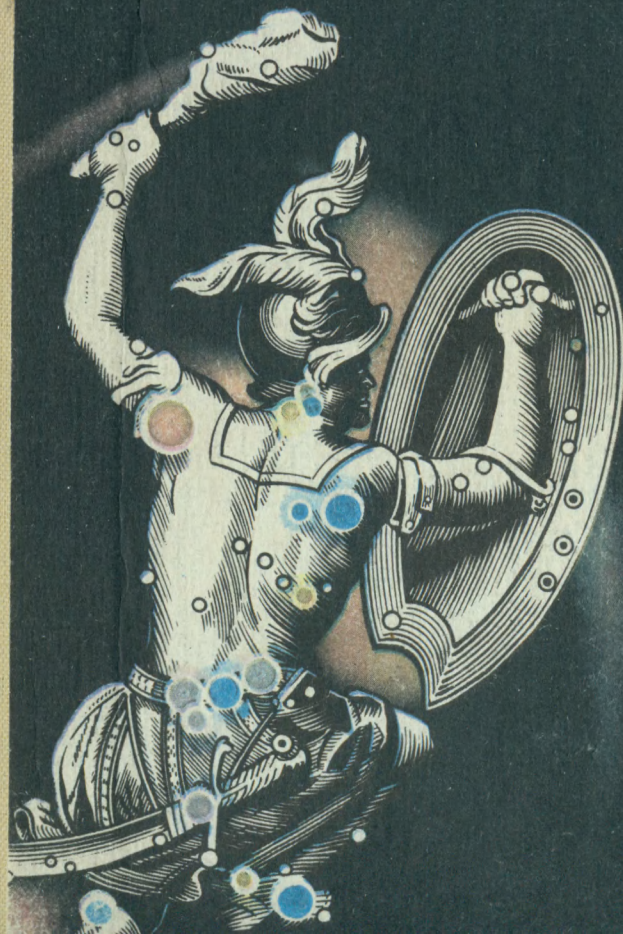


≡ АСТРОНОМИЯ

Е. П. ЛЕВИТАН (1994)

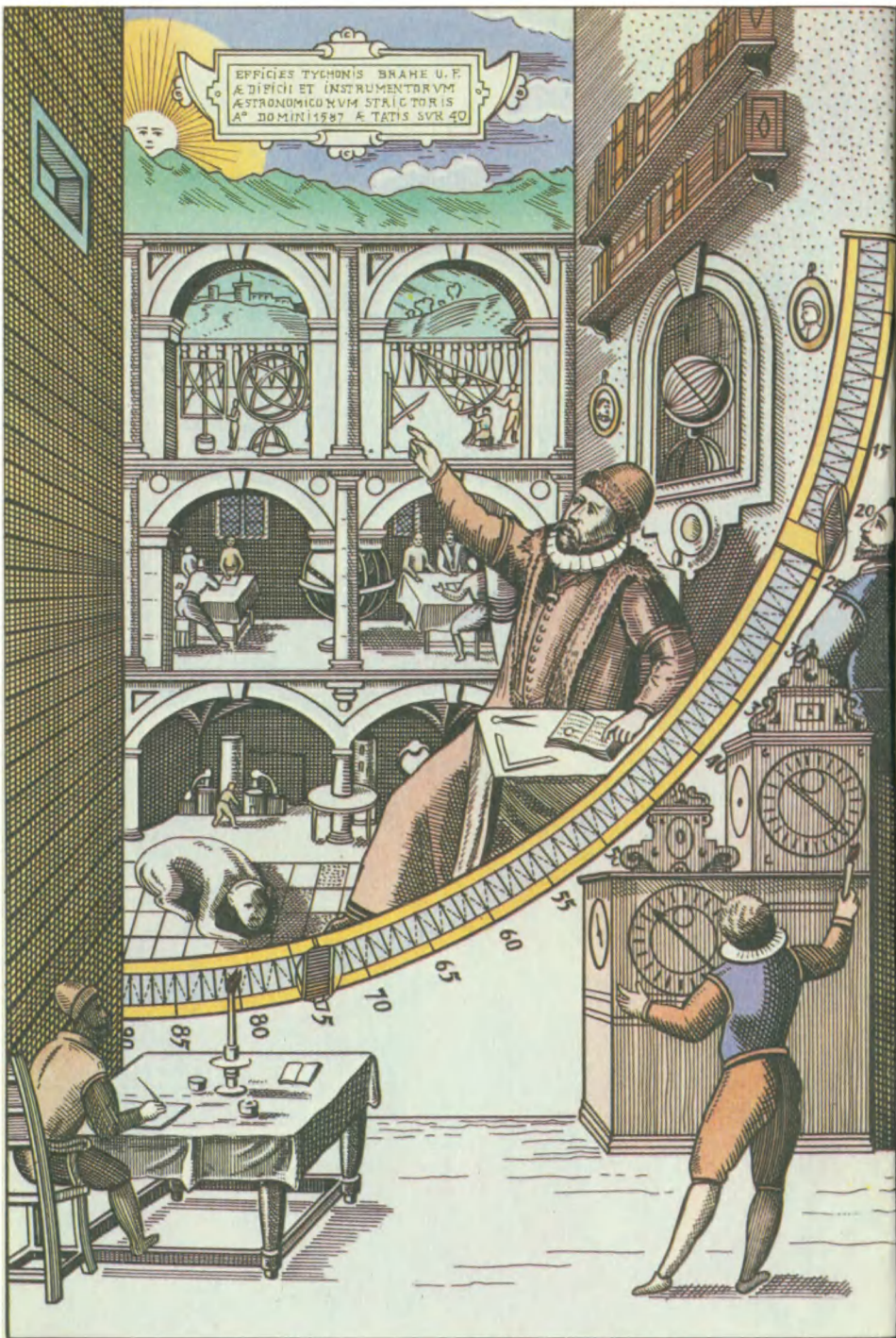


Е. П. ЛЕВИТАН

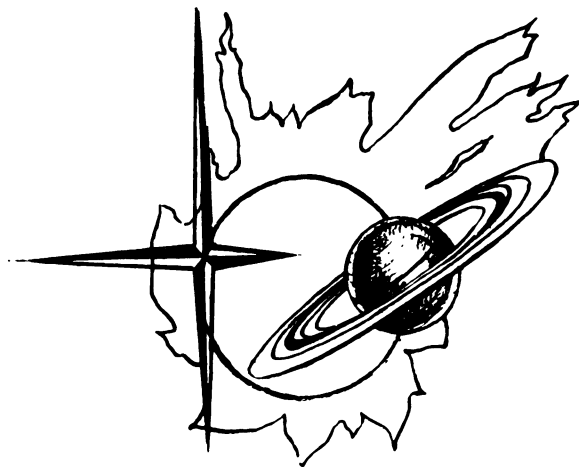
АСТРОНОМИЯ

11





Е. П. ЛЕВИТАН



АСТРОНОМИЯ

**учебник для 11 класса
общеобразовательных учреждений**

*Рекомендовано Министерством образования
Российской Федерации*

Москва «Просвещение» 1994

ББК 22.6я72
Л36

Левитан Е. П.
Л36 Астрономия: Учеб. для 11 кл. общеобразоват.
учреждений — М.: Просвещение, 1994. — 207 с.: ил. —
ISBN 5-09-004913-0.

Л 4306021200—379 инф. письмо — 94
103(03)—94

ББК 22.6я72

Учебное издание

Левитан Ефрем Павлович

АСТРОНОМИЯ

Учебник для 11 класса общеобразовательных учреждений

Зав. редакцией *Н. В. Хрусталь*
Редактор *Н. В. Филонович*
Младший редактор *Т. Ю. Федорова*
Художник *С. Г. Бессонов*
Художественный редактор *В. Г. Ежков*
Техническое редактирование и верстка *И. Е. Пасхиной*
Оператор *Т. Ю. Федорова*
Корректор *Н. Б. Белозерова*

ИБ № 15010

Набор и верстка выполнены в издательстве «Просвещение» на компьютерной технике с использованием редакционно-издательской системы Wave4™ BestInfo, Inc., гарнитуры из библиотеки цифровых шрифтов ParaType™. Диапозитивы изготовлены в издательстве «Просвещение» на фотопленке совместного производства А.О. Фототех и издательства «Просвещение». Лицензия ЛР № 010001 от 10.10.91. Подписано к печати 27.05.94. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага офсетная № 1. Гарнитура Школьная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 13,00+0,38 форз. Усл. кр.-отт. 53,81. Уч.-изд л. 11,91+0,57 форз. Тираж 1 830 000 экз. Заказ 2249. С 379 Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Просвещение» Комитета Российской Федерации по печати. 127521, Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41. Тверской ордена Трудового Красного Знамени полиграфкомбинат детской литературы им. 50-летия СССР Комитета Российской Федерации по печати. 170040, Тверь, проспект 50-летия Октября, 46.



ISBN 5-09-004913-0

© Издательство «Просвещение», 1994

КАК РАБОТАТЬ С УЧЕБНИКОМ

В XI классе вам предстоит изучать новый учебный предмет — а с т р о н о м и ю. Курс астрономии решает важную задачу — он обобщает знания, полученные при изучении основ естественных наук, и дополняет ваше физико-математическое и философское образование.

Изучая основы науки о Вселенной, вы познакомитесь с природой планет и звезд, строением Солнечной системы и звездных систем, научитесь правильно объяснять многие наблюдаемые астрономические явления, узнаете, как астрономы определяют расстояния до небесных тел, их размеры, массу, температуру, химический состав, а также и то, как, опираясь на достижения современной физики, формируется представление об астрономической картине мира.

В основу данного курса астрономии положены факты, законы и теории. Вы познакомитесь также и с некоторыми предположениями и гипотезами, которые связаны с увлекательными, но пока еще не решенными научными проблемами.

Чтобы усвоить учебный материал, недостаточно просто прочитать текст параграфа и научиться решать включенные в него задачи, нужно его проработать, обратив прежде всего внимание на вводимые новые понятия, а также на углубление тех, с которыми вы знакомы из курсов природоведения, географии, физики и истории. Необходимо разобраться в каждом астрономическом явлении и процессе, понять основные особенности различных типов небесных тел. А для этого нужно уяснить их основные внешние признаки, получить представление о методах исследования, вникнуть в сущность наблюдаемого (видимая картина далеко не всегда совпадает с истинной!), познакомиться с философским, научным и практическим значением исследования тех или иных космических явлений и объектов.

Учебник ориентирован на активное изучение материала, и, поэтому очень часто вам придется не только самостоятельно делать дополнительные чертежи или схемы, но и формулировать некоторые определения и выводы, к которым вас подведет текст или включенные в него вопросы-задания, завершающие каждый параграф. Они представляют собой логическое продолжение текстового материала. Лишь

некоторые из них требуют простого воспроизведения каких-либо определений или формулировок. В основном же они предлагают вам творчески осмыслить изучаемый материал:

систематизировать новые сведения, опираясь на знания, полученные при изучении других учебных предметов;
сделать необходимые мировоззренческие выводы;
самостоятельно выполнять астрономические наблюдения.

В ряде параграфов при изложении учебного материала соответствующие вычисления не приводятся, но объясняется, как они могут быть выполнены. Опираясь на эти указания, вы сами сможете сделать необходимые расчеты.

Вопросы-задания и разделы текста, отмеченные звездочкой, адресованы не всем, а только интересующимся астрономией.

Каждая из пяти глав завершается перечнем того, что вам полезно знать и уметь, изучив данную тему. Проверьте, все ли вы усвоили, поняли, и, если затрудняетесь в ответе, вернитесь к соответствующему тексту и еще раз внимательно изучите его.

Эти особенности учебника помогут вам более глубоко усвоить материал, приобрести полезные навыки работы с книгой, а также заставят интересующихся астрономией обратиться к научно-популярной литературе по астрономии (некоторые книги приведены в приложении XI к учебнику).

Наблюдения — важнейшая часть курса астрономии. Поэтому обязательно проводите самостоятельные наблюдения. Для этого приобретите «Школьный астрономический календарь» (ШАК) на текущий учебный год, смонтируйте подвижную карту звездного неба (ПКЗН), внимательно изучив соответствующий текст в приложении II. Если в вашем распоряжении окажется бинокль или школьный телескоп, то наблюдения станут более полезными и увлекательными.

Желаем вам больших успехов!

I. ВВЕДЕНИЕ В АСТРОНОМИЮ

§ 1. ПРЕДМЕТ АСТРОНОМИИ

1. Что изучает астрономия. Астрономия — наука о Вселенной. Слово «астрономия» происходит от двух греческих слов: *астрон* — звезда и *номос* — закон.

