодействующими эллиптическими галактиками. Многие квазары располагаются в центрах подобных звездных систем. Это подтверждает предположение, что квазары являются массивными черными дырами, на которые происходит падение вещества. Исследуемые квазары излучают в оптическом, рентгеновском и радиодиапазонах.

Вместе с тем до сих пор нет единого мнения о том, какое место занимают квазары среди других космических объектов — это уникальные образования или какие-либо промежуточные звенья эволюционного развития космических систем.

### Вопросы и упражнения

1. Охарактеризуйте типы галактик по классификации Э. Хаббла. Чем эллиптические и неправильные галактики отличаются от спиральных? К какому типу относится наша Галактика? 2. Какие из упомянутых в тексте данного параграфа галактик доступны и недоступны наблюдению в наших географических широтах? 3. Каким образом определяют расстояния до галактик? Объясните метод красного смещения, который применяется для определения расстояний до галактик. 4. Сформулируйте и объясните закон Хаббла. 5. Как оценивают массы галактик? 6. В чем заключается «парадокс скрытой массы»? 7. Каковы особенности галактик с активным ядром? 8. Как, основываясь на наблюдениях, можно отличить звезды от квазаров? 9. Какими особенностями обладают квазары?

## § 30. РАСШИРЯЮЩАЯСЯ ВСЕЛЕННАЯ

**1. Пространственное распределение галактик.** Галактики, как и звезды, образуют группы и скопления. Известно около 7000 скоплений галактик. Около 40 ближайших галактик, из которых наиболее массивные — наша Галактика и туманность Андромеды, образуют систему галактик размерами в несколько сотен килопарсек, которая получила название **Местной группы галактик**.

Более крупные объединения галактик группируются в **системы галактик**. Они содержат до тысячи галактик, а их размеры достигают нескольких мегапарсек. Ближайшее крупное объединение галактик размером примерно 5 Мпк находится в направлении созвездия Девы на расстоянии около 20 Мпк (рис. 30.1). В его состав входят гигантские эллиптические и спиральные галактики, например радиогалактика Дева А, спиральная галактика «Сомбреро» (рис. 30.2) и др.

Самое удаленное скопление галактик, до которого определено расстояние (5200 Мпк), располагается в созвездии Волосы Вероники. Только с помощью самых крупных телескопов можно различить его ярчайшие галактики. Комплексы скоплений галактик размерами 30—60 Мпк, содержащие десятки скоплений, называются **сверхскоплениями галактик**. Скопление галактик в созвездии Девы является центральным сгущением в сверхскоплении галактик, в которое входит и наша Местная группа галактик. Общее число галактик нашего сверхскопления, исключая карликовые, около 2000, а размер — около 60 Мпк. Пока выявлено около 50 сверхскоплений. Скоплений более высокого ранга не обнаружено.

Сверхскопления и скопления галактик образуют в пространстве волокноподобные структуры, напоминающие собой ячейки или пчелиные соты (рис. 30.3). В «волоконнах» собраны скопления галактик, на пересечении «сот» — сверхскопления галактик. Размеры пустот «ячеек» составляют около 100—150 Мпк, толщина «волокон» — около 10 Мпк. Средняя плотность вещества в «волоконнах» — порядка  $10^{-24}$  кг/м<sup>3</sup>. Крупномасштабная структура Вселенной имеет ячеисто-сотый вид. Средняя плотность светящегося вещества в масштабах больше 300 Мпк равна  $3 \cdot 10^{-28}$  кг/м<sup>3</sup>. Это и есть среднее значение плотности светящегося вещества в наблюдаемой части Вселенной, т. е. в больших масштабах Вселенная в среднем однородна.

**2. Расширение Вселенной.** Совокупность наблюдаемых галактик всех типов и их скоплений, квазаров, межгалактической среды образует **Метагалактику**. Под Метагалактикой понимается вся видимая Вселенная.



Рис. 30.1. Скопление галактик в созвездии Девы



Рис. 30.2. Галактика «Сомбреро»



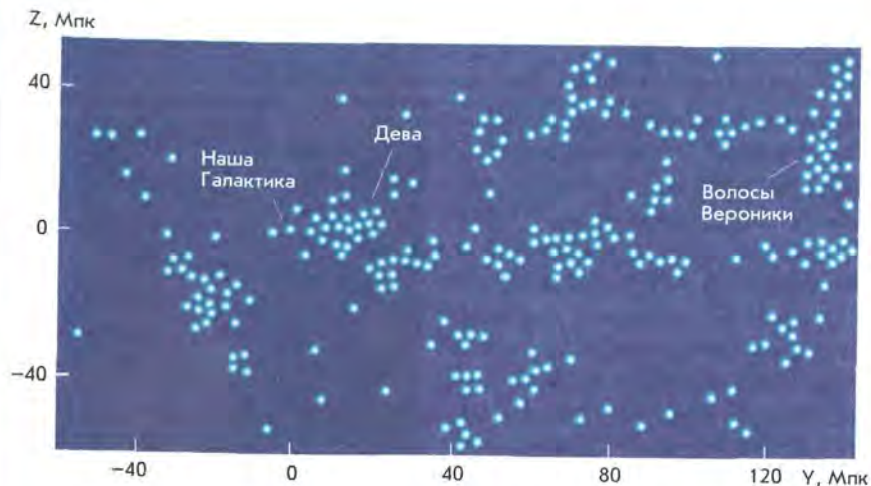


Рис. 30.3. Ячеистое распределение галактик в пространстве (в разрезе, проходящем через скопление в созвездии Волосы Вероники)

Одно из важнейших свойств Метагалактики — ее постоянное расширение, «разлет» скоплений галактик, о чем свидетельствует красное смещение в спектрах галактик. Метагалактика находится в состоянии приблизительно однородного и изотропного расширения. Однородность означает одинаковость всех свойств материи всюду в пространстве, а изотропия — одинаковость этих свойств в любом направлении. Однородность свидетельствует об отсутствии выделенных областей пространства, а изотропия — об отсутствии выделенного направления. Предположения об однородности и изотропии Вселенной называют **космологическим принципом**.

Гипотезу о расширении Вселенной на основе общей теории тяготения А. Эйнштейна и строгих расчетов выдвинул в 1922 г. русский ученый *Александр Александрович Фридман*. Расчеты показали, что Вселенная не может быть стационарной; в зависимости от средней плотности вещества во Вселенной она должна либо расширяться, либо сжиматься. Нестационарная модель Вселенной утвердилась в науке лишь после того, как Э. Хаббл обнаружил разбегание галактик (см. закон Хаббла в § 29).

Из расчетов Фридмана вытекали 3 возможных следствия: Вселенная и ее пространство расширяются с течением времени; Вселенная сжимается; во Вселенной чередуются через большие промежутки времени циклы сжатия и

расширения. Возникает вопрос: какой из трех вариантов реализуется в нашей Вселенной? Ответить на него предстоит наблюдательной астрономии, которая должна оценить современную среднюю плотность вещества во Вселенной и уточнить значение постоянной Хаббла. Почему важно уточнение этих двух постоянных величин?

При создании модели расширяющейся Вселенной было показано, что существует некоторое значение критической плотности  $\rho_{кр}$  Вселенной, определяемое по формуле:

$$\rho_{кр} = \frac{3H^2}{8\pi G},$$

где  $G$  — гравитационная постоянная,  $H$  — постоянная Хаббла. Расчеты по данной формуле дают, что  $\rho_{кр} = 10^{-26}$  кг/м<sup>3</sup>. По современным оценкам, плотность вещества Вселенной близка к критическому значению: она либо немного больше, либо немного меньше (не решен окончательно вопрос об учете межгалактического газа и «скрытой массы»). Если фактическая средняя плотность вещества во Вселенной больше критической, то в будущем расширение Вселенной должно смениться ее сжатием. Если средняя плотность вещества во Вселенной меньше критической, то расширение продолжится.

Постоянная Хаббла позволяет оценить время, в течение которого продолжается процесс расширения Вселенной. Определено, что оно не меньше 10 млрд и не более 19 млрд лет. Если эти данные, рассчитанные для Метагалактики, перенести на Вселенную, то получится, что ее средний возраст составляет около 15 млрд лет. Эта величина не противоречит оценкам возраста наиболее старых звезд.

В последние годы ученые все больше склоняются к мнению, что наблюдаемое «светящееся» вещество Вселенной представляет лишь небольшую часть всей существующей массы. Если это так, то судьбу Вселенной придется коренным образом пересмотреть в будущем.

Космическим рентгеновским телескопом «Чандра» в 2002 г. были получены новые доказательства существования во Вселенной темной материи. На сделанных с помощью телескопа рентгеновских снимках далекой галактики NGC 720 отчетливо видно окружающее ее облако горячего газа (рис. 30.4). Однако ориентация этого облака в пространстве не совпадает с ориентацией самой галактики, которая видна на сним-



Рис. 30.4. Рентгеновский снимок галактики NGC 720, сделанный телескопом «Чандра»



А. А. Фридман  
(1888—1925)



ке, выполненном в диапазоне видимого света. Галактика NGC 720 находится в 80 млн световых лет от Земли. Странная конфигурация облака объясняется тем, что оно окружено оболочкой из темной материи. В противном случае газовое облако должно было бы расширяться.

В соответствии с физической теорией гравитации, без темной материи галактики разваливались бы на части, а звезды вращались бы по совершенно другим орбитам. Темная материя состоит из медленно движущихся частиц, которые взаимодействуют как друг с другом, так и с «нормальной» материей посредством гравитационных воздействий.

**3. Модель горячей Вселенной.** В основе современной астрономической картины мира об эволюции Вселенной лежит **модель горячей Вселенной**. В соответствии с ней, на ранних стадиях расширения Вселенная характеризовалась не только высокой плотностью вещества, но и его высокой температурой. Гипотезу «горячей Вселенной» выдвинули *Ж. Леметр* и *Г. А. Гамов*. Она получила название теории Большого взрыва.

Согласно этой теории предполагается, что Вселенная возникла спонтанно в результате взрыва из состояния с очень высокой плотностью материи, обладающей огромной энергией. Это начальное состояние материи называется **сингулярностью** — точечный объем с бесконечной плотностью. Расширение Вселенной нельзя рассматривать как расширение сверхплотной вначале материи в окружающую пустоту, ибо окружающей пустоты не было. Вселенная — это все существующее. Вещество Вселенной с самого начала однородно заполняло все безграничное пространство. И хотя давление было огромным, оно не создавало расширяющей силы, так как везде было одинаковым. Причины начала расширения Вселенной до конца не известны. По мере ее расширения температура падала от очень высокой до очень низкой, что и обеспечило благоприятные условия для образования звезд и галактик.