Астрономия изучает движение небесных тел, их природу, происхождение и развитие. Во Вселенной небесные тела образуют системы различной сложности. Например, Солнце и движущиеся вокруг него небесные тела составляют Солнечную систему. Земля — одна из ее планет. Вы знаете, что планеты светят отраженным солнечным светом. В отличие от них Солнце — самосвещающееся небесное тело, представляет собой единственную звезду в Солнечной системе.

Звезды, видимые невооруженным глазом, составляют ничтожную долю звезд, входящих в нашу Галактику. Кроме нашей, существует множество других галактик. Свет от ближайших галактик идет к нам миллионы лет.

Небесные тела находятся в непрерывном движении, изменении, развитии. Планеты, звезды и галактики имеют свою историю, нередко исчисляемую миллиардами лет.

Астрономия — одна из самых увлекательных и прекрасных наук о природе — исследует не только настоящее, но и далекое прошлое окружающего нас мегамира, а также позволяет нарисовать научную картину будущего Вселенной.

2. Роль наблюдений в астрономии. *Наблюдения — основной источник информации о небесных телах, процессах и явлениях, происходящих во Вселенной.* Для проведения наблюдений во многих странах созданы специальные научно-исследовательские учреждения — астрономические обсерватории. У нас их несколько десятков: Главная астрономическая обсерватория Российской Академии наук — Пулковская (в Санкт-Петербурге), Специальная астрофизическая обсерватория (на Северном Кавказе), Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга (в Москве) и др.

Современные обсерватории оснащены крупными оптическими телескопами, представляющими собой очень большие, сложные и в значительной степени автоматизированные инструменты.

Телескоп увеличивает угол зрения, под которым видны небесные тела, и собирает во много раз больше света, приходящего от небесного светила, чем глаз наблюдателя. Благодаря этому в телескоп можно рассматривать не видимые невооруженным глазом детали поверхности ближайших к Земле небесных тел и увидеть множество слабых звезд.

В астрономии расстояние между объектами на небе измеряют углом, образованным лучами, идущими из точки наблюдения к объектам. Такое расстояние называется *угловым*, и выражается оно в градусах и долях градуса. Невооруженным глазом две звезды видны раздельно, если они отстоят на небе друг от друга на угловом расстоянии не менее $1-2'$. В крупные телескопы удается наблюдать раздельно звезды, угловое расстояние между которыми составляет сотые или даже тысячные доли секунды (под углом $1''$ «видна» спичечная коробка примерно с расстояния 10 км).

Существует несколько типов оптических телескопов. В *телескопах-рефракторах* (рис. 1), где используется преломление света, лучи от небесных светил собирает линза (или система линз). В *телескопах-рефлекторах* (рис. 2) — вогнутое зеркало, способное фокусировать отраженные лучи. В *зеркально-линзовых телескопах* (рис. 3) — комбинация зеркал и линз.

С помощью телескопов производятся не только *визуальные* и *фотографические наблюдения*, но преимущественно высокоточные *фотоэлектрические* и *спектральные наблюдения*. Телескопы, приспособленные для фотографирования небесных объектов, называются *астрографами*. Фото-

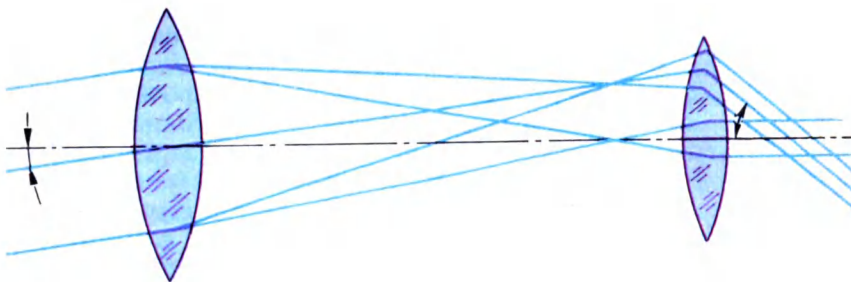


Рис. 1. Ход лучей в телескопах-рефракторах.

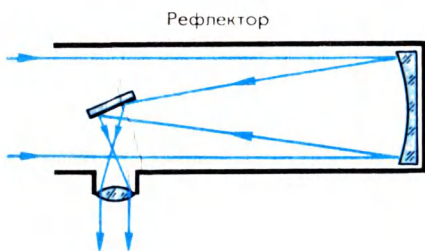


Рис. 2. Ход лучей в телескопах-рефлекторах.

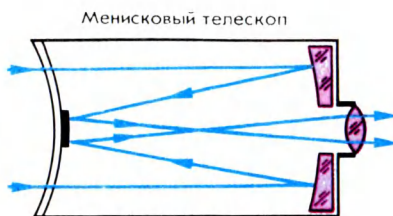


Рис. 3. Ход лучей в зеркально-линзовых телескопах.

графические наблюдения имеют ряд преимуществ перед визуальными. К основным преимуществам относятся: *документальность* — способность фиксировать происходящие явления и процессы и долгое время сохранять полученную информацию; *моментальность* — способность регистрировать кратковременные явления, происходящие в данный момент; *панорамность* — способность запечатлевать на фотопластинке одновременно несколько объектов и их взаимное расположение; *интегральность* — способность накапливать свет от слабых источников; *детальность* получаемого изображения.

Сведения о температуре, химическом составе, магнитных полях небесных тел, а также об их движении получают из *спектральных наблюдений*. Спектральный анализ, основы которого вы будете изучать в курсе физики, имеет исключительно важное значение для астрономии.

Кроме света, небесные тела излучают электромагнитные волны большей длины волны, чем свет (*инфракрасное излучение, радиоволны*), или меньшей (*ультрафиолетовое, рентгеновское излучения и гамма-лучи*).

Многие открытия при изучении Солнечной системы, нашей и других галактик связаны с *радиотелескопами*, предназначенными для исследования небесных тел в радиодиапазоне. Один из крупнейших радиотелескопов — «РАТАН-600» — установлен в Специальной астрофизической обсерватории. Его антенна состоит из подвижных элементов (щитов), расположенных по окружности диаметром 600 м (рис. 4). Там же находится и 6-метровый телескоп-рефлектор (рис. 5).

Значительная часть невидимого излучения небесных тел поглощается земной атмосферой и не доходит до поверхности Земли. Поэтому *наземные наблюдения* приходится дополнять *внеатмосферными*, которые стали возможны благо-

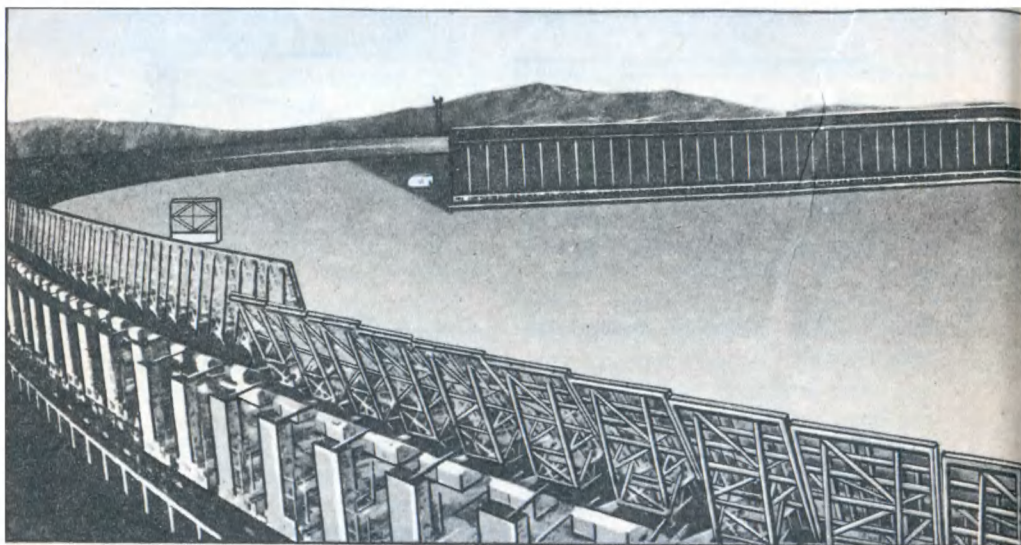
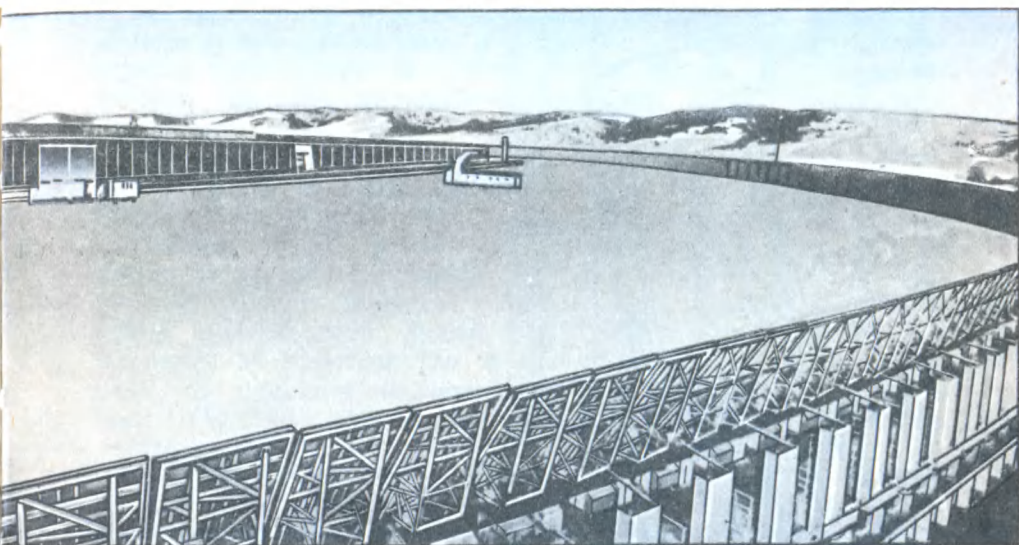


Рис. 4. Радиотелескоп «РАТАН-600» Специальной астрофизической обсерватории.

даря успешным запускам искусственных спутников Земли (ИСЗ), автоматических межпланетных станций (АМС) и орбитальных научных станций. Бортовые астрономические приборы способны исследовать небесные тела во *всех* диапазонах длин волн. Важные научные результаты получены с помощью отечественных и зарубежных орбитальных обсерваторий — «Астрон», «Гранат», «Космический телескоп им. Хаббла» и др. Таким образом, *астрономия из оптической превратилась во всеволновую.*

В школе вы можете выполнять только простейшие астрономические наблюдения. Но они необходимы. Подобно тому как без демонстрационных опытов и лабораторных работ по физике нельзя глубоко понять и прочно усвоить сущность физических явлений и законов, без школьных астрономических наблюдений нельзя успешно овладеть основами астрономии.

3. Связь астрономии с другими науками. Значение астрономии. Современная астрономия — фундаментальная физико-математическая наука, развитие которой неразрывно связано с научно-техническим прогрессом. Это особенно наглядно можно показать на примере ведущего раздела астрономии — а с т р о ф и з и к и, изучающего природу небесных тел. До появления в прошлом веке фотографии и спектрального анализа о природе небесных тел было известно



очень мало. Бурный расцвет астрофизика переживает в наши дни, когда наземные и внеатмосферные наблюдения дополняются экспериментами в околоземном космическом пространстве, на Луне, Венере и Марсе, а полученные данные обрабатываются на электронно-вычислительных машинах и подвергаются анализу с учетом новейших достижений физики, математики, химии и других наук. В интерпретации результатов наблюдений важна роль философской позиции ученых. *Осмысление наблюдаемых во Вселенной объектов, явлений и процессов необходимо для правильного понимания сложной взаимосвязи микромира и мегамира, построения современной астрономической картины мира.*

Однако астрономия не только опирается на данные других наук, но и способствует развитию последних. Например, астрофизика обогащает земную физику ценными сведениями о состоянии вещества, находящегося в условиях очень высоких и очень низких температур, давлений, плотностей, а также различных магнитных полей. Вселенная как бы становится грандиозной физической лабораторией, где сама природа дает возможность изучать поведение вещества в условиях, резко отличающихся от земных.