Модель горячей Вселенной получила экспериментальное подтверждение после открытия в 1965 г. микроволнового фонового излучения. Было обнаружено, что из космического пространства непрерывно приходит радиоизлучение очень коротких длин волн. Оно исходит не от отдельных источников, а отовсюду, из любой точки неба. Это излучение заполняет пространство между звездами и галактиками и названо **реликтовым**, т. е. древним, остаточным. Согласно современным представлениям, реликтовое излучение возникло на раннем этапе расширения Вселенной, когда еще не существовало звезд и галактик. Важнейшим свойством этого излучения является то, что распределение энергии в его спектре похоже на распределение энергии в спектре абсолютно черного тела

с температурой 2,7 К. Максимум излучения приходится на длину волны 1,1 мм.

На основании моделей Фридмана была разработана поэтапная физическая картина эволюции вещества начиная с момента взрыва (рис. 30.5). Чуть более трех минут спустя формирование ранней Вселенной закончилось и начался процесс соединения протонов и нейтронов в составные ядра. Затем почти 500 тыс. лет шло медленное остывание. Когда температура Вселенной упала примерно до 3 тыс. градусов, ядра водорода и гелия уже могли захватывать свободные электроны и превращаться в нейтральные атомы. Через миллион лет после начала расширения наступила эра вещества, когда из горячей водородно-гелиевой плазмы с малой примесью других ядер стало развиваться многообразие нынешнего мира.

Неоднородности во Вселенной, из которых впоследствии возникли все структурные образования, зародились в виде ничтожных случайных отклонений (флуктуаций), а затем усилились в эпоху, когда ионизированный газ во Вселенной стал превращаться в нейтральный, т. е. когда излучение «оторвалось» от вещества и стало реликтовым.

После того как вещество стало прозрачно для электромагнитного излучения, в действие вступили гравитационные силы. Они стали преобладать над всеми другими взаимодействиями между массами практически нейтрального вещества, составлявшего основную часть материи Вселенной. Гравитационные силы создали галактики, скопления, звезды и планеты.

Какова судьба Вселенной? Существуют две теоретические модели будущего Вселенной — «закрытая» и «открытая».

«**Закрытая**» модель предполагает, что Вселенная может быть представлена как грандиозная закрытая система, испытывающая множество эволюционных циклов. Цикл расширения сменяется циклом последующего сжатия до возвращения в сингулярное состояние, затем новый взрыв и т. д. Полный цикл расширения и сжатия Вселенной



Рис. 30.5. Схема развития Вселенной от Большого взрыва до настоящего времени



составляет примерно 100 млрд лет. Каждый раз, возвращаясь к сингулярности, Вселенная теряет «память» о прошлом состоянии и может снова «родиться» с совершенно новым набором констант.

В «открытых» моделях Вселенной рассматриваются разные варианты ее «тепловой смерти». Предполагается, что уже через  $10^{14}$  лет многие звезды остынут, и это в последующем приведет к отрыву планет от своих звезд, а те, в свою очередь, начнут покидать галактики.

Инфляционная модель, разработанная А. Линде и др., гласит, что Вселенная состоит из множества изолированных миров — доменов. Эти области возникли подобно виноградной грозди из Большого взрыва. Каждая мини-вселенная может иметь свои неповторимые условия, которые будут неизвестны и непостижимы для соседней. Вся видимая нами Метагалактика представляет собой лишь один домен.

### Вопросы и упражнения

1. В чем состоит отличие Метагалактики от Вселенной? 2. Опишите пространственное распределение галактик во Вселенной. 3. Как объясняется красное смещение, и о чем оно свидетельствует? 4. В чем состоит сущность теории расширяющейся Вселенной? 5. К каким выводам о стационарности Вселенной пришел А. А. Фридман? 6. Что такое критическая плотность Вселенной? Какая критическая плотность взаимосвязана с расширением или сжатием Вселенной? 7. Опишите модель горячей Вселенной. 8. Что такое реликтовое излучение? Каково его происхождение? 9. Что понимается под «закрытыми» и «открытыми» моделями Вселенной?

## § 31. ЖИЗНЬ И РАЗУМ ВО ВСЕЛЕННОЙ

**1. Антропный принцип и проблемы существования разумных цивилизаций.** Сущность антропного принципа заключается в том, что появление жизни, разума является неотъемлемой частью Вселенной, естественным следствием ее эволюции. Наша Вселенная удивительно приспособлена к возникновению и развитию в ней жизни. Так, из бесконечного разнообразия начальных условий и значений физических постоянных, которые, вероятно, возникали в ранней Вселенной, реализовались только пригодные для существования разумной жизни.

Приведем несколько примеров.

1. Мы живем в пространстве трех измерений. Но только в таком пространстве возможны устойчивые планетные движения (гра-

витационное взаимодействие) и существование атомов (электромагнитное взаимодействие).

2. Если бы гравитационная постоянная была в несколько раз больше, то время жизни Солнца как устойчивого горячего плазменного шара измерялось бы несколькими десятками миллионов лет.

3. Если бы масса электрона была в 3 раза больше современной, то время жизни протона было бы малым. При взаимодействии протона с электроном протон распадался бы на нейтрон и нейтрино. Тогда звезды и галактики состояли бы из нейтронов, а более сложных форм вещества не существовало бы.

4. Если бы средняя плотность вещества во Вселенной была значительно меньше, то силы инерции (разлета) преобладали бы над силами тяготения. Поэтому не успели бы образоваться звезды и галактики.

И этот иллюстративный ряд можно продолжить. Следовательно, вывод один: наша Вселенная представляет собой связанное единое целое, согласованную систему, удивительно приспособленную к существованию жизни. Другие вселенные с иными физическими параметрами развивались бы, как отметил советский космолог А. Л. Зельманов, без свидетелей.

**2. Поиски жизни в Солнечной системе.** Интерес к иным формам жизни в Солнечной системе не давал покоя человечеству с давних пор. Когда-то люди думали, что обитаемы все планеты, даже Луна. Но чем больше исследователи узнавали о планетах, тем менее оптимистичными становились их прогнозы. В итоге главными «претендентами» остались только Венера и Марс. Однако изучение поверхности Венеры показало, что ничто живое не может выжить на этой планете. Тогда все надежды стали связывать с самой загадочной планетой — Марсом.

Главная цель полетов автоматических орбитально-посадочных станций «Викинг» к Марсу состояла в поиске жизни на этой планете. Было выполнено несколько сложных биологических экспериментов, и все они дали положительный результат. Однако ученые засомневались: в ходе анализа марсианского грунта не было обнаружено никаких следов органических соединений — продуктов жизнедеятельности микроорганизмов. Для сравнения: при таких же пробах антарктического грунта удалось найти значительное количество ископаемых органических соединений.

В 1976 г. станция «Викинг» передала на Землю фотографию загадочного объекта (из области Сидония), размером около полутора километров, который назвали «головой сфинкса» (рис. 31.1). Была выдвинута гипотеза, что это архитектурное сооружение древней цивилизации. Но исследователи Марса заявили: это природный





Рис. 31.1. Фотография «головы сфинкса» на Марсе, полученная в 1976 г.



Рис. 31.2. Фотография «головы сфинкса», полученная с лучшим разрешением в 2001 г.



Рис. 31.3. Метеорит ALH 84001

объект. Споры не утихали до 2001 г., до тех пор, пока космический аппарат «Марс Глобал Сурвейор» не передал на Землю более подробный снимок (рис. 31.2). На новом изображении хорошо видно, что «голова сфинкса» — природная структура.

В последующие годы посылаемые к Марсу посадочные аппараты не оснащались приборами, способными зафиксировать признаки жизни.

И тогда по иронии судьбы Марс как бы сам «напомнил о себе» и «заслал» на Землю метеорит, который сохранил что-то похожее на следы примитивной жизни. В 1996 г. весь мир облетело сообщение о том, что группа ученых Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА; США) нашла предположительное свидетельство того, что на Марсе могла существовать примитивная жизнь примерно 3,6 млрд лет назад.

В древнем марсианском камне, который упал на Землю, были обнаружены органические молекулы, некоторые минеральные особенности биологической активности и нечто напоминающее микроскопические бактерии. Однако американские ученые осторожно предполагали, что найденные доказательства могут свидетельствовать о прошлой жизни на Марсе, и призвали ученых всего мира присоединиться к исследованиям.

Возраст этого небольшого метеорита картофелеобразной формы приблизительно 4,5 млрд лет — в то время Марс только сформировался (рис. 31.3). Исследователи считают, что планета 3,6–4 млрд лет назад

была более теплая и «водяная». Примерно 16 млн лет назад какое-то космическое тело (огромная комета или астероид) врезалось в Марс и выбросило камни из поверхностного слоя в космос. Миллионы лет они летали в межпланетном пространстве, пока некоторые из них не упали на Землю.

Метеорит, обозначенный ALH 84001, был найден в 1984 г. в Антарктиде ежегодной экспедицией, занимающейся поисками метеоритов. Сделать это открытие позволило применение новейших технологических достижений. Экспедиционная группа использовала электронный микроскоп с высоким разрешением и лазерный масс-спектрометр. Два года сотни ученых всеми доступными методами и средствами исследовали части марсианского камня. Но абсолютно неопровержимых доказательств того, что он содержит свидетельства каких-либо форм жизни, найдено не было.

В то время как поиски жизни на Марсе зашли в тупик, космический аппарат «Галилео», изучающий Юпитер, передал сообщение, что на одном из больших спутников планеты — Европе — обнаружен океан теплой воды, находящийся под ледяным панцирем.

Поверхность Европы покрыта молодым водяным льдом, испещренным трещинами (рис. 31.4). Анализ полученных в разное время изображений показал, что лед несколько смещается (подобную картину можно наблюдать на земных полярных морях во время весеннего таяния льда). Исходя из размеров и геометрии ледяных трещин, ученые предположили, что на спутнике Европа тонкий ледяной слой закрывает воду или талый лед. При этом отдельные ледяные участки кажутся движущимися и могут быть сопоставлены с земными айсбергами. Правда, загадкой остаются причины, приводящие в движение ледяные блоки.

Необычная поверхностная геология Европы указывает на то, что лед чрезвычайно юный и на нем почти отсутствуют ударные метеоритные кратеры. Кроме того, встречаются особые зоны — хаосы. Они представляют собой беспорядочное накопление ледяных глыб, замороженных в более ровную поверхность. Складывается впечатление, будто бы лед

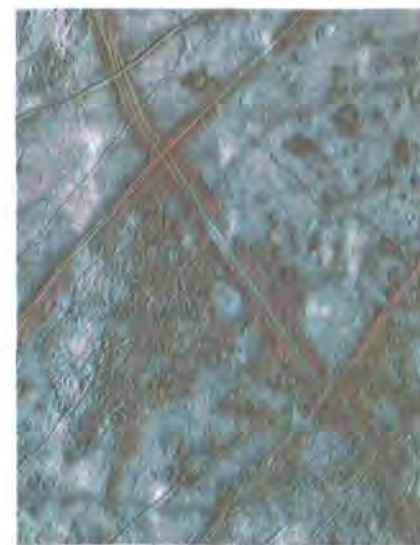


Рис. 31.4. Трещины на льду Европы. Фотография «Галилео»



был частично растоплен, затем снова замерз, и не успевшие растаять глыбы оказались окруженными более ровным молодым льдом. Причиной образования таких структур может служить прорыв гейзера.