Решение задач небесной механики (раздела астрономии, изучающего законы движения небесных тел) способствовало появлению и совершенствованию важнейших

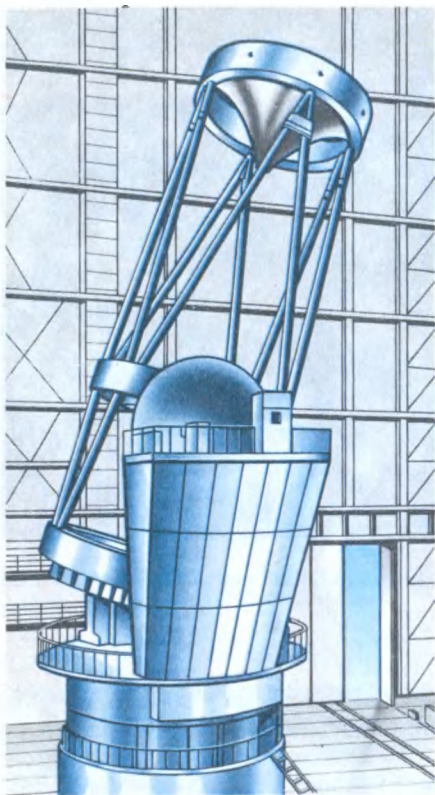


Рис. 5. Крупнейший в мире телескоп-рефлектор с диаметром зеркала 6 м.

областей математики. Законы небесной механики лежат в основе теории движения космических аппаратов. При расчетах космических траекторий учитываются силы тяготения Земли, Солнца и других небесных тел, вблизи которых предстоит пролететь кораблю, а также данные о физических условиях (ускорение свободного падения, состав атмосферы и ее температура) на Луне или планете, к которой направляется корабль. Ориентирами в полетах служат Солнце, яркие звезды, Земля и другие планеты.

Наконец, данные астрономии о строении и эволюции Вселенной, о месте в ней человека составляют неотъемлемую часть научного мировоззрения.

Астрономия — одна из древнейших наук. Она возникла из практических потребностей человека раньше всех других наук. Примерно шесть тысяч лет назад египтяне уже согласовали свой календарь с астрономическим явлением. Они заметили, что начало разлива Нила совпадает с появлением над горизонтом перед самым восходом Солнца звезды Си-

риус (по-египетски Сотис). Это наблюдение и было положено в основу египетского календаря.

С давних пор в далеких путешествиях люди ориентировались ночью по звездам, а днем — по Солнцу. Астрономические наблюдения и сейчас используются для решения важных проблем народного хозяйства. К их числу относятся: измерение времени, составление точных географических карт, выполнение разнообразных геодезических работ, ориентировка по небесным светилам на море, в воздухе и в космическом пространстве.

Однако этим далеко не исчерпывается в настоящее время значение астрономии. Изучение Луны и планет Солнечной системы позволяет лучше узнать нашу Землю. В сферу деятельности людей уже включаются околоземное космическое пространство и ближайшие к Земле небесные тела. В будущем освоение космоса позволит расширить среду обитания людей, что, в частности, может облегчить решение экологических проблем.

Новые требования к астрономии предъявляет космонавтика. Нужно уметь с большой точностью определять расстояния до небесных тел Солнечной системы, выбирать подходящее для межпланетных перелетов время, знать расположение наиболее опасных участков орбит космических ракет, уметь выбирать оптимальные траектории искусственных небесных тел. Таким образом, астрономия является наукой, необходимой людям. Более подробно и глубоко многие вопросы астрономии придется изучать тем из вас, кто станет специализироваться в области астрономии, геодезии и картографии, посвятит себя мореплаванию, авиации, охране природы, космическим исследованиям. А общее представление о строении и эволюции Вселенной сейчас должен иметь каждый человек.

Вопросы-задания для самоконтроля

1. Вспомните, какие сведения по астрономии вы получили в курсах природоведения, естествознания, физики, истории. 2. В чем специфика астрономии (по объектам и методам исследования) по сравнению с другими науками о природе, которые вы уже изучали? 3. Какие важнейшие типы небесных тел вам известны? 4. Какова роль наблюдений в астрономии и с помощью каких инструментов они выполняются? 5. Какова роль космонавтики в исследовании Вселенной? 6*. Начертите схему, поясняющую взаимосвязь астрономии и других наук. 7*. Начертите схему, показывающую философское, научное и практическое значение астрономии. 8. Смонтируйте имеющуюся в «Школьном астрономическом календаре» подвижную карту звездного неба, руководствуясь инструкцией (приложение II).

§ 2. ЗВЕЗДНОЕ НЕБО

1. **Что такое созвездие.** В безоблачную и безлунную ночь вдали от городского освещения взору открывается величественная картина звездного неба. На первый взгляд кажется, что невозможно разобраться в звездной россыпи. А научиться этому хотят многие. Знать звездное небо интересно и полезно. Оно издавна привлекало к себе внимание людей. Тысячи лет назад люди мысленно соединили наиболее яркие звезды в разнообразные фигуры (*с о з в е з д и я*) и назвали их именами персонажей древних мифов и легенд, животных или предметов. Разные народы имели свои мифы и легенды о созвездиях, свои названия, причем число созвездий у разных народов было неодинаково.

В настоящее время все небо условно разделено на 88 участков, имеющих строго определенные границы. Эти участки и называются созвездиями, причем к *данному созвездию относятся все звезды, находящиеся внутри его границ*, например к созвездию Большой Медведицы относятся не только звезды всем известного «ковша», но и много слабых звезд.

Принадлежность звезд к тому или иному созвездию определяется лишь тем, что наблюдатель, находящийся на Земле, видит эти звезды по соседству. На самом деле это «соседство» только кажущееся, так как в пространстве звезды находятся на огромном расстоянии друг от друга.

Звезды каждого созвездия обозначены буквами греческого алфавита. Первой из них (α — альфа) обозначают чаще всего самую яркую звезду, а затем следуют звезды, обозначенные буквами β (бета), γ (гамма), δ (дельта), ϵ (эпсилон) и т. д. Самые яркие звезды имеют собственные имена: Вега (α Лиры), Сириус (α Большого Пса) и т. д. (см. приложение IX).

2*. **Основные созвездия.** Мы не ставим перед собой задачу изучить все созвездия, видимые в средних географических широтах, а ограничимся лишь некоторыми. При этом мы будем пользоваться рисунком 6 и картой звездного неба. Прежде всего по звездам β и α *Большой Медведицы* найдем α *Малой Медведицы* (рис. 6). Это *Полярная звезда*, ею заканчивается ручка «ковша» Малой Медведицы. Под Полярной звездой на горизонте находится точка севера. Зная это, легко ориентироваться на местности, находить страны света (север, юг, восток, запад). Если продолжить прямую, проходящую от ϵ *Большой Медведицы* к Полярной, то мы найдем созвездие, яркие звезды которого расположены в виде перевернутой буквы М. Это *Кассиопея* (см. рис. 6). В средних широтах Большая Медведица, Малая Медведица и Кассиопея видны на небе над го-

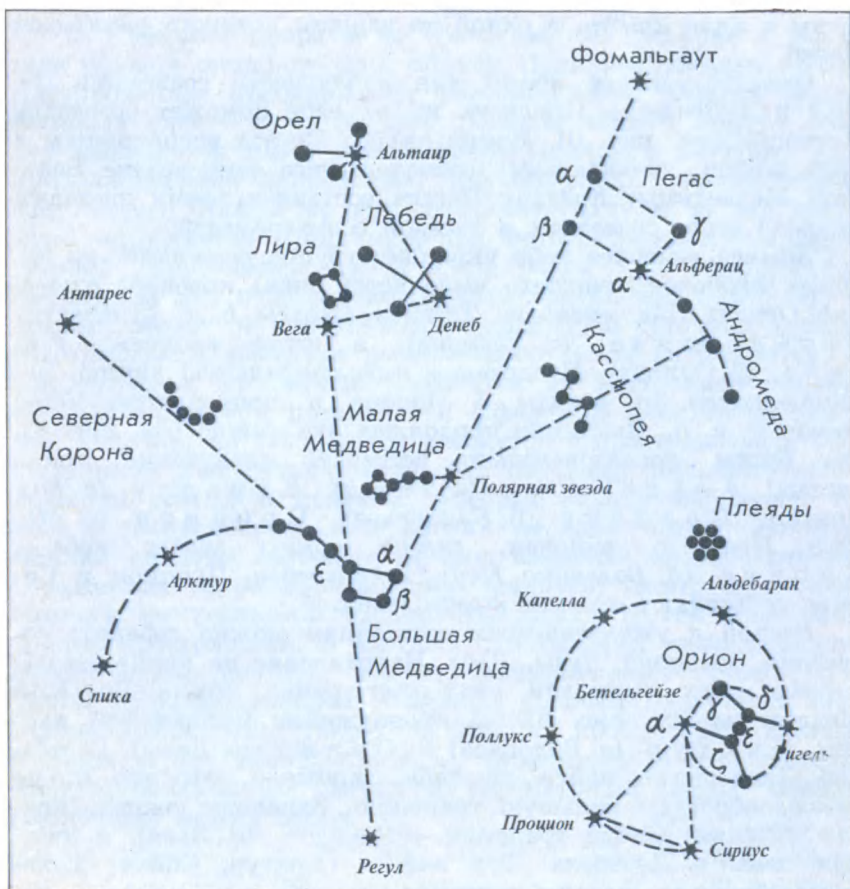


Рис. 6. Схема взаимного расположения основных созвездий и ярких звезд.

ризонтом на протяжении всего года. Поэтому с отыскания этих созвездий мы и начали знакомство со звездным небом. Большинство других интересующих нас созвездий лучше всего наблюдать в определенное время года. Так, одними из первых на летнем и осеннем вечернем небе появляются яркие звезды Вега (α Лир), Денеб (α Лебедя), Альтаир (α Орла), образующие большой треугольник (это *летний треугольник*; он виден на небе и осенью; см. рис. 6). Около Веги (самой яркой звезды северного неба) четыре звезды созвездия Лир образуют маленький параллелограмм. Наиболее яркие звезды созвездия Лебедя распо-

жены в виде креста, в одной из вершин которого находится Денеб.

Осень — удобное время для наблюдения созвездий *Пегаса* и *Андромеды*. Отыскать их на небе поможет созвездие *Касиопеи* (см. рис. 6). Яркие звезды Пегаса расположены в виде ковша, значительно превосходящего семизвездие Большой Медведицы. Квадрат Пегаса составлен тремя звездами (α , β , γ) этого созвездия и звездой α Андромеды.

Зимнее вечернее небо украшает группа созвездий, из которых наиболее отчетливо выделяется очень красивое созвездие *Орион*. Над «поясом» Ориона (звезды δ , ϵ , ζ) блесит Бетельгейзе (α Ориона), а ниже «пояса» — Ригель (β Ориона). Представим себе спиральную линию, начинающуюся от звезды δ Ориона и проходящую через звезды γ , α , β . Мысленно продолжая эту линию (см. рис. 6), мы будем последовательно встречать следующие яркие звезды: Альдебаран (α Тельца), Капеллу (α Возничего), Поллукс (β Близнецов), Прокцион (α Малого Пса) и, наконец, самую яркую звезду неба — Сириус (α Большого Пса). Бетельгейзе, Прокцион и Сириус составляют *зимний треугольник*.

Весной к уже знакомым созвездиям можно добавить созвездия *Волопаса*, *Девы*, *Льва*. Направление на яркие звезды первых двух созвездий указывает ручка ковша Большой Медведицы (см. рис. 6), на продолжении которой мы найдем Арктур (α Волопаса) и Спикку (α Девы). Созвездие Льва легко найти на небе, запомнив, что его яркие звезды образуют большую трапецию. Западная южная (правая нижняя) звезда трапеции — Регул (α Льва), а нижняя левая — Денебола. Три звезды (Арктур, Спика, Денебола) образуют *весенний треугольник*.

Таким образом, если вы хотите изучить звездное небо, то заниматься этим нужно на протяжении всего года. Подвижная карта звездного неба (ПКЗН) поможет вам быстро определить, какие созвездия и яркие звезды видны в данный вечер. Их вы и будете находить на небе. Такие наблюдения не потребуют большой затраты времени и дадут возможность созерцать совершенную красоту природы.

Вопросы-задания для самоконтроля

1. Что такое созвездие? 2. Какие созвездия находятся сегодня вечером над горизонтом вашей местности? 3. Как называются яркие звезды этих созвездий? 4*. Как, пользуясь ПКЗН, обнаружить, что вид неба со временем изменяется в течение суток?