Следовательно, если на Европе есть теплая вода и гидротермальные источники, то могут существовать и какие-либо формы жизни. Однако обнаружить их можно только приземлившись на поверхность планеты. Поэтому в НАСА появился проект отправки к Европе станции, которая бы пробурила лед и с помощью специального аппарата для химического и биологического анализов воды взяла пробы.

Поиски жизни в Солнечной системе и Вселенной продолжают-ся. НАСА объявило о «Программе астрономического поиска планетных систем и происхождения жизни». Этот проект предусматривает запуск на геоцентрическую орбиту огромного оптического интерферометра с разрешением в 100 раз выше, чем у Космического телескопа Хаббла. В 2003—2004 г. намечен запуск первого элемента интерферометра, состоящего из 4—5 космических телескопов. Программу планируется завершить до 2010 г. Ученые считают, что интерферометр будет способен не только обнаруживать планеты на расстояниях до 100 световых лет, но и определять их кислородные атмосферы.

Время от времени научная общественность возвращается к обсуждению проблемы жизни на Луне. В США сотрудники НАСА, специалисты крупных аэрокосмических компаний, геологи и фотоэксперты провели в 1998 г. конференцию, на которой обнародовали данные о следах разумной жизни на Луне. В подтверждение были представлены многочисленные снимки лунной поверхности, сделанные НАСА и советскими зондами за последние 30 лет. На этих фотографиях видны треугольные, прямоугольные, пятиугольные и другие руиноподобные структуры, правильно расположенные светящиеся объекты и другие аномалии на обратной стороне Луны.

Ученые сегодня не могут дать объяснения этим феноменам, но и не спешат признавать, что их создали представители разумной жизни. Может быть, некоторые аномалии вызваны дефектами пленки или ее обработки, а руиноподобные структуры — это сеть валов и разрывов, возникающих от горизонтальных напряжений в лунной коре.

**3. Поиски жизни в Галактике.** Современная наука определяет **внеземные цивилизации** как гипотетические общества разумных существ, которые могут возникнуть и существовать вне Земли.

Для оценки числа внеземных цивилизаций в Галактике американский радиоастроном *Фрэнсис Дрейк* предложил следующую формулу:

$$N = R \cdot f \cdot n \cdot k \cdot d \cdot q \cdot L,$$

где  $N$  — число внеземных цивилизаций в Галактике;  $R$  — скорость образования звезд в Галактике, усредненная по всему времени ее существования (около 10 звезд в год);  $f$  — доля звезд, обладающих планетными системами;  $n$  — среднее число планет, входящих в планетные системы и экологически пригодных для жизни;  $k$  — доля планет, на которых действительно возникла жизнь;  $d$  — доля планет, на которых после возникновения жизни развились ее разумные формы;  $q$  — доля планет, на которых разумная жизнь достигла фазы, обеспечивающей возможность связи с другими мирами, цивилизациями;  $L$  — средняя продолжительность существования таких внеземных (космических, технических) цивилизаций.

В формуле Дрейка все величины, кроме первой, имеют очень неконкретный характер и определяются на основе экспертных оценок ученых. Поэтому создается значительная неопределенность в оценке общей величины  $N$ . Одни подсчеты показывают, что сейчас всего лишь несколько геоподобных цивилизаций Галактики (в которой  $10^{11}$  звезд) готовы к контакту с нами. Согласно другим, более оптимистическим, — таких цивилизаций может быть значительно больше. Как один из аргументов в пользу того, что внеземные цивилизации — явление весьма редкое, выдвигается отсутствие видимых проявлений их деятельности.

Контакты с внеземными цивилизациями могут быть нескольких типов: непосредственные контакты с взаимным или односторонним посещением; контакты по каналам связи или обмен информацией через посылки сигналов в каком-либо диапазоне электромагнитных волн; контакты смешанного типа — отправка к внеземной цивилизации автоматических зондов, которые передают информацию по каналам связи.

Основная трудность непосредственных контактов связана с длительностью полета к другим цивилизациям. Время полета может быть сравнимо со временем жизни самой цивилизации. Например, чтобы достичь далеких звезд, потребуются тысячелетия, и ценность доставленной информации потеряет смысл.

Контактам с внеземными цивилизациями должно предшествовать установление той или иной формы связи с ними. Сюда относится поиск сигналов этих цивилизаций, следов пребывания на Земле и следов астроинженерной деятельности, т. е. направленной на преобразование окружающего космического пространства (создание искусственных спутников, перехват энергии звезд и др.).

Первые работы по поиску сигналов внеземных цивилизаций провел в 1960 г. Ф. Дрейк (США). Он исследовал радиоизлучение ближай-



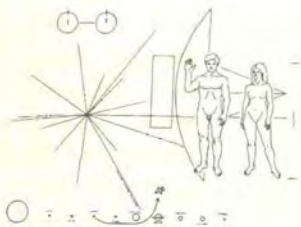


Рис. 31.5. Табличка с посланием, адресованным представителям внеземных цивилизаций. Табличка помещена на борт «Пионера-10»

ших звезд (τ Кита и ε Эридана) на волне 21 см. Искусственные сигналы обнаружить не удалось, но эра поисков сигналов внеземных цивилизаций была открыта. В настоящее время космическое пространство прослушивается одновременно на многих частотах. Принятые радиотелескопом сигналы обрабатывают компьютеры. Например, на антенне в Аресибо работает приемник радиосигналов на 4 млн каналов и строится приемник на 167 млн каналов. Уже замечены сотни необычных сигналов, которые предстоит изучить более детально.

Параллельно ведется работа по сообщению внеземным цивилизациям информации о нашей, земной цивилизации. В 1974 г. с радиоастрономической обсерватории в Аресибо в сторону шарового скопления М31 (созвездие Геркулеса), находящегося от Земли на расстоянии 24 тыс. световых лет, было направлено послание, содержащее закодированный текст о жизни и цивилизации на Земле. Информационные сообщения (пластинки с нанесенными рисунками, видеодиски с записями изображений, звуков и человеческой речи на разных языках) не раз помещались на космические аппараты, траектории которых выходили за пределы Солнечной системы (рис. 31.5).

В последнее время среди ученых и философов все больше утверждается мнение, что человечество одиноко если не во всей Вселенной, то во всяком случае в нашей Галактике. Из этого вытекает важнейший вывод о значении, ценности и уникальности нашей цивилизации. Человечество, таким образом, в огромной степени ответственно не только за нашу планету, но и за Вселенную в целом.

### Вопросы и упражнения

1. В чем заключается сущность антропного принципа?
2. На каких планетах Солнечной системы ученые допускают существование жизни?
3. Каким образом можно оценить число внеземных цивилизаций в нашей Галактике?
4. Почему формула Ф. Дрейка дает значительную неопределенность в оценке количества цивилизаций в Галактике, готовых к контакту с нами?
5. Охарактеризуйте типы контактов с внеземными цивилизациями. Какие трудности необходимо преодолеть при реализации каждого типа?
6. Каким образом человечество пытается установить контакты с внеземными цивилизациями?

## Приложения

### ПРИЛОЖЕНИЕ 1

#### ОСНОВНЫЕ АСТРОНОМИЧЕСКИЕ СИМВОЛЫ

ЗНАКИ ЗОДИАКА		ПЛАНЕТЫ	
♈	Овен, а также точка весеннего равноденствия	☉	Солнце
♉	Телец	☾	Луна
♊	Близнецы	☿	Меркурий
♋	Рак	♀	Венера
♌	Лев	♁	Земля
♍	Дева	♂	Марс
♎	Весы, а также точка осеннего равноденствия	♃	Юпитер
♏	Скорпион	♄	Сатурн
♐	Стрелец	♅	Уран
♑	Козерог	♆	Нептун
♒	Водолей	♇	Плутон
♓	Рыбы		

#### ДРУГИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

♊	Восходящий узел лунной орбиты	♋	Нисходящий узел лунной орбиты
---	-------------------------------	---	-------------------------------

#### ГРЕЧЕСКИЙ АЛФАВИТ

НАЧЕРТАНИЕ БУКВЫ	НАЗВАНИЕ БУКВЫ	НАЧЕРТАНИЕ БУКВЫ	НАЗВАНИЕ БУКВЫ	НАЧЕРТАНИЕ БУКВЫ	НАЗВАНИЕ БУКВЫ	НАЧЕРТАНИЕ БУКВЫ	НАЗВАНИЕ БУКВЫ
α	áльфа	η	эта	ν	ни	τ	та́у
β	бéта	θ	тéта	ξ	кси	υ	ипсилóн
γ	гáμμα	ι	йóта	ο	омикрón	φ	фи
δ	дéльта	κ	кáппа	π	пи	χ	хи
ε	эпсилóн	λ	лáмбда	ρ	ро	ψ	пси
ζ	дзéта	μ	ми	σ	сiгма	ω	омéга



## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

## ХРОНОЛОГИЯ ВАЖНЕЙШИХ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ОТКРЫТИЙ И СОБЫТИЙ

ДАТА	ОТКРЫТИЯ (КЕМ И ГДЕ СДЕЛАНЫ) И СОБЫТИЯ
4000 г. до н. э.	Начало астрономической деятельности шумеров (Месопотамия), египтян, майя
1100 г. до н. э.	Измерение наклона эклиптики к экватору (Китай)
240 г. до н. э.	Измерение размеров земного шара (Эратосфен; Александрия)
150—123 гг. до н. э.	Первая теория движения Солнца и Луны, составление звездного каталога с разделением звезд на 6 классов по блеску (Гиппарх; Греция)
46 г. до н. э.	Введение в Римской империи юлианского солнечного календаря с високосными годами (Созиген; Александрия)
140 г. н. э.	Создание геоцентрической системы мира (Птолемей; Александрия)
1543 г.	Опубликовано сочинение Н. Коперника «Об обращениях небесных сфер» с изложением гелиоцентрической системы мира
1609—1610 гг.	Начало телескопической астрономии (Г. Галилей; Италия)
1609—1619 гг.	Открыты законы движения планет (И. Кеплер; Германия)
1668 г.	Изготовлен первый зеркальный телескоп (И. Ньютон; Англия)
1675 г.	Впервые измерена скорость света на основе наблюдений спутников Юпитера (О. Ремер; Франция)
1687 г.	Опубликована книга «Математические начала натуральной философии» с обоснованием законов движения и закона всемирного тяготения (И. Ньютон; Англия)
1705 г.	Открыта периодичность возвращения комет (Э. Галлей; Англия)
1761 г.	Открыта атмосфера на Венере (М. В. Ломоносов; Россия)
1781 г.	Открыта планета Уран (У. Гершель; Англия)
1794 г.	Установлено космическое происхождение метеоритов (Э. Хладни; Германия)
1801 г.	Открыта первая малая планета-астероид Церера (Д. Пицци; Италия)
1814—1817 гг.	Описаны линии поглощения в спектре Солнца и ряда ярких звезд (И. Фраунгофер; Германия)
1837—1839 гг.	Впервые измерено расстояние до звезд (В. Струве, Россия; Ф. Бессель, Германия; Т. Гендерсон, Англия)

## Окончание прил. 2

ДАТА	ОТКРЫТИЯ (КЕМ И ГДЕ СДЕЛАНЫ) И СОБЫТИЯ
1842 г.	Открытие эффекта Доплера (К. Доплер; Австрия)
1846 г.	Открыта планета Нептун (У. Леверье, Франция; И. Галле, Германия)
1859—1862 гг.	Открыт спектральный анализ (Р. Бунзен, Р. Кирхгоф; Германия)
1877 г.	Создана теория кометных форм (Ф. А. Бредихин; Россия)
1895 г.	Впервые экспериментально определена температура Солнца (В. К. Цераский; Россия)
1905—1913 гг.	Открыта закономерность в мире звезд: диаграмма «спектр — светимость» (Э. Герцшпрунг, Дания; Г. Рессел, США)
1916 г.	Создана общая теория относительности (А. Эйнштейн; Германия)
1916—1918 гг.	Создана теория внутреннего строения звезд (А. Эддингтон; Англия)
1922—1924 гг.	Теоретически обоснована нестационарность Вселенной (А. А. Фридман; Россия)
1929 г.	Открыто красное смещение в спектрах галактик (Э. Хаббл; США)
1930 г.	Открыта планета Плутон (К. Томбо; США)
1931 г.	Открыто космическое радиоизлучение (К. Янский; США)
1937 г.	Разработана теория термоядерных реакций как источника внутризвездной энергии (Г. Бете; США)
1944 г.	Опубликована космогоническая теория о происхождении Земли и планет (О. Ю. Шмидт; Россия)
1951 г.	Обнаружено радиоизлучение нейтрального водорода в межзвездном пространстве на волне 21 см (США, Нидерланды)
1960—1963 гг.	Открыты квазары (М. Шмидт; США)
1965 г.	Открыто реликтовое радиоизлучение с температурой 2,7 К (А. Пензиас, Р. Вильсон; США)
1967 г.	Открыты пульсары — нейтронные вращающиеся звезды (Д. Белл, А. Хьюиш; Англия), гипотезу о существовании которых выдвинул в 1930-х гг. Л. Д. Ландау (СССР)
1974 г.	Открыты рентгеновские пульсары (США)
1987 г.	Впервые обнаружены нейтрино от сверхновой звезды
1997 г.	Обнаружены коричневые карлики — звезды, имеющие малую массу (около 7% солнечной массы) и температуру атмосферы, не превышающую 2000 К



## 1. ПОДВИЖНАЯ КАРТА ЗВЕЗДНОГО НЕБА

### Описание карты

1. Подвижная карта звездного неба (см. вкладыш к учебнику) позволяет определять вид звездного неба в любой момент суток произвольного дня года, а также решать ряд практических задач на условия видимости небесных светил. Подвижная карта состоит из двух деталей: собственно карты и накладного круга.

2. На карту нанесены главнейшие созвездия и Млечный Путь. В центре карты находится северный полюс мира, рядом с ним — Полярная звезда. От северного полюса мира расходятся линии, обозначающие круги склонения. У основания каждого круга склонения проставлено число, обозначающее прямое восхождение ( $\alpha$ ), выраженное в часах.

3. Концентрические окружности на карте изображают небесные параллели, а числа у точек их пересечения с нулевым ( $0^\circ$ ) и 12-часовым кругами склонения показывают угловое расстояние небесных параллелей от небесного экватора, т. е. их склонение ( $\delta$ ), выраженное в градусах.

4. Третья по счету от полюса мира окружность (с обозначением  $0^\circ$ ) представляет собой небесный экватор, внутри которого расположена северная небесная полусфера, а вне его — пояс южной небесной полусферы до склонения  $-45^\circ$ .

5. Эклиптика на карте изображена эксцентрическим овалом, пересекающимся с небесным экватором в точках весеннего ( $\Upsilon$ ) и осеннего ( $\Omega$ ) равноденствия.

6. На обрете карты нанесены названия месяцев года и лимб дат.

7. По обрезу накладного круга нанесены часы суток по среднему солнечному времени. Овалы, вычерченные внутри круга, относятся к географической широте местности.

### Подготовка карты к работе

1. Наклейте карту и накладной круг на тонкий картон или плотную бумагу.
2. Аккуратно обрежьте листы с наклеенными картой и накладным кругом по внешним контурам. Получатся 2 диска.
3. В накладном круге вырежьте отверстие по одной из замкнутых линий с определенной широтой места, в котором предполагается пользоваться картой ( $\varphi = 40, 45, 50, \dots 65^\circ$ ). Например, с небольшой ошибкой для Витебска это будет широта  $55^\circ$ , а для Бреста и Гомеля —  $50^\circ$ .
4. Между точками Ю и С накладного круга натяните тонкую цветную нить, которая будет символизировать меридиан.
5. Накладной круг с проделанным отверстием concentрично наложите на карту. Подвижная карта звездного неба готова к работе.

### Работа с картой

1. Поворачивайте накладной круг на карте так, чтобы расположить нужный вам час (часы отмечены по краю накладного круга) напротив соответствующей даты (месяцы и числа отмечены по краю звездной карты).

2. В вырезе накладного круга будут видны те созвездия и звезды, которые в данный момент оказываются над горизонтом, и притом именно в указанных картой направлениях и положениях относительно горизонта.

3. На самом контуре отверстия между его точками Ю, В и С расположатся восходящие звезды, а между точками Ю, З и С — заходящие звезды. Звезды, закрытые накладным кругом, в этот момент не видны, так как находятся под горизонтом.

4. Соответствие показаний карты с наблюдаемой картиной звездного неба будет полным, если карту разместить над собой горизонтально, обратив ее край с надписью «север» к северной точке горизонта. Если же карта лежит на столе, надо помнить, что она отражает расположение звезд, находящихся вверху, и мысленно переносить их изображения на небо соответственно направлениям на стороны горизонта.

5. Следует помнить, что созвездия на карте изображены в несколько искаженном, растянутом виде, потому что небесную сферу, как и земной шар, нельзя перенести на плоскость без искажений.

## 2. КАРТА ЭКВАТОРИАЛЬНОГО ПОЯСА ЗВЕЗДНОГО НЕБА

Эта карта более детально изображает те области звездного неба, которые находятся вблизи небесного экватора (его положение отмечено по краям  $0^\circ$ ) и через которые пролегал видимый годичный путь Солнца по небу. На карте он показан синусоидальной линией, пересекающей небесный экватор в точках весеннего и осеннего равноденствия. Условные обозначения даются отдельно под картой.



## ПРИЛОЖЕНИЕ 4

## ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ КООРДИНАТЫ ГОРОДОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГОРОД	ШИРОТА (с. ш.)	ДОЛГОТА (в. д.)	ЧАСОВОЙ ПОЯС
Минск	53° 54'	27° 33' 1" 50,3 <sup>м</sup>	2
Барановичи	53° 09'	26° 02' 1" 44,1 <sup>м</sup>	2
Бобруйск	53° 08'	29° 15' 1" 57,0 <sup>м</sup>	2
Борисов	54° 14'	28° 31' 1" 54,1 <sup>м</sup>	2
Брест	52° 06'	23° 42' 1" 34,8 <sup>м</sup>	2
Витебск	55° 12'	30° 11' 2" 00,8 <sup>м</sup>	2
Гомель	52° 25'	31° 00' 2" 04,1 <sup>м</sup>	2
Гродно	53° 41'	23° 50' 1" 35,3 <sup>м</sup>	2
Лида	53° 53'	25° 17' 1" 41,1 <sup>м</sup>	2
Могилев	53° 54'	30° 19' 2" 01,3 <sup>м</sup>	2
Мозырь	52° 08'	29° 16' 1" 57,1 <sup>м</sup>	2
Молодечно	54° 18'	26° 50' 1" 47,3 <sup>м</sup>	2
Новополоцк	55° 32'	28° 37' 1" 54,5 <sup>м</sup>	2
Орша	54° 30'	30° 26' 2" 01,7 <sup>м</sup>	2
Пинск	52° 07'	26° 07' 1" 44,5 <sup>м</sup>	2
Полоцк	55° 29'	28° 47' 1" 55,1 <sup>м</sup>	2
Речица	52° 21'	30° 24' 2" 01,6 <sup>м</sup>	2
Светлогорск	52° 39'	29° 43' 1" 58,9 <sup>м</sup>	2
Слуцк	53° 01'	27° 33' 1" 50,2 <sup>м</sup>	2
Солигорск	52° 47'	27° 33' 1" 50,2 <sup>м</sup>	2

## ПРИЛОЖЕНИЕ 5

## БЛИЖАЙШИЕ ПОЛНЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ И ЛУННЫЕ ЗАТМЕНИЯ

## 1. СОЛНЕЧНЫЕ ЗАТМЕНИЯ

ДАТА	ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ	ВИДИМОСТЬ
4 дек. 2002 г.	4 мин 15 с	Южная Африка, Индийский океан, Австралия
23 нояб. 2003 г.	1 мин 57 с	Антарктида
8 апр. 2005 г.	0 мин 46 с	Тихий океан, Южная Америка
29 марта 2006 г.	4 мин 11 с	Атлантический океан, Африка, Северный Кавказ, Казахстан, Юго-Западная Сибирь
1 авг. 2008 г.	2 мин 30 с	Северный Ледовитый океан, Западная Сибирь, Китай
22 июля 2009 г.	6 мин 44 с	Индия, Китай, Тихий океан
11 июля 2010 г.	5 мин 25 с	Тихий океан, юг Южной Америки
13 нояб. 2012 г.	4 мин 06 с	Север Австралии, Тихий океан
3 нояб. 2013 г.	1 мин 44 с	Атлантический океан, Центральная Африка
20 марта 2015 г.	2 мин 50 с	Атлантический океан, Шпицберген, Северный Ледовитый океан
9 марта 2016 г.	4 мин 14 с	Индонезия, Тихий океан
21 авг. 2017 г.	2 мин 24 с	Тихий океан, Северная Америка, Атлантический океан
2 июля 2019 г.	4 мин 37 с	Тихий океан, Южная Америка
14 дек. 2020 г.	2 мин 14 с	Тихий океан, Южная Америка, Атлантический океан
4 дек. 2021 г.	1 мин 54 с	Антарктида
20 апр. 2023 г.	1 мин 20 с	Индийский океан, Индонезия, Тихий океан
8 апр. 2024 г.	4 мин 32 с	Тихий океан, Северная Америка, Атлантический океан
12 авг. 2026 г.	2 мин 21 с	Гренландия, Атлантический океан, Испания
2 авг. 2027 г.	6 мин 27 с	Атлантический океан, Гибралтар, север Африки, Аравия, Индийский океан
22 июля 2028 г.	5 мин 14 с	Индийский океан, Австралия, Новая Зеландия
25 нояб. 2030 г.	3 мин 47 с	Юг Африки, Индийский океан, Австралия