§ 3. ИЗМЕНЕНИЕ ВИДА ЗВЕЗДНОГО НЕБА В ТЕЧЕНИЕ СУТОК

1. **Небесная сфера и ее вращение.** На рисунке 7 показана область звездного неба вблизи Полярной звезды, сфотографированная неподвижным фотоаппаратом. Каждая звезда оставила след — светлую дугу. Вблизи общего центра всех дуг выделяется след, оставленный Полярной звездой. Чем продолжительнее экспозиция, тем большую дугу прочерчивает звезда. Любая из дуг составляет одну и ту же часть своей окружности. Например, при фотографировании с двухчасовой экспозицией длина дуги равна $1/12$ окружности. Значит, за 2 ч небосвод поворачивается на $360^\circ : 12 = 30^\circ$, а полный оборот он совершает за сутки. При суточном вращении небосвода взаимное расположение звезд не меняется, и нам кажется, что звезды находятся на внутренней стороне огромной шаровой поверхности (сфере). В действительности это, конечно, не так: звезды движутся в пространстве и расстояния до них различны, но для изучения *видимого* расположения светил и явлений, которые можно наблюдать на небе в течение суток или многих месяцев, астрономы применяют понятие «небесная сфера». Небесная сфера — это воображаемая сфера произвольного радиуса. Центр ее в зависимости от решаемой задачи совмещают с той или иной точкой пространства. В частности, о видимой нами небесной сфере можно сказать, что это *воображаемая сфера сколь угодно большого радиуса, в центре которой находится глаз наблюдателя*. На такую сферу и проецируют звезды, Солнце, Луну, планеты и т. д., отвлекаясь от действительных расстояний до светил и рассматривая лишь угловое расстояние между ними.

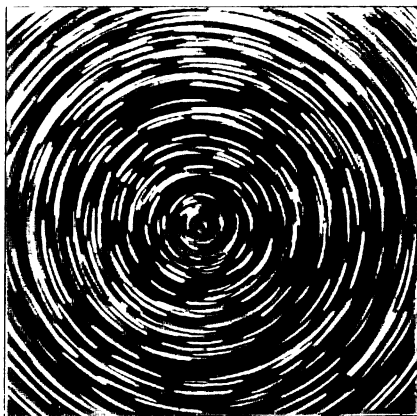


Рис. 7. Фотография околополярной области неба.

Наблюдаемое суточное вращение небесной сферы (оно происходит с востока на запад) — кажущееся явление, отражающее действительное вращение земного шара вокруг оси (с запада на восток). Ось видимого вращения небесной сферы называется о сью м и р а. Мы не сделаем большой ошибки, если, основываясь на определении небесной сферы, будем считать, что ось мира совпадает с земной осью. Более строго: ось мира параллельна земной оси. Ось мира пересекает небесную сферу в двух точках P и P_1 — п о л ю с а х м и р а (рис. 8). Вблизи северного полюса мира в настоящее время находится α Малой Медведицы — Полярная звезда.

2. Горизонтальная система координат. Чтобы получить возможность практически применять небесную сферу, дополним чертеж (рис. 8) рядом линий и точек (рис. 9). Находящийся на Земле наблюдатель всегда может с помощью отвеса определить направление отвесной (вертикальной) л и н и и. Эта линия пересекает небесную сферу в двух диаметрально противоположных точках — в з е н и т е Z и н а д и р е Z_1 . Плоскость, проходящая через центр небесной сферы и проведенная перпендикулярно отвесной линии, пересекает небесную сферу по большому кругу. Он называется и с т и н н ы м г о р и з о н т о м (в отличие от известного вам из географии видимого горизонта). Через три точки Z , O и P можно провести единственную плоскость, которая пересечет небесную сферу по большому кругу, называемому н е б е с н ы м м е р и д и а н о м. Плоскости небесного горизонта и меридиана пересекаются по прямой NS (точки N и S — соответственно точки с е в е р а и ю г а). Ее назы-

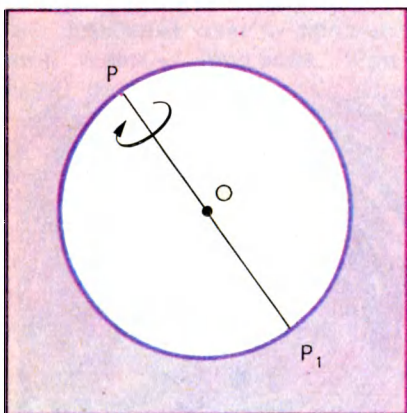


Рис. 8. Небесная сфера и ось мира.

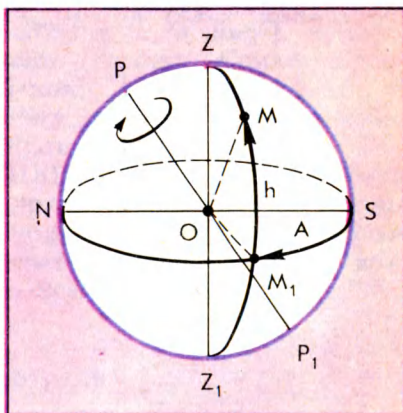


Рис. 9. Горизонтальная система координат.

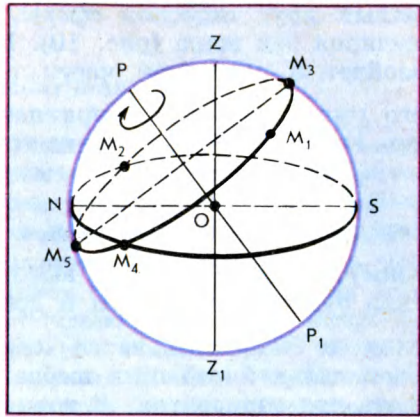


Рис. 10. Изменение горизонтальных координат светила M_1 .

вают полуденной линией (в этом направлении отбрасывают тень предметы, освещаемые Солнцем, в полдень). Наконец, через зенит Z , надир Z_1 и точку, в которой в данный момент находится светило M , можно провести большой полукруг небесной сферы, который называется кругом высоты или вертикалом. Мгновенное положение светила M относительно горизонта и небесного меридиана определяется двумя координатами: высотой (h) и азимутом (A), которые называются горизонтальными.

Высота светила — это угловое расстояние светила от горизонта (дуга вертикала от точки его пересечения с линией горизонта до светила $\overset{\frown}{M_1}M$, или центральный угол $\overset{\frown}{MOM_1}$). Высота измеряется в градусах, минутах и секундах (от 0 до 90°). Часто h заменяют равноценной ей координатой z (зенитное расстояние), показывающей угловое расстояние светила от зенита. Очевидно, что

$$z = 90^\circ - h. \quad (1)$$

Вторая координата в горизонтальной системе A — угловое расстояние вертикала светила от точки юга (дуга истинного горизонта $\overset{\frown}{SM_1}$, или центральный угол $\overset{\frown}{SOM_1}$). В астрономии азимуты отсчитываются от точки юга в направлении суточного движения светила, т. е. от S по ходу часовой стрелки (к западу). Измеряется азимут в градусах, минутах и секундах (в интервале от 0 до 360°).

3. Изменение горизонтальных координат. Кульминации светил. Участвуя во вращении небесной сферы, светило M_1 в течение суток опишет суточную параллель —

малый круг небесной сферы, плоскость которого перпендикулярна оси мира (рис. 10). В какой-то момент времени оно взойдет в восточной части горизонта (M_2). В этот момент его горизонтальные координаты будут $h = 0^\circ$, $A = SNM_2$. Затем светило начнет подниматься над горизонтом и наибольшей высоты достигнет в момент прохождения через небесный меридиан. Это будет верхняя кульминация светила. Светило окажется в точке M_3 (над точкой S). Его азимут будет $A = 0^\circ$, а высота $h = \overset{\sim}{SM}_3$. Далее высота светила будет уменьшаться и достигнет 0° в момент захода светила в западной части горизонта (точка M_4 , $A = \overset{\sim}{SM}_4$). Свой дальнейший путь выбранное нами светило будет совершать под горизонтом. В точке M_5 оно снова пересечет небесный меридиан. Это будет нижняя кульминация светила (светило находится под горизонтом, следовательно, наблюдатель его не видит; $A = 180^\circ$). Последний участок своего пути светило проходит от точки нижней кульминации до точки восхода. Таким образом, мы, во-первых, убедились в том, что горизонтальные координаты светила в течение суток непрерывно изменяются. Во-вторых, мы рассмотрели движение светила, у которого только верхняя кульминация происходит над горизонтом. Такие светила называются восходящими и заходящими. Но, очевидно, в отличие от них светила могут быть незаходящими или невосходящими (их суточные параллели показаны на рисунке 11).

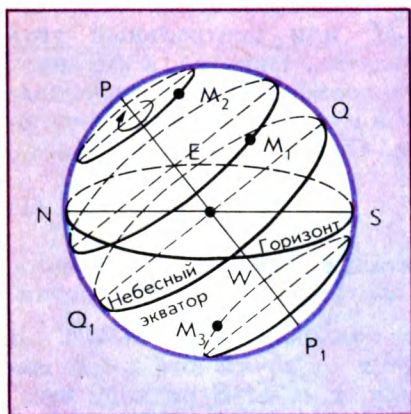


Рис. 11. Суточные параллели светил: восходящего и заходящего (M_1), незаходящего (M_2), невосходящего (M_3).

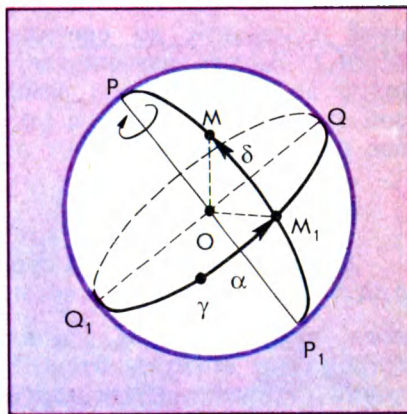


Рис. 12. Экваториальная система координат.

Вопросы-задания для самоконтроля

1. Что такое небесная сфера? 2. Какие линии и точки небесной сферы вы знаете? 3. Какие наблюдения убеждают нас в суточном вращении небесной сферы? 4. Можно ли рассматривать суточное вращение небесной сферы как доказательство вращения Земли вокруг оси? 5. Две звезды (A и B) видны в одном направлении, хотя звезда A в два раза ближе к нам, чем B . Что можно сказать об угловом расстоянии этих звезд от какой-нибудь третьей звезды? (Сделайте чертеж.) 6. Можно ли использовать горизонтальные координаты для создания карты звездного неба? Ответ обоснуйте. 7. Что такое верхняя и нижняя кульминации светила? 8. Исходя из понятия «кульминация светила», дайте определение восходящим и заходящим светилам, незаходящим, невосходящим. 9. Выясните с помощью ПКЗН: а) Какие яркие звезды будут кульминировать сегодня между 20 и 21 ч? б) Какие созвездия никогда не заходят в вашей местности?

§ 4. ИЗМЕНЕНИЕ ВИДА ЗВЕЗДНОГО НЕБА В ТЕЧЕНИЕ ГОДА

1. **Экваториальная система координат.** Подобно тому как положение любого пункта на земной поверхности однозначно фиксируется географическими координатами (φ и λ — географической широтой и географической долготой), положение светил на небесной сфере определяется экваториальными координатами. Прежде чем познакомиться с ними, введем понятия «небесный экватор» и «круг склонения».

Плоскость, проходящая через центр небесной сферы и проведенная перпендикулярно оси мира, пересекает небесную сферу по большому кругу QWQ_1E — небесному экватору (см. рис. 11). Небесный экватор пересекается с горизонтом в точках востока (E) и запада (W). Ясно, что все суточные параллели расположены параллельно небесному экватору (см. рис. 11).

Большой круг небесной сферы, проходящий через полюсы мира и наблюдаемое светило, называется кругом склонения светила (рис. 12).

Угловое расстояние светила от плоскости небесного экватора, измеренное вдоль круга склонения (см. рис. 12), называется склонением светила (δ). Склонение выражается в градусах, минутах и секундах. Небесный экватор делит небесную сферу на северное и южное полушария. Склонения звезд северного полушария могут быть от 0 до 90° , а склонения звезд южного полушария — от 0 до -90° . Очевидно, δ аналогично φ .

Вторая координата в экваториальной системе — прямое восхождение (α). Она аналогична λ . Отсчет долгот на земном шаре ведут, как вы знаете, от начального меридиана. Отсчет прямых восхождений ведут от точки весеннего равноденствия (Υ). В этой точке небесного экватора бывает центр Солнца в день весеннего равноденствия (21 марта). Прямое восхождение отсчитывается вдоль небесного экватора в сторону, противоположную суточному вращению небесной сферы (см. рис. 12). Прямое восхождение α (как и λ) выражается либо в градусах, минутах и секундах дуги, либо в часах, минутах и секундах времени. Обычно используется часовая мера (от 0 до 24 ч). Так как полный оборот (360°) небесная сфера совершает за 24 ч, то 1 ч (1^h — такое обозначение принято в астрономии) соответствует 15° , 1 мин (1^m) — $15'$, 1 с (1^s) — $15''$ дуги.

При суточном вращении небесной сферы положение звезд по отношению к небесному экватору не изменяется. Поэтому экваториальные координаты (как и географические) используются для создания карт, атласов, каталогов (списков звезд).

На своей звездной карте вы найдете северный полюс мира (центр карты), небесный экватор, точку весеннего равноденствия, начала отсчетов склонений и прямых восхождений. Следовательно, пользуясь этой картой, можно приближенно определять экваториальные координаты звезд или, наоборот, по заданным α и δ наносить положения звезд и других светил на карту.