## 2. ЛУННЫЕ ЗАТМЕНИЯ

ДАТА	ВСЕМИРНОЕ ВРЕМЯ		ВИДИМОСТЬ
	ВСТУПЛЕНИЯ ЛУНЫ В ПОЛУТЕНЬ	ВЫХОДА ЛУНЫ ИЗ ПОЛУТЕНИ	
16 мая 2003 г.	01 ч 05 мин 21 с	06 ч 14 мин 50 с	В западных районах России и Беларуси видны только самые начальные фазы затмения
8–9 нояб. 2003 г.	22 ч 15 мин 08 с	04 ч 21 мин 53 с	Начальные фазы видны на всей территории России, кроме Восточной Сибири. Заключительные фазы можно наблюдать в западных и центральных районах России и Беларуси
4 мая 2004 г.	17 ч 50 мин 47 с	23 ч 09 мин 27 с	Начальные фазы видны на всей территории России и Беларуси, кроме Крайнего Севера и Северо-Восточной Сибири. Заключительные фазы можно наблюдать в европейской части России и в Беларуси
28 окт. 2004 г.	00 ч 05 мин 32 с	06 ч 02 мин 38 с	Начальные фазы видны в европейской части России, в Беларуси и в Западной Сибири. Заключительные фазы можно наблюдать на Чукотском полуострове
3–4 марта 2007 г.	20 ч 16 мин 21 с	02 ч 25 мин 17 с	Начальные фазы видны на всей территории России и Беларуси, кроме северо-востока. Заключительные фазы можно наблюдать в европейской части России и Беларуси
28 авг. 2007 г.	07 ч 52 мин 05 с	13 ч 22 мин 20 с	Начальные фазы видны только на Чукотке. Заключительные фазы можно наблюдать в Восточной Сибири
21 февр. 2008 г.	00 ч 34 мин 51 с	06 ч 17 мин 06 с	Начальные фазы видны в европейской части России, Беларуси и Западной Сибири. Заключительные фазы можно наблюдать на Чукотском полуострове
21 дек. 2010 г.	05 ч 27 мин 37 с	11 ч 05 мин 56 с	Начальные фазы видны на севере России. Заключительные фазы можно наблюдать по всей Сибири и на севере европейской части России
15 июня 2011 г.	17 ч 22 мин 57 с	23 ч 02 мин 05 с	Начальные фазы видны на всей территории России, кроме запада, севера и северо-востока. Заключительные фазы можно наблюдать в европейской части России (кроме севера и северо-востока) и Беларуси
10 дек. 2011 г.	11 ч 31 мин 42 с	17 ч 31 мин 34 с	Начальные фазы видны на севере и востоке европейской части России и по всей Сибири. Заключительные фазы можно наблюдать со всей территории России и Беларуси

## ВАЖНЕЙШИЕ ЭТАПЫ В ОСВОЕНИИ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

ДАТА	СОБЫТИЕ
4 окт. 1957 г.	Запуск первого искусственного спутника Земли (СССР)
13 сент. 1959 г.	Впервые КА <sup>1</sup> «Луна-2» достиг поверхности Луны (СССР)
7 окт. 1959 г.	Впервые переданы на Землю снимки обратной стороны Луны КА «Луна-3»
1960 г.	Создана первая карта обратной стороны Луны и первый в мире глобус Луны под руководством Ю. Н. Липского (СССР)
12 апр. 1961 г.	Первый полет человека в космическое пространство (Ю. А. Гагарин, КК <sup>2</sup> «Восток»; СССР)
18 марта 1965 г.	Первый выход человека в открытый космос (А. А. Леонов, КК «Восход-2»; СССР)
15 июля 1965 г.	Получены первые фотографии Марса с близкого расстояния (АМС <sup>3</sup> «Маринер-4»; США)
3 февр. 1966 г.	Первая мягкая посадка на поверхность Луны («Луна-9»; СССР)
18 окт. 1967 г.	Первое исследование атмосферы Венеры со спускаемого аппарата «Венера-4» (СССР)
21–24 дек. 1968 г.	Первый облет Луны человеком (Ф. Борман, Дж. Ловелл, А. Андерс, КК «Аполлон-8»; США)
21 июля 1969 г.	Первая посадка человека на Луну с выходом на лунную поверхность (Н. Армстронг, Э. Олдрин, КК «Аполлон-11»; США)
15 дек. 1970 г.	Первая мягкая посадка на поверхность Венеры (АМС «Венера-7»; СССР)
2 дек. 1971 г.	Первая мягкая посадка на поверхность Марса (АМС «Марс-3»; СССР)
11 дек. 1973 г.	Получены первые фотографии Юпитера и его спутников с близкого расстояния (АМС «Пионер-10»; США)
16–18 дек. 1973 г.	Первый белорусский космонавт П. И. Климук совершил полет на КК «Союз-13» (всего выполнил 3 полета общей продолжительностью 78 сут 18 ч 18 мин 42 с; СССР)



## Окончание прил. 6

ДАТА	СОБЫТИЕ
29–30 марта 1974 г.	Первые исследования Меркурия с пролетной траектории (КА «Маринер-10»; США)
20 июля и 4 сент. 1976 г.	Первые эксперименты по поиску жизни на Марсе (АМС «Викинг-1», «Викинг-2»; США)
9–11 окт. 1977 г.	Белорусский космонавт В. В. Коваленок совершил полет на КК «Союз-25» (всего выполнил 3 полета общей продолжительностью 216 сут 9 ч 9 мин 40 с; СССР)
1 сент. 1979 г.	Получены первые фотографии Сатурна и его спутников с близкого расстояния (АМС «Пионер-11»; США)
6–9 марта 1986 г.	Получены первые фотографии ядра кометы Галлея («Вега-1» и «Вега-2»; СССР)
Янв. 1986 г.	Получены первые фотографии Урана и его спутников с пролетной траектории («Вояджер-2»; США)
Авг. 1989 г.	Получены первые фотографии Нептуна и спутников с близкого расстояния (АМС «Вояджер-2»; США)
24 апр. 1990 г.	Выведен на орбиту искусственный спутник Земли с оптическим Космическим телескопом Хаббла (КТХ; США) диаметром 2,4 м
29 окт. 1991 г.	Получены первые фотографии астероида Гаспра с близкого расстояния (АМС «Галилео»; США)
12 февр. 2000 г.	Первая посадка космического аппарата «NEAR» на астероид Эрос (США)

Примечание: <sup>1</sup> КА — космический аппарат.

<sup>2</sup> КК — космический корабль.

<sup>3</sup> АМС — автоматическая межпланетная станция.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 7

## ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАНЕТ

ПАРАМЕТРЫ	ПЛАНЕТЫ								
	МЕРКУРИЙ	ВЕНЕРА	ЗЕМЛЯ	МАРС	ЮПИТЕР	САТУРН	УРАН	НЕПТУН	ПЛУТОН
Среднее расстояние до Солнца, а. е.	0,387	0,723	1,000	1,524	5,203	9,54	19,18	30,1	39,4
Сидерический период обращения, сут	88,0	224,7	365,26	687,0	11,86	29,46	84,0	164,8	247,7
Синодический период обращения, сут	115,9	583,9	—	779,9	398,9	378,1	369,7	367,5	366,7
Эксцентриситет орбиты	0,207	0,0067	0,0167	0,0934	0,0484	0,0557	0,0471	0,0087	0,247
Наклонение орбиты к эклиптике	7°01'	3°24'	—	1°51'	1°18'	2°29'	0°46'	1°46'	17°08'

## ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАНЕТ

ПАРАМЕТРЫ	ПЛАНЕТЫ								
	МЕРКУРИЙ	ВЕНЕРА	ЗЕМЛЯ	МАРС	ЮПИТЕР	САТУРН	УРАН	НЕПТУН	ПЛУТОН
Масса (по сравнению с массой Земли)	0,055	0,816	1,000	0,107	318	95,1	14,6	17,2	0,0024
Радиус, км	2439	6051	6378	3393	71 400	60 400	24 300	25 050	1151
Средняя плотность, $\times 10^3$ кг/м <sup>3</sup>	5,4	5,2	5,5	3,9	1,3	0,7	1,6	1,7	2,0
Период вращения, сут	58,8	243	23 ч 56 мин	24 ч 37 мин	9 ч 50 мин	10 ч 14 мин	17 ч 14 мин	16 ч 7 мин	6,4 сут
Наклон экватора к плоскости	7°	3°24'	23°26'	25°12'	3°07'	26°45'	82°	29°	118°
Число известных спутников	—	—	1	2	28	30	31	8	1



## ПРИЛОЖЕНИЕ 8

## ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АТМОСФЕР ПЛАНЕТ ЗЕМНОЙ ГРУППЫ, %

НАЗВАНИЕ ГАЗА	ПЛАНЕТА		
	ВЕНЕРА	ЗЕМЛЯ	МАРС
CO <sub>2</sub>	96,5	0,03	95
N <sub>2</sub>	3,5	78	2,5
O <sub>2</sub>	10 <sup>-3</sup>	25	0,1
Ar	1,5·10 <sup>-2</sup>	0,9	1,5
Средняя молекулярная масса, г/моль	43,5	28,8	43,5

## ПРИЛОЖЕНИЕ 9

## СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ О ЗЕМЛЕ

ПАРАМЕТР	ВЕЛИЧИНА
Экваториальный радиус, км	6378,140
Полярный радиус, км	6356,755
Средний радиус, км	6371,004
Поверхность Земли, км <sup>2</sup>	5,0949 · 10 <sup>8</sup>
Поверхность суши, %	29,2
Водная поверхность, %	70,8
Масса Земли, кг	5,973 · 10 <sup>24</sup>
Масса воды во всех ее формах, кг	1,43 · 10 <sup>21</sup>
Масса атмосферы Земли, кг	5,158 · 10 <sup>18</sup>
Линейная скорость точки экватора, м/с	465,12
Средняя скорость движения Земли по орбите, км/с	29,765
Ускорение силы тяжести на Земле (на широте 45°), м/с <sup>2</sup>	9,806



## ПРИЛОЖЕНИЕ 10

## СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ О ЛУНЕ

ПАРАМЕТР	ВЕЛИЧИНА
Минимальное расстояние от Земли, км	356 410
Максимальное расстояние от Земли, км	406 740
Среднее расстояние от Земли, км	384 400
Эксцентриситет орбиты	0,0549
Наклонение плоскости орбиты к эклиптике	5°08'43"
Период обращения по орбите, сут	27,32
Периодичность смены фаз Луны, сут	29,53
Средний угловой радиус Луны	15'33"
Масса, кг	$7,35 \cdot 10^{22}$
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	3340
Ускорение силы тяжести, м/с <sup>2</sup>	1,62
Вторая космическая скорость, км/с	2,38
Максимальная температура днем, °С	+130
Минимальная температура ночью, °С	-170
Освещенность от полной Луны на земной поверхности, лк	0,25
Освещенность от полной Земли на лунной поверхности, лк	16
Средняя отражательная способность ото всей лунной поверхности, %	12,44
Отражательная способность материковых областей, %	13,44
Отражательная способность морских областей, %	7,30
Общая площадь поверхности Луны, км <sup>2</sup>	$3,8 \cdot 10^7$
Площадь морей на всей поверхности, %	16,9
Площадь морей на видимой стороне, %	31,2
Площадь поверхности, которую можно наблюдать вследствие либрации, %	59

## ПРИЛОЖЕНИЕ 11

## ОРБИТАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСТЕРОИДОВ, НАЗВАНИЯ КОТОРЫХ СВЯЗАНЫ С РЕСПУБЛИКОЙ БЕЛАРУСЬ

НОМЕР АСТЕРОИДА	НАЗВАНИЕ	ЗВЕЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА, m	БОЛЬШАЯ ПОЛУОСЬ ОРБИТЫ, а. е.	ЭКСЦЕНТРИСИТЕТ ОРБИТЫ	НАКЛОН ОРБИТЫ, градусы	ДИАМЕТР, км	ПРОИСХОЖДЕНИЕ НАЗВАНИЯ
807	Цераския	10,6	3,019	0,060	11,3	27	Назван в честь астронома В. К. Цераского, родившегося в г. Слуцке Минской обл.
1167	Дубяго	9,9	3,404	0,077	6,3	17	Назван в честь астрономов Д. И. Дубяго и А. Д. Дубяго (отец и сын). Дмитрий Иванович родился в с. Соино Мстиславского уезда (ныне Могилевская обл.)
1734	Жонголович	11,4	2,780	0,231	8,34	17	Назван в честь астронома И. Д. Жонголовича, родившегося в г. Гродно
1861	Каменьски	11,8	3,017	0,070	10,5		Назван в честь профессора астрономии Варшавского университета М. Каменьского, родившегося в Могилевской губернии
1959	Карбышев	12,7	2,315	0,134	6,2		Назван в честь генерал-лейтенанта инженерных войск Д. М. Карбышева. Под его руководством была реконструирована Брестская крепость. Начало войны встретил в г. Гродно. Погиб в фашистском плену в 1945 г.
2108	Отто Шмидт	11,5	2,436	0,006	10,8	16	Назван в честь известного ученого О. Ю. Шмидта, родившегося в г. Могилеве
2132	Жуков	11,2	2,780	0,082	2,1		Назван в честь полководца Г. К. Жукова, координировавшего взаимодействие фронтов при освобождении Белоруссии от фашистских захватчиков в 1944 г.
2170	Белоруссия	13,5	2,405	0,181	2,08		Назван в честь Белорусской ССР. Открыт на Крымской астрофизической обсерватории в 1971 г.
2251	Тихов	11,6	2,710	0,149	7,44	16	Назван в честь астронома Г. А. Тихова, родившегося в местечке Смолевичи под Минском
2296	Хатынь	11,4	3,183	0,166	1,25		Увековечивает память жителей д. Хатынь Минской обл. и других белорусских сел, уничтоженных фашистами вместе с населением в 1941–1944 гг.



## Окончание прил. 11

НОМЕР АСТЕРОИДА	НАЗВАНИЕ	ЗВЕЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА*, м	БОЛЬШАЯ ПОЛУОСЬ ОРБИТЫ, а, е.	ЭКСЦЕНТРИСИТЕТ ОРБИТЫ	НАКЛОН ОРБИТЫ, градусы	ДИАМЕТР, км	ПРОИСХОЖДЕНИЕ НАЗВАНИЯ
2426	Симонов	11,6	2,910	0,116	8,49	18	Назван в честь писателя и поэта К. М. Симонова. Прах поэта, согласно завещанию, развеян над Буйновичским полем под Могилевом
2445	Блажко	12,9	2,268	0,148	6,07	9	Назван в честь астронома С. Н. Блажко, родившегося в г.п. Хотимске Могилевской обл.
2540	Гастелло	13,2	2,197	0,052	1,27		Назван в честь белоруса, летчика Н. Ф. Гастелло, погибшего в первые дни Великой Отечественной войны под местечком Радошковичи Минской обл.
2981	Шагал	11,8	3,145	0,170	0,84		Назван в честь известного живописца и графика М. Шагала, родившегося в г. Витебске
3012	Минск	11,1	3,226	0,060	18,3		Назван в честь столицы Республики Беларусь
3113	Чижевский	13,2	2,428	0,075	5,0		Назван в честь основоположника космического естествознания А. Л. Чижевского, родившегося в местечке Цехановец Гродненской обл.
3232	Брест	11,8	3,022	0,081	9,8		Назван в честь областного центра Республики Беларусь
3283	Скорина	12,9	2,396	0,101	6,9		Назван в честь первого белорусского книгопечатника, просветителя и философа Франциска Скорины
3482	Лесная	12,3	2,782	0,169	4,7	14	Назван в честь д. Лесная Могилевской обл., вблизи которой русская армия под командованием Петра Первого одержала победу в бою со шведами
3501	Олегия	11,7	2,921	0,090	5,0	17	Назван в честь популяризатора астрономии О. Н. Коротцева, родившегося в г. Славгороде Могилевской обл.

\* При условии нахождения астероида на одинаковом расстоянии от Солнца и Земли, равном 1 а. е.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 12

## МЕТЕОРИТЫ, НАЙДЕННЫЕ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

НАЗВАНИЕ МЕТЕОРИТА	МЕСТО НАХОДКИ	ВРЕМЯ НАХОДКИ ИЛИ ПАДЕНИЯ	СОСТАВ И КЛАСС	МАССА, кг
Брагин	Брагинский р-н Гомельской обл. (находка)	1807—1968 гг.	Железо-каменный, палласит	800
Греск	Слуцкий р-н Минской обл. (находка)	1954 г.	Гексаэдрит	300
Жмень (Цмень)	Столинский р-н Брестской обл. (падение)	Авг. 1858 г.	Каменный, говардит	0,246
Забродье	Вилейский р-н Минской обл. (падение)	22 сент. 1893 г.	Каменный, хондрит	3,155
Ружаны	Пружанский р-н Брестской обл. (падение)	7 дек. 1894 г.	—	—
Черный Бор	Быховский р-н Могилевской обл. (находка)	1965 г.	Каменный, хондрит	8

- Примечания:
1. Если метеорит найден сразу после пролета болида, говорят о падении метеорита; если найден метеорит с неизвестной датой падения, говорят о находке.
  2. О составе, форме и массе метеорита Ружаны ничего не известно.
  3. Части метеорита Брагин находили с 1807 по 1968 г.



## ПРИЛОЖЕНИЕ 13

## КРУПНЕЙШИЕ ОПТИЧЕСКИЕ ТЕЛЕСКОПЫ МИРА

НАЗВАНИЕ ТЕЛЕСКОПА	МЕСТО- НАХОЖДЕНИЕ	ГОСУДАРСТВО- ВЛАДЕЛЕЦ	ДИАМЕТР ГЛАВНОГО ЗЕРКАЛА, м	ВЫСОТА НАД УРОВНЕМ МОРЯ, м	ГОД ВВЕДЕНИЯ В СТРОЙ
<b>ТЕЛЕСКОПЫ-РЕФЛЕКТОРЫ</b>					
VLT	Серро-Параналь, Чили	Страны Зап. Европы	8,2×4	2635	1998– 2001
Телескопы «Кек-1» и «Кек-2»	г. Мауна-Кеа, Гавайские о-ва	США	9,8×2	4150	1991, 1996
Большой Биноку- лярный Телескоп — LBT	Маунт-Грэхем, Аризона, США	США	8,4×2	3170	2004
Телескоп им. В. Хобби и Р. Эберли — HET	Маунт-Фоулкес, Техас, США	США	9,1	2002	1997
Большой Южно- африканский Телескоп — SALT	Сатерленд, ЮАР	США	9,1	1798	2003
«Субару»	г. Мауна-Кеа, Гавайские о-ва	Япония	8,2	4139	1999
«Джемини» (северный)	г. Мауна-Кеа, Гавайские о-ва	США	8,1	4214	1999
«Джемини» (южный)	Серро-Пачон, Чили	США	8,1	2715	2001
«Магеллан-1» и «Магеллан-2»	Лас-Кампанас, Чили	США	6,5×2	2300	1999, 2002
Большой Телескоп Азимутальный — БТА	г. Пастухова, Сев. Кавказ	Россия	6,0	2070	1975
Большой Зенитный Телескоп — LZT	Мэпл-Ридж, Британская Колумбия	Канада	6,0	395	2000
Телескоп им. Джор- джа Хейла	Маунт-Паломар, Калифорния, США	США	5,1	1706	1948
Телескоп им. Уильяма Гершеля — WHT	Ла-Пальма, Канарские о-ва	Англия	4,2	2332	1987

## Окончание прил. 13

НАЗВАНИЕ ТЕЛЕСКОПА	МЕСТО- НАХОЖДЕНИЕ	ГОСУДАРСТВО- ВЛАДЕЛЕЦ	ДИАМЕТР ГЛАВНОГО ЗЕРКАЛА, м	ВЫСОТА НАД УРОВНЕМ МОРЯ, м	ГОД ВВЕДЕНИЯ В СТРОЙ
<b>ТЕЛЕСКОПЫ-РЕФРАКТОРЫ</b>					
40-дюймовый Йеркский рефрактор	Вильямс-Бэй, Веллингтон, США	США	1,02	334	1897
36-дюймовый Ликский рефрактор	Маунт-Гамильтон, Калифорния, США	США	0,90	1290	1888
33-дюймовый Ме- донский рефрактор	Медон, Франция	Франция	0,83	162	1889
Потсдамский рефрактор	Потсдам, Германия	Германия	0,80	107	1899
30-дюймовый рефрактор им. Вильяма Тау	Питтсбург, Пенсильвания, США	США	0,76	380	1985
<b>ТЕЛЕСКОПЫ СИСТЕМЫ ШМИДТА</b>					
Таутенбургский 2-метровый телескоп	Таутенбург, Германия	Германия	1,34 (2,00)	331	1960
48-дюймовый «Большой Шмидт»	Маунт-Паломар, Калифорния, США	США	1,24 (1,83)	1706	1948
Британский телескоп Шмидта	Сайдинг-Спринг, Австралия	Англия	1,24 (1,83)	1145	1973
Телескоп Шмидта Кисов- ской обсерватории	Кисо, Япония	Япония	1,05 (1,50)	1130	1975
Телескоп Шмидта Бюраканской обсерватории	г. Арагац, Армения	Армения	1,00 (1,50)	1450	1961
<b>КОСМИЧЕСКИЕ ТЕЛЕСКОПЫ</b>					
Космический телескоп Хаббла — КТХ	Орбита искусственного спутника Земли	США	2,4	—	1990