2. Видимое годичное движение Солнца. В отличие от звезд, экваториальные координаты которых остаются неизменными на протяжении многих месяцев и даже лет, есть светила, α и δ которых быстро изменяются. К числу таких светил, которые не только участвуют (как звезды) в суточ-

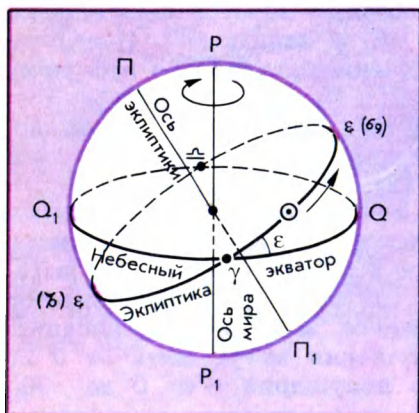


Рис. 13. Взаимное расположение небесного экватора и эклиптики.

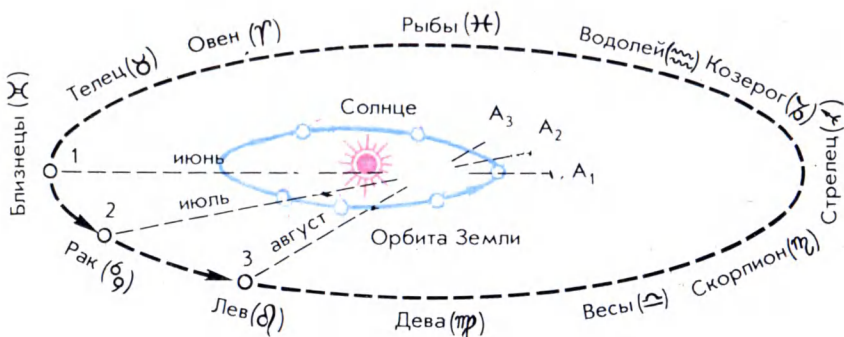


Рис. 14. Движение Земли вокруг Солнца и кажущееся годичное движение Солнца по эклипке.

ном движении, но и совершают собственные перемещения на небесной сфере, относится Солнце. В день весеннего равноденствия оно, как вы знаете, находится в точке весеннего равноденствия (Υ). Значит, 21 марта его координаты $\delta = 0^\circ$ и $\alpha = 0^h$. Как показывают наблюдения, в течение года эти координаты непрерывно изменяются. К 22 июня (день летнего солнцестояния) они уже будут: $\delta_\odot = +23^\circ 27'$, $\alpha_\odot = 6^h$, а в день осеннего равноденствия (23 сентября) $\delta_\odot = 0^\circ$, $\alpha_\odot = 12^h$. И наконец, 22 декабря (день зимнего солнцестояния) $\delta_\odot = -23^\circ 27'$, $\alpha_\odot = 18^h$, а 21 марта снова: $\delta_\odot = 0^\circ$ и $\alpha_\odot = 0^h$. Уже из этих данных следует, что в течение года Солнце движется по большому кругу небесной сферы, который наклонен к плоскости небесного экватора под углом $23^\circ 27'$ (рис. 13). Этот большой круг называется **эклиптикой**. Эклиптика и экватор пересекаются в точке весеннего равноденствия Υ (знак созвездия Овна) и в точке осеннего равноденствия ϖ (знак созвездия Весов). Всю эклиптику Солнце проходит ровно за год, т. е. перемещается по ней в сутки (в среднем) примерно на 1° . Созвездия, через которые проходит эклиптика, называются **зодиакальными** (рис. 14); их число соответствует числу месяцев в году (созвездие Змееносца к зодиакальным не относится).

О том, что Солнце имеет годовое движение, знали еще древние астрономы. Но правильное объяснение этому наблюдаемому явлению было дано лишь тогда, когда выяснилось, что Земля обращается вокруг Солнца. *Видимое движение Солнца по эклипке — отражение действительного движения Земли вокруг Солнца* (см. рис. 14).

3. Годичное движение Солнца и вид звездного неба. Поскольку положение звезд на небесной сфере однозначно

определяется парой экваториальных координат, практически не изменяющихся на протяжении длительных промежутков времени, вид звездного неба в данный момент суток в данном месте Земли должен быть, казалось бы, одним и тем же. Однако это не так. Воспользовавшись ПКЗН, каждый из вас может обнаружить, что в течение года вид звездного неба непрерывно изменяется. Например, в разные даты вблизи небесного меридиана в полночь проходят, сменяя друг друга, различные созвездия. Подобные наблюдения как раз и привели к выводу об изменении прямого восхождения Солнца. Действительно, в полночь, когда Солнце находится в нижней кульминации под горизонтом, его прямое восхождение на 12^h отличается от прямого восхождения звезд, находящихся в это время в верхней кульминации. Но так как в разные дни года в полночь кульминируют разные звезды, то из этого непосредственно следует, что прямое восхождение Солнца (α_{\odot}) непрерывно изменяется в течение года.

Вопросы-задания для самоконтроля

1. В связи с чем появилась необходимость введения экваториальных координат светил? 2. Выясните с помощью ПКЗН: а) До какого склонения нанесены звезды на эту карту? б) Каковы экваториальные координаты Денеба, Капеллы и Спика? (Результат сравнить с данными Приложения Х.) в) Экваториальные координаты двух звезд: $\alpha = 14,2^h$; $\delta = +20^\circ$ и $\alpha = 4,5^h$; $\delta = +16,3^\circ$. Что это за звезды? г) В каких зодиакальных созвездиях Солнце бывает летом, осенью, зимой и весной? д)* Сравните суточные пути Солнца (находя точки восхода и захода Солнца, а также оценив по карте его полуденные высоты) в вашей местности в дни равноденствий и солнцестояний. 3. Чем замечательны дни равноденствий и солнцестояний? 4. Можно ли рассматривать годовое движение Солнца по эклиптике как доказательство обращения Земли вокруг Солнца? 5. Совпадают ли в пространстве плоскость эклиптики и плоскость, в которой Земля движется вокруг Солнца? 6. Под каким углом плоскость экватора Земли наклонена к плоскости эклиптики?

§ 5. СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ШИРОТЫ

1. **Высота полюса мира и географическая широта места наблюдения.** В одно и то же время вид звездного неба на различных географических широтах неодинаков. Так, например, в Москве высота Полярной звезды около 56° , в Мурманске 68° , во Владивостоке 43° . Поскольку Полярная звезда отстоит от северного полюса мира примерно на 1° (ее

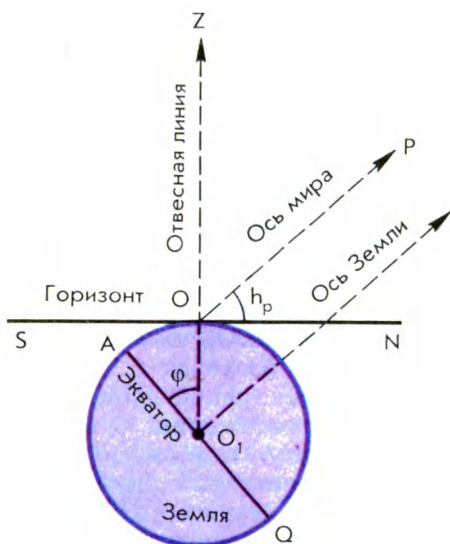


Рис. 15. Высота полюса мира равна географической широте.

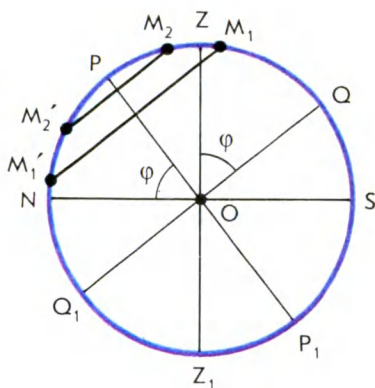


Рис. 16. Небесная сфера в проекции на плоскость меридиана.

склонение $\delta \approx 89^\circ 16'$), то и высота полюса мира на разных широтах будет различной. Докажем, что всюду высота полюса мира (h_p) равна географической широте места наблюдения (φ). Для этого рассмотрим рисунок 15.

В точке O на поверхности Земли находится наблюдатель. $\angle AO_1O = \varphi$ — географическая широта места наблюдения (O). Продолжив радиус Земли OO_1 , получим направление отвесной линии OZ . Плоскость горизонта, как вы знаете, перпендикулярна отвесной линии и проходит через точку, в которой находится наблюдатель. Следовательно, касательная SN — полуденная линия. Наблюдатель видит северный полюс мира в направлении OP (ось мира параллельна оси Земли). $\angle PON$ — высота полюса мира (h_p). Легко видеть, что $\angle PON = \angle AO_1O$ (как углы с соответственно перпендикулярными сторонами). Следовательно,

$$h_p = \varphi, \quad (2)$$

т. е. *высота полюса мира равна географической широте места наблюдения*. Поэтому приблизительно географическую широту места наблюдения можно определить, измерив высоту Полярной звезды.

2. Суточное движение звезд на разных широтах. Мы знаем (§ 3.3), как происходит суточное вращение звезд на

средних широтах ($0^\circ < \varphi < 90^\circ$). Теперь нам предстоит узнать, каким увидит это явление наблюдатель, находящийся на Северном полюсе Земли или на земном экваторе.

Географическая широта Северного полюса Земли $\varphi = 90^\circ$. Значит, там северный полюс мира находится в зените ($h_p = 90^\circ$), небесный экватор совпадает с горизонтом, а звезды описывают свои суточные пути над горизонтом, двигаясь параллельно ему, и не заходят. Полярную звезду наблюдатель будет видеть у себя над головой.

Географическая широта точек земного экватора $\varphi = 0^\circ$. Полярная звезда видна там вблизи горизонта ($h_p = 0^\circ$). Плоскость небесного экватора перпендикулярна к плоскости горизонта. Все звезды на земном экваторе восходят и заходят, а их суточные пути расположены отвесно по отношению к горизонту. Следовательно, уже по расположению суточных параллелей по отношению к горизонту можно получить представление о географической широте места.

3*. Связь между δ , z (или h) и φ . Некоторые важные для практических целей соотношения легко получить, проецируя сферу на плоскость небесного меридиана (рис. 16). В точке M_1 находится светило, верхняя кульминация которого происходит к югу от зенита (склонение светила δ_1 , а зенитное расстояние z_1). $\check{Z}\check{Q} = \varphi$, так как $\check{Z}\check{Q} = \check{P}\check{N} = h_p$, $\check{Z}\check{M}_1 = z_1$, а $\check{Q}\check{M}_1 = \delta_1$. Поскольку $\check{Z}\check{Q} = \check{Q}\check{M}_1 + \check{Z}\check{M}_1$, то

$$\varphi = \delta_1 + z_1. \quad (3)$$

Учитывая, что $z = 90^\circ - h$ (1), равенство (3) можно представить в виде:

$$\varphi = \delta_1 + (90^\circ - h_1). \quad (3')$$

Теперь рассмотрим светило, верхняя кульминация которого происходит к северу от зенита (например, в точке M_2). Находим, что $z_2 = \check{Z}\check{M}_2$, а $\delta_2 = \check{Q}\check{M}_2$. Так как $\check{Q}\check{M}_2 - \check{Z}\check{M}_2 = \check{Z}\check{Q} = \varphi$, то

$$\varphi = \delta_2 - z_2, \quad (4)$$

или с учетом зависимости (1)

$$\varphi = \delta_2 - (90^\circ - h_2). \quad (4')$$

Из формул (3') и (4') следует, что, измерив в момент верхней кульминации высоту (зенитное расстояние) светила и

взяв из каталога склонение этого светила, можно вычислить географическую широту места наблюдения. Формулы (3) и (4) легко объединить в одну:

$$\varphi = \delta \pm z. \quad (5)$$

Если же географическая широта известна, то легко вычислить *высоту светила в верхней кульминации*:

$$h_1 = 90^\circ - \varphi + \delta_1 \quad (3'')$$

(для светила, кульминирующего к югу от зенита);

$$h_2 = 90^\circ + \varphi - \delta_2 \quad (4'')$$

(для светила, кульминирующего к северу от зенита).

Пример 1. Какой наибольшей высоты достигает Вега ($\delta = +38^\circ 47'$) в Москве ($\varphi = 55^\circ 45'$)?