## ПРИЛОЖЕНИЕ 14

## СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ О СОЛНЦЕ

ПАРАМЕТР	ВЕЛИЧИНА
Параллакс Солнца при среднем расстоянии Земли от Солнца, "	8,794
Среднее расстояние до Солнца, км	149 600 000
Диаметр Солнца, км	1 392 000
Видимый угловой диаметр (средний)	31'59"
Масса, кг	$1,989 \cdot 10^{30}$
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	1408
Ускорение силы тяжести на поверхности, м/с <sup>2</sup>	273,8
Вторая космическая скорость, км/с	617,7
Сидерический период вращения точки экватора, сут	25,380
Синодический период вращения точки экватора, сут	27,275
Наклон экватора к эклиптике	7°15'
Светимость Солнца, Дж/с	$3,88 \cdot 10^{26}$
Эффективная температура поверхности Солнца, К	5807
Абсолютная фотовизуальная звездная величина	+4,76 <sup>m</sup>
Скорость движения Солнца относительно окружающих звезд, км/с	19,5
Апекс движения Солнца	$\alpha = 270^\circ = 18^\circ 00' \delta = +30^\circ$
Расстояние Солнца от центра Галактики, кпк	10
Скорость движения Солнца вокруг центра Галактики, км/с	250
Период обращения Солнца вокруг центра Галактики, млн лет	200–250
Средняя продолжительность полного цикла солнечной активности, лет	22,11

## ПРИЛОЖЕНИЕ 15

## ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕКОТОРЫХ ЯРКИХ ЗВЕЗД

ОБОЗНАЧЕНИЕ В СОЗВЕЗДИИ	НАЗВАНИЕ ЗВЕЗДЫ	ЭКВАТОРИАЛЬНЫЕ КООРДИНАТЫ		БЛЕСК, m	СПЕКТР	ТЕМПЕРАТУРА, К	ПАРАЛЛАКС	СОБСТВЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ	ЛУЧЕВАЯ СКОРОСТЬ, км/с
		$\alpha$	$\delta$						
$\alpha$ Андромеды	Альферац**	00 <sup>h</sup> 08 <sup>m</sup>	+29° 05'	2,02	B 8	13 600	0,025"	0,209"	-11,7
$\alpha$ Эридана	Ахернар	01 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup>	-57° 28'	0,47	B 5	15 000	0,034"	0,083"	+19
$\alpha$ Овна	Гамаль	02 <sup>h</sup> 07 <sup>m</sup>	+23° 28'	2,00	K 2	4000	0,043"	0,241"	-14,4
$\alpha$ Малой Медведицы	Полярная*	02 <sup>h</sup> 32 <sup>m</sup>	+89° 16'	1,94	F 7	5800	0,003"	0,046"	-16,4
$\alpha$ Персея	Мирфак	03 <sup>h</sup> 24 <sup>m</sup>	+49° 52'	1,79	F 5	6700	0,028"	0,035"	-2,8
$\alpha$ Тельца	Альдебаран*	04 <sup>h</sup> 36 <sup>m</sup>	+16° 31'	0,75	K 5	3300	0,049"	0,202"	+54,1
$\beta$ Ориона	Ригель**	05 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	-8° 12'	1,12	B 8	11 800	0,009"	0,001"	+20,7
$\alpha$ Возничего	Капелла	05 <sup>h</sup> 17 <sup>m</sup>	+46° 00'	0,08	G 5	5000	0,074"	0,435"	+29,1
$\gamma$ Ориона	Беллатрикс	05 <sup>h</sup> 25 <sup>m</sup>	+6° 21'	1,64	B 2	17 100	0,023"	0,015"	+18,2
$\alpha$ Ориона	Бетельгейзе*	05 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup>	+7° 24'	0,4–1,3	M 1	2900	0,005"	0,028"	+21,8
$\alpha$ Киля	Канопус	06 <sup>h</sup> 23 <sup>m</sup>	-52° 41'	-0,73	F 0	9100	0,018"	0,022"	+20
$\alpha$ Большого Пса	Сириус**	06 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>	-16° 43'	-1,46	A 1	11 200	0,376"	1,324"	-7,6
$\alpha$ Близнецов	Кастор**	07 <sup>h</sup> 35 <sup>m</sup>	+31° 53'	1,58	A 2	10 600	0,070"	0,198"	+4,0
$\alpha$ Малого Пса	Процион	07 <sup>h</sup> 39 <sup>m</sup>	+5° 14'	0,38	F 5	6800	0,087"	1,250"	-3,6
$\beta$ Близнецов	Поллукс**	07 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>	+28° 02'	1,14	K 0	4400	0,093"	0,625"	+3,5
$\alpha$ Гидры	Альфард	09 <sup>h</sup> 28 <sup>m</sup>	-8° 40'	1,98	K 3	3500	0,020"	0,034"	-4,6
$\alpha$ Льва	Регул**	10 <sup>h</sup> 08 <sup>m</sup>	+11° 58'	1,35	B 7	13 600	0,040"	0,248"	+5,0



Окончание прил. 15

ОБОЗНАЧЕНИЕ В СОЗВЕЗДИИ	НАЗВАНИЕ ЗВЕЗДЫ	ЭКВАТОРИАЛЬНЫЕ КООРДИНАТЫ		БЛЕСК, <i>m</i>	СПЕКТР	ТЕМПЕРАТУРА, К	ПАРАЛЛАКС	СОБСТВЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ	ЛУЧЕВАЯ СКОРОСТЬ, км/с
		$\alpha$	$\delta$						
$\alpha$ Большой Медведицы	Дубхе**	11° 04 <sup>m</sup>	+61° 45'	1,79	K 0	4200	0,031"	0,138"	-9,0
$\beta$ Льва	Денебола	11° 49 <sup>m</sup>	+14° 34'	2,14	A 3	9900	0,076"	0,511"	-0,6
$\zeta$ Большой Медведицы	Мицар**	13° 22 <sup>m</sup>	+55° 18'	2,4	A 2	10 000	0,037"	0,127"	-5,6
$\alpha$ Девы	Слика	13° 25 <sup>m</sup>	-11° 10'	0,98	B 1	17 600	0,019"	0,054"	+3,0
$\alpha$ Волопаса	Арктур	14° 16 <sup>m</sup>	+19° 11'	-0,04	K 1	3900	0,091"	2,284"	-5,3
$\alpha$ Центавра	Толиман	14° 38 <sup>m</sup>	-60° 44'	0,33	G 2	5400	0,746"	3,674"	+22,2
$\alpha$ Северной Короны	Гемма*	15° 35 <sup>m</sup>	+26° 43'	2,23	A 0	11 600	0,044"	0,154"	+1,6
$\alpha$ Скорпиона	Антарес**	16° 29 <sup>m</sup>	-26° 26'	0,9-1,8	M 1	2900	0,019"	0,029"	-3,2
$\alpha$ Змееносца	Рас Альхаг	17° 35 <sup>m</sup>	+21° 34'	2,08	A 5	9100	0,056"	0,260"	+12,7
$\alpha$ Лиры	Вега	18° 37 <sup>m</sup>	+38° 47'	0,03	A 0	11 300	0,123"	0,345"	-13,9
$\alpha$ Орла	Альтаир**	19° 51 <sup>m</sup>	+8° 52'	0,77	A 7	8400	0,198"	0,658"	-26,3
$\alpha$ Лебедя	Денеб	20° 41 <sup>m</sup>	+45° 17'	1,25	A 2	9900	0,004"	0,003"	-4,6
$\alpha$ Южной Рыбы	Фомальгаут	22° 58 <sup>m</sup>	-29° 37'	1,16	A 3	9800	0,147"	0,367"	+6,3

\* — переменная звезда.

\*\* — двойная звезда.

ПРИЛОЖЕНИЕ 16

## АСТРОНОМЫ — ВЫХОДЦЫ ИЗ БЕЛАРУСИ

**Блажко Сергей Николаевич** (17.11.1870—11.02.1956). Родился в г. п. Хотимске Могилевской области. После окончания Московского университета работал в университетской обсерватории и преподавал курсы общей и практической астрономии. Профессор, заслуженный деятель науки РСФСР, член-корреспондент АН СССР. Возглавил Комиссию по изучению переменных звезд при Астрономическом совете АН СССР. Основные научные труды посвящены исследованию периодов и формы кривой блеска ряда короткопериодических переменных звезд типа RR Лиры. Эти явления названы «эффектом Блажко». Одним из первых подробно исследовал U Цефея в фазе нормальной яркости и в минимуме блеска. Предложил новый метод обнаружения малых планет. Один из кратеров на Луне назван его именем.

**Гаврилов Игорь Владимирович** (17.05.1928—19.10.1982). Родился в местечке Рубежовичи Минской области. Окончил физико-математический факультет Вильнюсского университета. Работал в Главной астрономической обсерватории АН УССР. Основные научные труды посвящены селенодезии и фотографической астрометрии. Под его руководством составлены первые в СССР селенодезические каталоги положений точек видимой стороны Луны, имевшие большое значение для программ изучения Луны с помощью космических аппаратов и картографирования лунной поверхности. Выполнил цикл исследований по определению параметров геометрической фигуры Луны. Его именем назван один из кратеров на Луне.

**Дубяго Дмитрий Иванович** (03.10.1849—22.10.1918). Родился в селе Соино Мстиславского уезда (ныне Смоленская обл., Россия). Окончил Петербургский университет. Работал директором основанной им обсерватории им. В. П. Энгельгардта около г. Казани, ректором Казанского университета. Основные научные труды посвящены теоретической астрономии и гравиметрии. Исследовал орбиту спутника Нептуна — Тритона. Создал теорию движения астероида Диана. Его именем назван кратер на Луне.

**Жонголович Иван Данилович** (20.02.1892—29.07.1981). Родился в г. Гродно. Окончил Петроградский университет. Заслуженный деятель науки РСФСР. Преподавал в Военно-морской академии им. К. Е. Ворошилова, работал директором Института теоретической астрономии АН СССР. Участвовал в экспедициях по изучению Курской магнитной аномалии, по исследованию Северного Ледовитого океана, в высокоширотных экспедициях в районы Арктики и др. Основные научные труды посвящены теоретической, практической и эфемеридной астрономии, изучению фигуры и гравитационного поля Земли, спутниковой геодезии, геофизике. Разработал способ определения центра массы Земли по наблюдениям искусственных спутников Земли. Его именем названа малая планета.

**Зельдович Яков Борисович** (08.03.1914—02.12.1987). Родился в г. Минске. Академик АН СССР. Работал в Государственном астрономическом институте им. П. К. Штернберга. Один из создателей релятивистской астрофизики — новой области науки, в которой общая теория относительности применяется к астрофизическим объектам. Разработал теорию строения сверхмассивных звезд. Детально изучил свойства черных дыр и процессы, протекающие в их окрестностях.

**Каменьски Михаил** (24.11.1879—18.04.1973). Родился в Могилевской обл. Член-корреспондент Польской АН; создатель польской кометной школы. Окончил Петербургский университет. Работал в Пулковской обсерватории, астрономом военного порта во Владивостоке. В 1922 г. переехал в Польшу. Был профессором астрономии и директором обсерватории Варшавского университета. Основные научные труды посвящены кометной астрономии (кометы Вольфа 1 и Галлея). Разработал новый метод, оценивающий планетные возмущения кометной орбиты, и применил его для



изучения движения кометы Галлея на большом интервале времени. Выполнил ряд исследований по проблемам земного магнетизма, астрометрии и метеорологии.

**Липский Юрий Наумович** (22.11.1909—24.01.1978). Родился в г. Дубровно Витебской обл. Окончил Московский университет. Работал в Государственном астрономическом институте им. П. К. Штернберга и преподавал в Московском университете. Основные научные труды посвящены исследованию Луны и планет. Разработал новые методы спектрофотометрических исследований. Принимал активное участие в исследовании Луны с помощью космических летательных аппаратов. Руководил созданием первой карты обратной стороны Луны и первого в мире глобуса Луны. Под его руководством подготовлены «Каталог кратеров Меркурия и Луны», «Каталог кратеров Марса, Меркурия и Луны». Его именем названы кратеры на Марсе и Луне.

**Прейпич Николай Христофорович** (27.10.1896—23.02.1946). Родился в Режице (ныне Витебской обл.). Окончил Саратовский университет. Был руководителем лаборатории Главной палаты мер и весов (позднее ВНИИ метрологии им. Д. И. Менделеева). Профессор. Научные работы посвящены преимущественно астрономическому определению времени. Разработал методику всех основных операций по определению точного времени, приему ритмических радиосигналов, хранению времени.

**Тихов Гавриил Адрианович** (01.05.1875—25.01.1960). Родился в г. Смоленичи Минской обл. Окончил Московский университет. Академик АН КазССР. Возглавлял астрофизическое отделение в Государственном естественнаучном институте им. П. Ф. Лесгафта в Ленинграде, заведовал сектором астроботаники АН КазССР. Основные научные труды посвящены фотометрии и калориметрии звезд и планет, атмосферной оптике. Предложил 2 метода обнаружения дисперсии света в мировом пространстве — по разности фаз кривых блеска переменных звезд. Во время великого противостояния Марса (1909 г.) получил его первые фотографии в различных участках спектра. Занимался изучением физической природы Марса, оптических свойств земной атмосферы. Его именем названы кратеры на Марсе и Луне.

**Хайкин Семен Эммануилович** (21.08.1901—30.07.1986). Родился в г. Минске. Окончил Московский университет. Профессор. Работал в Московском университете, был заведующим сектором радиоастрономии лаборатории колебаний Главной астрономической обсерватории АН СССР. Основоположник советской экспериментальной радиоастрономии. Разработал ряд приборов радиоастрономической аппаратуры и методов наблюдений, с помощью которых была обнаружена и изучена сильная круговая поляризация излучения активных областей Солнца, детально исследованы «радиопятна». Руководил разработкой проекта радиотелескопа РАТАН-600.

**Цераский Витольд Карлович** (09.05.1849—29.05.1925). Родился в г. Слуцке Минской области. Окончил Московский университет. Член-корреспондент Петербургской АН. Один из пионеров применения фотографии в астрономии. Составил фотометрические каталоги ряда звезд. Провел важные эксперименты по определению температуры Солнца. Организовал в Московской обсерватории систематические поиски и изучение переменных звезд фотографическим путем. Предложил аналитический способ определения координат метеорного радианта и метод определения угловой скорости метеоров. Его именем названы кратеры на Марсе и Луне.

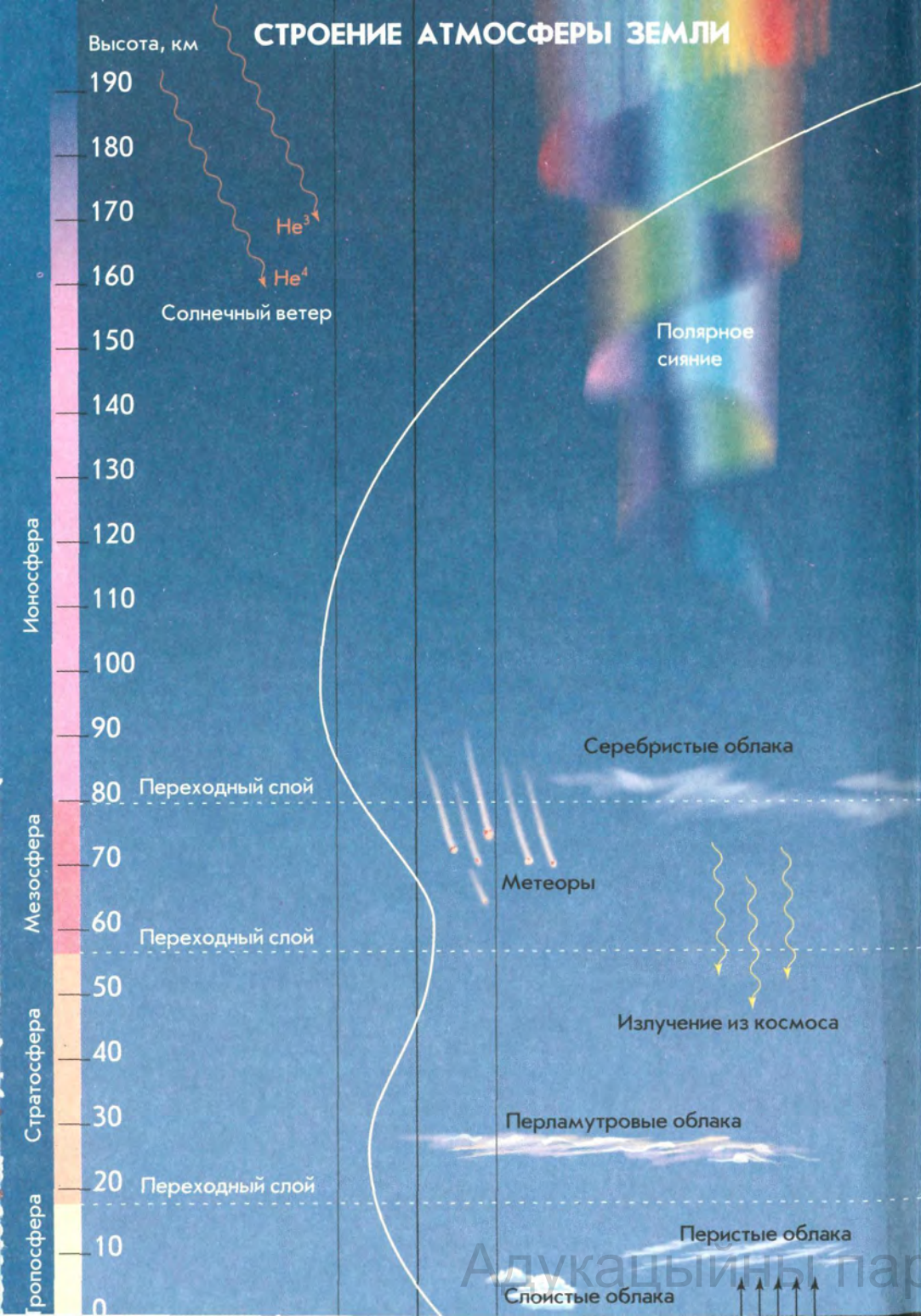
**Шмидт Отто Юльевич** (30.08.1891—07.09.1956). Родился в г. Могилеве. Окончил Киевский университет. Академик АН СССР и АН УССР. Возглавлял многие экспедиции по исследованию Арктики. По его инициативе был основан Институт теоретической геофизики АН СССР, который О. Ю. Шмидт возглавлял с 1937 по 1949 г. Научные труды в области математики, геофизики, астрономии. Основные астрономические исследования посвящены космогонии Солнечной системы. Положил начало многочисленным исследованиям по развитию теории образования Земли и планет из твердых частиц вращающегося газопылевого облака, захваченного Солнцем. Его именем названы кратеры на Марсе и Луне.

## Содержание

Предисловие .....	3
<b>РАЗДЕЛ I. Введение</b> .....	4
§ 1. Предмет астрономии .....	4
<b>РАЗДЕЛ II. Основы практической астрономии</b> .....	13
§ 2. Звездное небо .....	13
§ 3. Небесные координаты .....	19
§ 4. Определение географической широты .....	24
§ 5. Измерение времени. Определение географической долготы .....	26
<b>РАЗДЕЛ III. Движение небесных тел</b> .....	35
§ 6. Гелиоцентрическая система Коперника .....	35
§ 7. Видимое движение Солнца и Луны .....	42
§ 8. Законы Кеплера .....	51
§ 9. Закон всемирного тяготения Ньютона .....	53
§ 10. Определение размеров небесных тел и расстояний до них в Солнечной системе .....	59
§ 11. Движение космических аппаратов .....	64
<b>РАЗДЕЛ IV. Сравнительная планетология</b> .....	71
§ 12. Общие характеристики планет. Происхождение Солнечной системы .....	71
§ 13. Планеты земной группы .....	76
§ 14. Планеты-гиганты. Плутон .....	84
§ 15. Луна. Спутники планет .....	92
§ 16. Малые тела Солнечной системы .....	100
<b>РАЗДЕЛ V. Методы исследования небесных тел</b> .....	109
§ 17. Исследование электромагнитного излучения небесных тел .....	109
§ 18. Спектральный анализ в астрономии .....	119
<b>РАЗДЕЛ VI. Солнце — дневная звезда</b> .....	126
§ 19. Солнце как звезда .....	126
§ 20. Строение солнечной атмосферы .....	130
§ 21. Влияние Солнца на жизнь Земли .....	135
<b>РАЗДЕЛ VII. Звезды</b> .....	139
§ 22. Основные характеристики звезд. Светимость .....	139
§ 23. Температура и размеры звезд .....	143
§ 24. Двойные звезды. Масса звезд .....	148
§ 25. Эволюция звезд .....	152
§ 26. Нестационарные звезды .....	157
<b>РАЗДЕЛ VIII. Строение и эволюция Вселенной</b> .....	165
§ 27. Наша Галактика .....	165
§ 28. Межзвездные газ и пыль .....	171
§ 29. Звездные системы — галактики .....	176
§ 30. Расширяющаяся Вселенная .....	186
§ 31. Жизнь и разум во Вселенной .....	192
Приложения .....	199



# СТРОЕНИЕ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ



# ДИАГРАММА ГЕРЦШПРУНГА — РЕССЕЛА