Д а н о :

$$\delta = +38^\circ 47'$$

$$\varphi = 55^\circ 45'$$

$$h \text{ — ?}$$

Р е ш е н и е :

Сделав чертеж небесной сферы в проекции на плоскость меридиана, убеждаемся, что нужно воспользоваться формулой (3''):
 $h = 90^\circ - \varphi + \delta = 90^\circ - 55^\circ 45' + 38^\circ 47' = 73^\circ 02'$,
 т. е. в момент верхней кульминации Вега будет находиться над точкой юга на высоте $73^\circ 02'$.

$$\text{О т в е т : } h = 73^\circ 02'.$$

Вопросы-задания для самоконтроля

1. Как приближенно определить географическую широту места из наблюдения Полярной звезды? 2. Сделайте чертежи, показывающие, как происходит суточное движение звезд на разных широтах. 3*. Пользуясь рисунком 16, докажите, что географическую широту места наблюдения можно вычислить по формуле:

$$\varphi = 180^\circ - (z + \delta), \quad (6)$$

где δ и z соответственно склонение и зенитное расстояние звезды в момент *нижней* кульминации. 4*. Кульминируют ли светила на Северном полюсе Земли? 5. Звезда Капелла в момент верхней кульминации видна на высоте $79^\circ 17'$. Найдите географическую широту места наблюдения. 6*. Незаходящая звезда наблюдается в верхней кульминации на высоте $50^\circ 46'$, а в нижней — на высоте $35^\circ 54'$. На какой географической широте

находится наблюдатель? Каково склонение этой звезды? 7. Как найти страны света, ориентируясь по Солнцу? 8. По какой из известных вам формул следует вычислять полуденную высоту Солнца?

§ 6. ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ

1. Введение. Периодические явления, сопровождающие суточное вращение небесной сферы и видимое годовое движение Солнца по эклиптике, лежат в основе различных систем счета коротких и длинных промежутков времени. С некоторыми из этих систем мы и познакомимся.

2. Связь времени с географической долготой. Системы счета времени. Момент верхней кульминации центра Солнца называется истинным полднем, а нижней — полночью. Промежуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями центра Солнца называется истинными солнечными сутками. Их продолжительность не остается одинаковой на протяжении года (из-за неравномерного движения Солнца по эклиптике и ее наклона к небесному экватору). Поэтому в повседневной жизни используются не истинные, а средние солнечные сутки, продолжительность которых принята постоянной.

Кульминация любой точки небесной сферы (точки весеннего равноденствия, центра Солнца, «среднего Солнца», звезды и т. д.) происходит в разное время на разных меридианах земного шара. Причем тем раньше, чем восточнее расположен пункт наблюдения. Из этого следует, что в данном месте Земли время связано с географической долготой. Если в данный момент на нулевом (гринвичском) меридиане среднее время T_0 (оно называется всемирным), то в местности с географической долготой λ оно будет T_λ , причем T_λ отличается от T_0 на число часов, минут и секунд, равное λ :

$$T_\lambda = T_0 + \lambda. \quad (7)$$

Запишем эту формулу для двух пунктов земной поверхности, расположенных на географических долготах λ_1 и λ_2 :

$$T_{\lambda_1} = T_0 + \lambda_1,$$

$$T_{\lambda_2} = T_0 + \lambda_2.$$

Отсюда следует важное соотношение, позволяющее определять географическую долготу места наблюдения:

$$T_{\lambda_1} - T_{\lambda_2} = \lambda_1 - \lambda_2. \quad (8)$$

Действительно, узнав разность времен в двух пунктах, долгота одного из которых известна, можно определить долготу другого пункта.

Строго говоря, время всюду свое и различно не только в пределах области, но даже большого города. Отсюда, как вы знаете из курса географии, возникла необходимость введения поясного счета времени (в нашей стране поясное время введено с 1 июля 1919 г.). Каждый часовой пояс простирается по долготе на 15° , или 1^h . Всего, следовательно, 24 часовых пояса. По территории России проходит 11 часовых поясов (от II до XII включительно). Нулевой пояс — *г р и н в и ч с к и й*. Внутри каждого пояса используется время его центрального меридиана, а границы поясов проведены либо по государственным и административным границам, либо по естественным рубежам (реки, горные хребты).

Зная всемирное время (T_0) и номер пояса данного места (n), легко найти поясное время:

$$T_n = T_0 + n. \quad (9)$$

Из формул (7) и (9) следует, что

$$T_n - T_\lambda = n - \lambda. \quad (10)$$

На территории Российской Федерации с 19 января 1992 г. установлен следующий порядок исчисления времени. Во-первых, к поясному времени прибавляется 1 час. Во-вторых, ежегодно стрелки часов переводятся на 1 час вперед в последнее воскресенье марта в 2 часа ночи (так вводится *летнее время*, T_λ), а в последнее воскресенье сентября (в 3 часа ночи) стрелки часов переводятся на 1 час назад. Таким образом, летнее время у нас впереди поясного на 2 часа:

$$T_\lambda = T_n + 1^h. \quad (11)$$

Летнее время не нарушает привычный ритм жизни, но позволяет существенно экономить электроэнергию, расходуемую на освещение.

Московское время — это местное время в столице России, находящейся во II часовом поясе ($n = 2$). Оно рекомендуется как единое время для Российской Федерации. На большей части территории нашей страны время отличается от московского, но всегда это отличие кратно целым числам и хорошо известно местным жителям.

В эпоху современного научно-технического прогресса измерение времени приобрело особое значение и требует самых современных методов, обеспечивающих точность вре-

мени до миллиардной доли секунды в сутки. Современная служба времени оснащена молекулярными и атомными часами, обеспечивающими подобную точность. Единица времени (секунда) включена в число основных единиц Международной системы СИ.

Пример 2. 25 мая в Москве ($n_1 = 2$) часы показывают $10^{\text{ч}}45^{\text{м}}$. Какое среднее, поясное и летнее время в этот момент в Новосибирске ($n_2 = 6$, $\lambda_2 = 5^{\text{ч}}31^{\text{м}}$)?

Д а н о :

$$T_{\text{л}_1} = 10^{\text{ч}}45^{\text{м}}$$

$$n_1 = 2$$

$$n_2 = 6$$

$$\lambda_2 = 5^{\text{ч}}31^{\text{м}}$$

$$T_{\lambda_2} \text{ — ?}$$

$$T_{n_2} \text{ — ?}$$

$$T_{\text{л}_2} \text{ — ?}$$

Р е ш е н и е :

Зная московское летнее время $T_{\text{л}_1}$, найдем T_0 — всемирное время: $T_0 = T_{\text{л}_1} - n_1 - 1^{\text{м}}$.

$$T_0 = 10^{\text{ч}}45^{\text{м}} - 2^{\text{ч}} - 1^{\text{ч}} = 7^{\text{ч}}45^{\text{м}}.$$

В этот момент в Новосибирске:

$$T_{\lambda_2} = T_0 + \lambda_2 = 7^{\text{ч}}45^{\text{м}} + 5^{\text{ч}}31^{\text{м}} = 13^{\text{ч}}16^{\text{м}};$$

$$T_{n_2}^{\lambda_2} = T_0 + n_2 = 7^{\text{ч}}45^{\text{м}} + 6^{\text{ч}} = 13^{\text{ч}}45^{\text{м}};$$

$$T_{\text{л}_2} = T_{n_2} + 1^{\text{ч}} = 14^{\text{ч}}45^{\text{м}}.$$

3*. Понятие о летосчислении. Из многочисленных наблюдений известно, что промежуток времени между двумя последовательными прохождениями Солнца через точку весеннего равноденствия (Υ) составляет 365 суток 5 часов 48 минут 46 секунд (365,2422 суток). Это тропический год. Он положен в основу солнечного календаря, т. е. счета длительных промежутков времени, связанных со сменой сезонов года. Составление календаря затруднено тем, что *продолжительность тропического года несоизмерима с продолжительностью суток*. Чтобы начало весны приходилось примерно на один и тот же день года, календарный год должен содержать целое число суток с продолжительностью, близкой к продолжительности тропического года.

В юлианском календаре (*старый стиль*, введенный в 46 г. до н. э. Юлием Цезарем) средняя продолжительность года составляла 365,25 суток: три года содержали по 365 суток, а четвертый (високосный) — 366. Мы видим, что год юлианского календаря длиннее тропического. Легко подсчитать, что за каждые 400 лет различие достигает 3 суток (и, например, весеннее равноденствие будет наступать по этому календарю на 3 дня раньше). Накопившееся расхождение было ликвидировано, когда в 1582 г. папа Григорий XIII ввел *новый стиль* (григорианский календарь). В результате проведенной реформы календаря, во-первых, 5 октября 1582 г. объявили 15-м октября. Во-вторых, годы типа 1700, 1800, 1900, 2100 (у них число сотен не делится на 4) решили считать *простыми*, а не високосными. Исключая годы этого типа, все остальные, но-

мера которых делятся без остатка на 4, считаются високосными. Ошибка в одни сутки накапливается в григорианском календаре (в котором продолжительность года составляет 365,2425 суток) за 3300 лет.

В нашей стране новый стиль был введен в 1918 г. Расхождение юлианского календаря со счетом времени тогда достигло 13 суток, и день 1 февраля декретом Совнаркома предписывалось считать 14 февраля. Расхождение в 13 дней сохранится до 2100 г. (лишь после 28 февраля 2100 г. оно достигнет 14 дней).

В настоящее время обсуждается проблема создания такого календаря, в котором год более равномерно разделялся бы на полугодия, кварталы и т. д., а каждая дата имела бы постоянный день недели.

Вопросы-задания для самоконтроля

1*. Вы познакомились с истинным солнечным временем, средним, местным, поясным и летним временем. Означает ли это, что реально существует много «разных времен»? 2. По какому времени мы живем? 3. Почему на вокзалах и в аэропортах нередко можно видеть двое часов, показывающих различное время? 4. Во Владивостоке ($\lambda = 8^{\circ}47^{\text{м}}$; $n = 9$) 15 мая $6^{\text{ч}}50^{\text{м}}$ вечера. Какое в этот момент среднее, поясное и летнее время в Омске ($\lambda = 4^{\circ}54^{\text{м}}$, $n = 5$)? 5*. Самолет вылетел 10 ноября из Екатеринбурга ($n = 4$) в $11^{\text{ч}}20^{\text{м}}$ и прибыл точно по расписанию в Иркутск ($n = 7$) в $17^{\text{ч}}45^{\text{м}}$. Сколько времени он летел и какие моменты вылета и прибытия указаны в расписании? 6*. Почему нельзя раз и навсегда создать абсолютно точный календарь? 7*. М. В. Ломоносов родился 8 ноября 1711 г. Какого числа (по новому стилю) будет отмечено 300-летие великого русского ученого?

Что полезно знать, изучив тему «Введение в астрономию»

1. Астрономия изучает небесные тела (звезды, планеты и т. д.), их системы, явления и процессы, происходящие во Вселенной.

2. Астрономия — одна из фундаментальных наук о природе, тесно связанная с физикой, математикой, науками о Земле, философией, космонавтикой.

3. Современная физика использует Вселенную как гигантскую и уникальную космическую лабораторию.

4. Астрономия необходима для развития геодезии, картографии, мореплавания, авиации, космических исследований.

5. Астрономия имеет большое значение для формирования мировоззрения.

6. В основу астрономии положены наблюдения, которые выполняются с помощью современных оптических и радиотелескопов.

7. Созвездие — это участок неба, включающий в себя звезды и другие постоянно находящиеся в нем астрономические объекты, в пределах строго определенных границ.

8. Небесная сфера — это воображаемая сфера с центром в произвольной точке пространства. На небесной сфере возможны только угловые измерения.

9. Суточное вращение небесной сферы обусловлено вращением Земли вокруг оси.

10. Изменение вида неба в течение года (и годичное движение Солнца по эклиптике) обусловлено обращением Земли вокруг Солнца.

11. Видимое суточное вращение небесной сферы и годичное движение Солнца по эклиптике убеждают нас в том, что наблюдаемые явления природы надо тщательно изучать, чтобы знать их сущность (истинную причину).

12. В основу составления каталогов, построения звездных карт и атласов положены экваториальные координаты звезд α и δ .

13. Введение различных систем счета времени (местное, поясное, летнее) вызвано потребностями жизни и производственной деятельности людей.

14. Календарь представляет собой систему счета длительных промежутков времени. Мы живем по новому стилю (григорианский календарь).

Что желательно уметь, изучив тему «Введение в астрономию»

1. Пользоваться ПКЗН и по ней узнавать, какие созвездия видны в данный момент времени; определять α и δ звезд и Солнца, а также по заданным координатам этих светил находить их место на карте.

2*. По формулам (3") и (4") вычислять высоты светил в верхней кульминации.

3*. По формулам (5) и (8) вычислять географические координаты φ и λ .

4. По формулам (9) — (11) осуществлять переход к разным системам счета времени.

5. Находить страны света по Полярной звезде и полуденному Солнцу.

6. Отыскивать на небе следующие созвездия и наиболее яркие звезды в них: Большую Медведицу, Малую Медведицу (с Полярной звездой), Кассиопею, Лиру (с Вегой), Орел (с Альтаиром), Лебедь (с Денебом).

II. СТРОЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

§ 7. ВИДИМОЕ ДВИЖЕНИЕ ПЛАНЕТ

1. **Петлеобразное движение планет.** Общее представление о строении Солнечной системы вы получили еще в курсе природоведения. Теперь вам предстоит более глубоко изучить строение Солнечной системы, и начнем с описания и анализа наблюдаемого движения планет (рис. 17).

Невооруженным глазом можно увидеть пять планет — *Меркурий, Венеру, Марс, Юпитер и Сатурн*. Планету по внешнему виду нелегко отличить от звезды, тем более что не всегда она бывает значительно ярче ее. Планеты относятся к числу тех светил, которые не только участвуют в суточном вращении небесной сферы, но еще и смещаются (иногда незаметно) на фоне зодиакальных созвездий. С этой особенностью планет связано само слово «планета», которым древние греки называли «блуждающие» светила. Чем лучше вы будете знать звездное небо, тем скорее обнаружите на

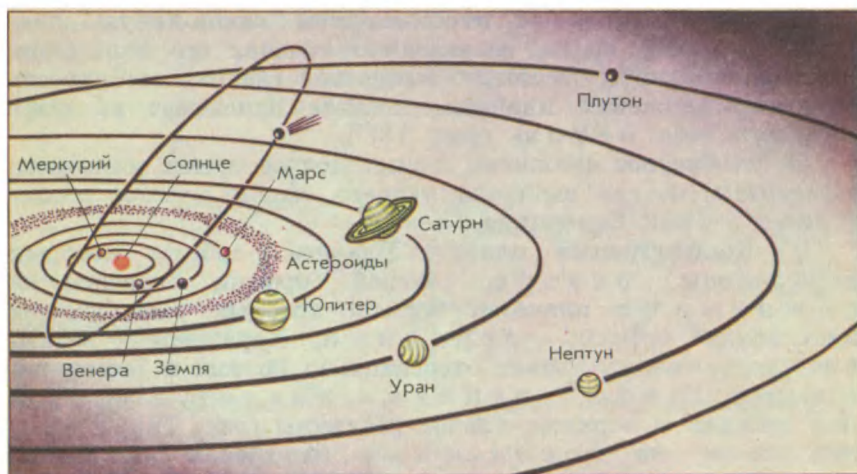


Рис. 17. Строение Солнечной системы.

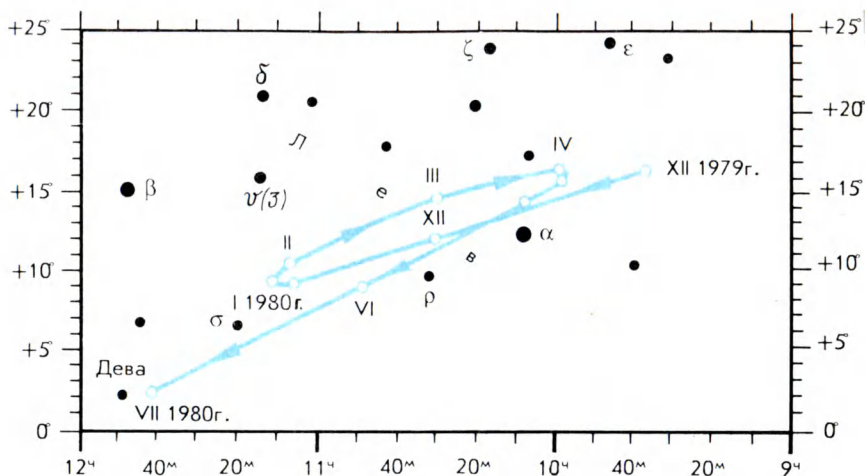


Рис. 18. Видимое движение планеты. Такую петлю описал на фоне звездного неба Марс с ноября 1979 г. по июль 1980 г. (римские цифры означают первые числа месяца).

нем планеты как «лишние» светила в созвездиях. В 8-кратный бинокль (а лучше телескоп!) можно заметить, что Венера, Юпитер, Сатурн имеют диски, в отличие от звезд, которые в оптические инструменты видны как точечные объекты.

Если проследить за перемещением какой-нибудь планеты, например Марса, ежемесячно отмечая его положение на звездной карте, то может выявиться главная особенность видимого движения планеты: планета описывает на фоне звездного неба петлю (рис. 18).

Петлеобразное движение планет долгое время оставалось загадочным и, как вы скоро узнаете, нашло простое объяснение в учении Коперника.

2*. Конфигурации планет. Планеты, орбиты которых расположены внутри земной орбиты, называются *нижними*, а планеты, орбиты которых расположены вне земной орбиты, — *верхними*. Характерные взаимные расположения планет относительно Солнца и Земли называются *конфигурациями планет*. Конфигурации нижних и верхних планет различны (рис. 19). У нижних планет это *соединения* (*верхнее* и *нижнее*) и *элонгации* (*восточная* и *западная*; это наибольшие угловые удаления планеты от Солнца). У верхних планет — *квадратуры* (*восточная* и *западная*; слово «квадра-

тура» означает «четверть круга»), соединение и противостояние.

Видимое движение нижних планет напоминает колебательное движение около Солнца. Нижние планеты лучше всего наблюдать вблизи элонгаций (наибольшая элонгация Меркурия — 28° , а Венеры — 48°). С Земли в это время видно не все освещенное Солнцем полушарие планеты, а лишь часть его (фаза планеты). При восточной элонгации планета видна на западе вскоре после захода Солнца, при западной — на востоке незадолго перед восходом Солнца.

Верхние планеты лучше всего видны вблизи противостояний, когда к Земле обращено все освещенное Солнцем полушарие планеты.

3*. Сидерические (звездные) и синодические периоды обращения планет. Промежуток времени, в течение которого планета совершает полный оборот вокруг Солнца по орбите, называется сидерическим (или звездным) периодом обращения (T), а промежуток времени между двумя одинаковыми конфигурациями планеты — синодическим периодом (S).

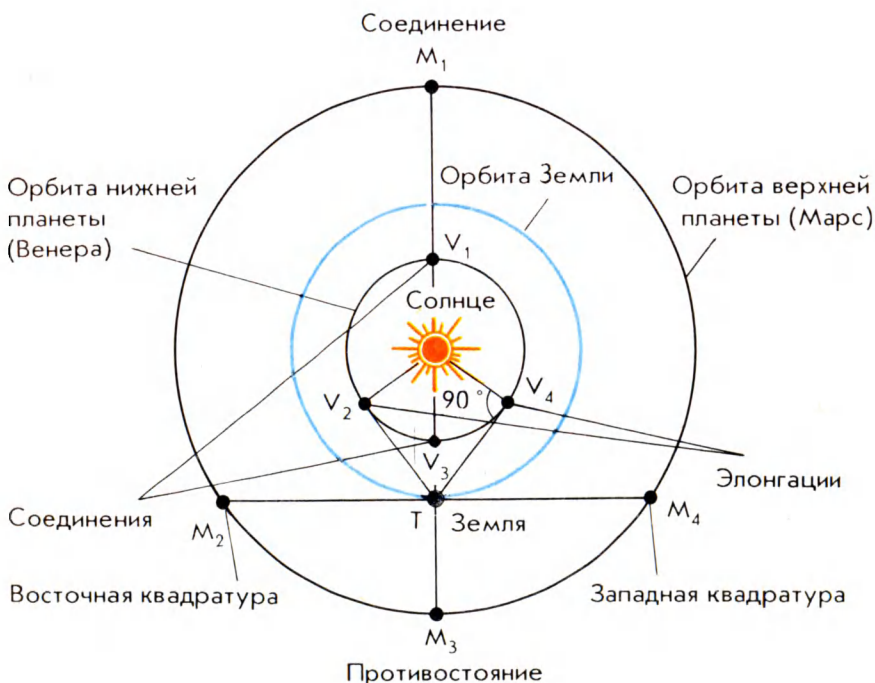


Рис. 19. Конфигурация планет.

Планеты движутся вокруг Солнца в одном направлении, и каждая из них через промежуток времени, равный ее сидерическому периоду, совершит один полный оборот вокруг Солнца. Через промежуток времени, равный, например, сидерическому периоду Земли (T_{\oplus}), нижняя планета обгонит Землю, а верхняя отстанет от нее, т. е. первоначальная конфигурация планет не восстановится. Следовательно, синодический период не равен сидерическому. Между обоими периодами существует зависимость, ее легко установить. Для этого сравним дуги, на которые в течение суток сместятся по орбите какая-нибудь планета $\left(\frac{360^\circ}{T}\right)$ и Земля $\left(\frac{360^\circ}{T_{\oplus}}\right)$. Разность этих средних перемещений есть наблюдаемое суточное смещение планеты $\left(\frac{360^\circ}{S}\right)$. Значит, для нижней планеты, которая движется по орбите быстрее Земли, можно написать

$$\frac{360^\circ}{S} = \frac{360^\circ}{T} - \frac{360^\circ}{T_{\oplus}},$$

или

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{T_{\oplus}}, \quad (12)$$

а для верхней, которая движется медленнее, чем Земля, —

$$\frac{360^\circ}{S} = \frac{360^\circ}{T_{\oplus}} - \frac{360^\circ}{T},$$

или

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_{\oplus}} - \frac{1}{T}. \quad (13)$$

Формулы (12) и (13) называются *уравнениями синодического движения*. В них $T_{\oplus} = 1$ году (или 365,26 сут).

Пример 3. Как часто повторяются противостояния Марса, сидерический период которого 1,9 года?

Д а н о :

$$\begin{aligned} T_{\oplus} &= 1 \text{ г.} \\ T &= 1,9 \text{ г.} \end{aligned}$$

S — ?

Р е ш е н и е :

Очевидно, нужно найти синодический период этой (верхней) планеты. Для этого воспользуемся формулой (13):

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_{\oplus}} - \frac{1}{T}; \quad \frac{1}{S} = \frac{T - T_{\oplus}}{T_{\oplus}T}.$$

$$S = \frac{T_{\oplus} T}{T - T_{\oplus}} = \frac{1,9}{0,9} \text{ г.} \approx 2,1 \text{ г.}$$

О т в е т : $S = 2,1 \text{ г.}$

Вопросы-задания для самоконтроля

1. Почему на звездных картах не указывают положение планет? 2. Пользуясь «Школьным астрономическим календарем», выясните, в какие месяцы данного года (и в каких созвездиях) можно наблюдать Марс, Юпитер, Сатурн. 3. Какие планеты относятся к нижним, а какие — к верхним? 4. Рассмотрите, каким бывает взаимное расположение планет во время соединений, элонгаций, противостояний и квадратур (см. рис. 19), и дайте определение каждой конфигурации. 5. Почему соединения не считают удобными конфигурациями для наблюдения нижних и верхних планет? 6. Во время каких конфигураций хорошо видны верхние и во время каких — нижние планеты? 7. Какие планеты могут пройти на фоне диска Солнца, а какие не могут? 8. Нижние соединения Венеры повторяются каждые 1,6 года. За сколько земных суток эта планета делает полный оборот вокруг Солнца? 9. Зная, что Юпитер совершает один оборот вокруг Солнца за 12 лет, найдите промежуток времени между его противостояниями.

§ 8. РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ

1. Астрономия в древности. Трудно точно сказать, когда именно зародилась астрономия: до нас почти не дошли сведения, относящиеся к доисторическим временам. В ту отдаленную эпоху, когда люди были совершенно бессильны перед природой, возникла вера в могущественные сверхъестественные силы, которые будто бы создали мир и управляют им. На протяжении многих веков обожествлялись Луна, Солнце, планеты. Об этом мы узнаем из мифов всех народов мира.

Первые представления о мироздании были очень наивными, они тесно переплетались с религиозными верованиями, в основу которых было положено разделение мира на две части — земную и небесную. Если сейчас каждый школьник знает, что Земля сама является небесным телом, то раньше «земное» противопоставлялось «небесному». Ду-

мали, что существует «твердь небесная», к которой прикреплены звезды, а Землю принимали за неподвижный центр мироздания.

2. Геоцентрические системы мира. Представление о центральном положении Земли во Вселенной впоследствии было положено учеными Древней Греции в основу геоцентрической системы мира. Так, крупнейший греческий философ и ученый-энциклопедист *Аристотель* (384—322 гг. до н. э.), уже знавший (из наблюдений *лунных затмений*) о шарообразности Земли, считал, что Земля неподвижна. Он отмечал, что если бы Земля двигалась, то это движение можно было бы обнаружить по изменению положений звезд на небе. На самом деле такие кажущиеся (или *параллактические*) смещения звезд происходят, но из-за огромной удаленности звезд эти смещения ничтожно малы и были впервые обнаружены лишь в XIX в.

Достижения античной астрономии во II в. н. э. обобщил александрийский астроном *Клавдий Птолемей*. Он разработал геоцентрическую систему мира, согласно которой вокруг неподвижной Земли движутся Луна, Меркурий, Венера, Солнце, Марс, Юпитер, Сатурн и «сфера неподвижных звезд». На протяжении многих веков церковь поддерживала геоцентрическую систему мира, в которой, как и в самом церковном учении, Земле отводилось положение «центра Вселенной».

Несмотря на то что система мира Птолемея основывалась на совершенно ошибочных представлениях о строении Вселенной, она все же объясняла многие особенности видимого движения небесных светил, и в частности петлеобразное движение планет. Этого Птолемей добился, рассматривая движение каждой планеты как комбинацию нескольких равномерных движений. Например, считалось, что планета не просто движется вокруг Земли, а движется около точки, которая сама обращается вокруг Земли. Таблицы, составленные Птолемеем, позволяли определить заранее положение планет на небе. Но с течением времени астрономы обнаружили расхождение наблюдаемых положений планет с предвычисленными. На протяжении веков думали, что система мира Птолемея просто недостаточно совершенна и, пытаясь усовершенствовать ее, вводили для каждой планеты новые и новые комбинации круговых движений.

3. Гелиоцентрическая система мира. Свою систему мира великий польский астроном *Николай Коперник* (1473—1543) изложил в книге «О вращениях небесных сфер», вышедшей в год его смерти. Согласно его учению, в центре мира находится не Земля, а Солнце. Вокруг Земли движется лишь Луна. Сама же Земля является третьей по удаленности от Солнца (после Меркурия и Венеры) планетой. Она обраща-

ется вокруг Солнца и вращается вокруг своей оси. За орбитой Земли расположены орбиты Марса, Юпитера и Сатурна. На очень большом расстоянии от Солнца Коперник поместил «сферу неподвижных звезд».

Система мира, предложенная Коперником, называется гелиоцентрической. Он просто и естественно объяснил петлеобразное движение планет тем, что мы наблюдаем обращающиеся вокруг Солнца планеты не с неподвижной Земли, а с Земли, движущейся тоже вокруг Солнца (рис. 20). Коперник впервые в астрономии не только дал правильную схему строения Солнечной системы, но и определил относительные расстояния (в единицах расстояния Земли от Солнца) планет от Солнца и вычислил период их обращения вокруг него.

Учение Коперника нанесло сокрушительный удар геоцентрической системе мира. Оно далеко вышло за рамки астрономической науки, став мощным толчком для развития всего естествознания.

4. Становление гелиоцентрического мировоззрения. Учение Коперника было признано не сразу. Вы знаете, например, что по приговору инквизиции в 1600 г. был сожжен в Риме выдающийся итальянский философ, последователь Коперника *Джордано Бруно* (1548—1600). Бруно, развивая

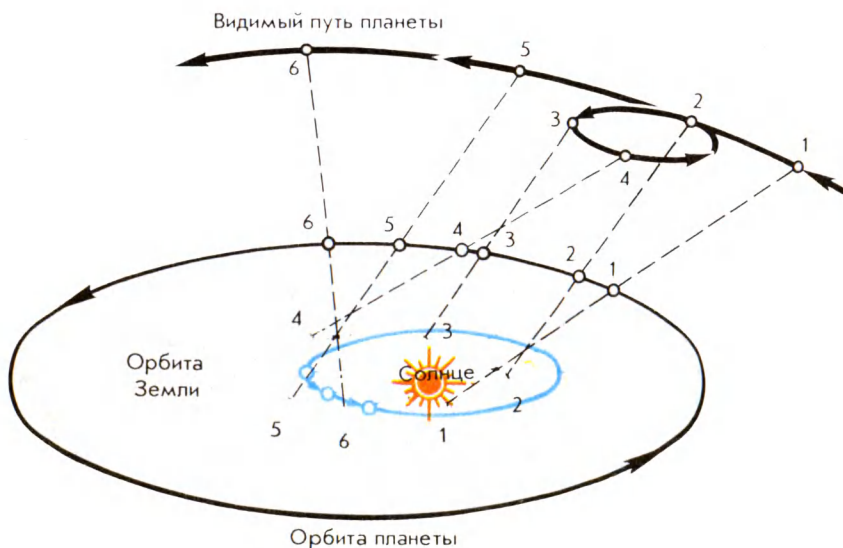
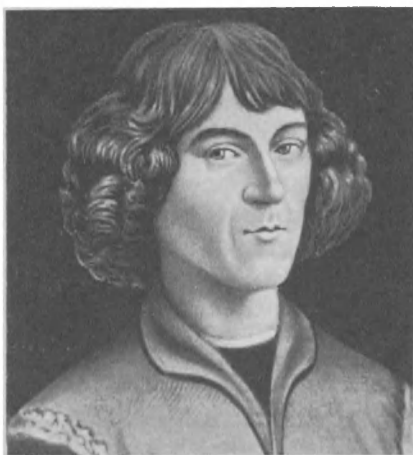


Рис. 20. Объяснение петлеобразного движения планет.



Николай Коперник (1473—1543).

Галилео Галилей (1564—1642).

учение Коперника, утверждал, что во Вселенной нет и не может быть центра, что Солнце — это только центр Солнечной системы. Он также высказывал гениальную догадку о том, что звезды — такие же солнца, как наше, причем вокруг бесчисленных звезд движутся планеты, на многих из которых существует разумная жизнь. Ни пытки, ни костер инквизиции не сломили волю Джордано Бруно, не заставили его отречься от нового учения.

В 1609 г. *Галилео Галилей* (1564—1642) впервые направил на небо телескоп и сделал открытия, наглядно подтверждающие учение Коперника. На Луне он увидел *горы*. Значит, поверхность Луны в какой-то степени сходна с земной и не существует принципиального различия между «земным» и «небесным». Галилей открыл *четыре спутника Юпитера*. Их движение вокруг Юпитера опровергало ошибочное представление о том, что только Земля может быть центром движения небесных тел. Галилей обнаружил, что Венера, подобно Луне, меняет свои *фазы*. Следовательно, Венера — шарообразное тело, которое светит отраженным солнечным светом. Изучая особенности изменения вида Венеры, Галилей сделал правильный вывод о том, что она движется не вокруг Земли, а вокруг Солнца. На Солнце, олицетворявшем «небесную чистоту», Галилей открыл *пятна* и, наблюдая за ними, установил, что Солнце вращается вокруг своей оси. Значит, различным небесным телам, например Солнцу, присуще осевое вращение. Наконец, он обнаружил, что *Млечный Путь* — это множество слабых звезд, не различи-



Михаил Васильевич Ломоносов Иоганн Кеплер (1571—1630).
(1711—1765).

мых невооруженным глазом. Следовательно, Вселенная значительно грандиознее, чем думали раньше, и крайне наивно было предполагать, что она за сутки совершает полный оборот вокруг маленькой Земли.

Открытия Галилея умножили число сторонников гелиоцентрической системы мира и одновременно заставили церковь усилить преследования коперниканцев. В 1616 г. книга Коперника «О вращении небесных сфер» была внесена в список запрещенных книг, а изложенное в ней учение объявлено противоречащим Священному Писанию. Галилею запретили пропагандировать учение Коперника. Однако в 1632 г. ему все-таки удалось опубликовать книгу «Диалог о двух главнейших системах мира — птолемеевой и коперниковой», в которой он сумел убедительно показать истинность гелиоцентрической системы, чем и навлек на себя гнев католической церкви. В 1633 г. Галилей предстал перед судом инквизиции. Престарелого ученого заставили подписать «отречение» от своих взглядов и до конца жизни держали под надзором инквизиции. Лишь в 1992 г. католическая церковь окончательно оправдала Галилея.

Казнь Бруно, официальный запрет учения Коперника, суд над Галилеем не смогли остановить распространения коперниканства. В Австрии *Иоганн Кеплер* (1571—1630) развил учение Коперника, открыв законы движения планет. В Англии *Исаак Ньютон* (1643—1727) опубликовал свой знаменитый закон всемирного тяготения. В России учение Коперника смело поддерживал *М.В. Ломоносов* (1711—1765),

который открыл атмосферу на Венере, защищал идею о множественности обитаемых миров и в остроумных стихах высмеивал сторонников геоцентризма.

Вопросы-задания для самоконтроля

1. В чем сущность и значение открытия Коперника? 2. Какое обоснование и развитие получили идеи гелиоцентризма в трудах Бруно, Галилея и Ломоносова? 3. Каково значение открытий Галилея и почему спустя века церковь была вынуждена оправдать великого ученого? Попробуйте обосновать ваш ответ.

§ 9. ЗАКОНЫ КЕПЛЕРА — ЗАКОНЫ ДВИЖЕНИЯ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ

С древнейших времен считалось, что небесные тела движутся по «идеальным кривым» — окружностям. В теории Коперника круговое движение также не подвергалось сомнению. Однако в XVII в. выяснилось, что на самом деле орбиты небесных тел отличаются от окружностей. Это важное открытие принадлежит Иоганну Кеплеру.

Кеплер не сомневался в правильности основных положений учения Коперника, но он знал, что существуют расхождения между предвычисленными и наблюдаемыми положениями планет. Чтобы ликвидировать это несоответствие, Кеплеру пришлось отказаться от кругового и равномерного движения планет. Для определения гелиоцентрических орбит планет он использовал результаты наблюдений датского астронома *Тихо Браге* (1546—1601). Особенно тщательно Кеплер изучал движение Марса. Итог его многолетних работ — открытие трех основных законов движения планет. Эти законы носят имя Кеплера.

1. Первый закон Кеплера. *Орбита каждой планеты есть эллипс, в одном из фокусов (F_1) которого находится Солнце (рис. 21).*

Форму эллипса, степень его отличия от окружности характеризует отношение:

$$e = \frac{c}{a}, \quad (14)$$

где c — расстояние от центра эллипса до его фокуса; a — большая полуось. Величина e называется эксцентриситетом эллипса. Чем больше e , тем больше эллипс отличается от окружности. Если $c = 0$ (фокусы совпадают с

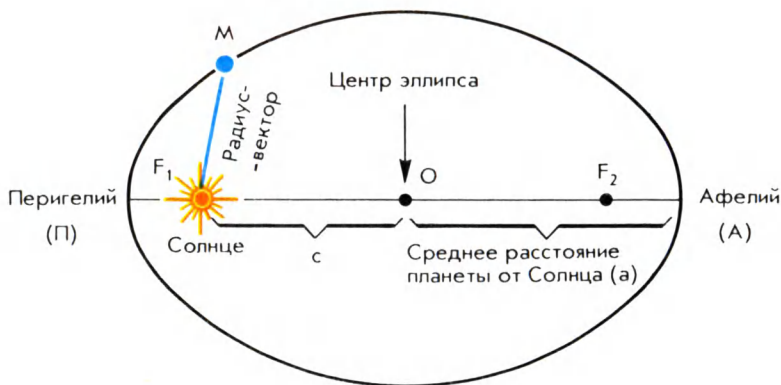


Рис. 21. Орбита планеты — эллипс.

центром), то $e = 0$ и эллипс превращается в окружность радиусом a .

Орбиты Венеры и Земли близки к окружностям (эксцентриситет орбиты Венеры 0,0068, Земли — 0,0167). Орбиты большинства других планет более вытянуты.

Ближайшую к Солнцу точку орбиты (П) называют **перигелием** (греч. *peri* — возле, около; *Гелиос* — Солнце), а наиболее удаленную (А) — **афелием** (греч. *apo* — вдаль). Нетрудно убедиться, что большая полуось орбиты планеты — это ее среднее расстояние от Солнца. Среднее расстояние Земли от Солнца принято в астрономии за единицу расстояния и называется **астрономической единицей** (а. е.):

$$1 \text{ а. е.} = 149\,600\,000 \text{ км.}$$

По эллипсам движутся не только планеты, но и их естественные и искусственные спутники. Ближайшая к Земле точка орбиты Луны или какого-нибудь искусственного спутника Земли называется **перигеем** (греч. *Гея* или *Ге* — Земля), а наиболее удаленная — **апогеем**. У орбит искусственных спутников Луны соответствующие точки получили названия **периселений** (греч. *Селена* — Луна) и **апоселений**.

2. Второй закон Кеплера. Радиус-вектор планеты в равные промежутки времени описывает равные площади.

Площади M_1SM_2 и M_4SM_3 (рис. 22) равны. Отрезки орбиты M_1M_2 и M_3M_4 планета проходит за одинаковые промежутки времени. Но $M_1M_2 > M_3M_4$. Значит, планета

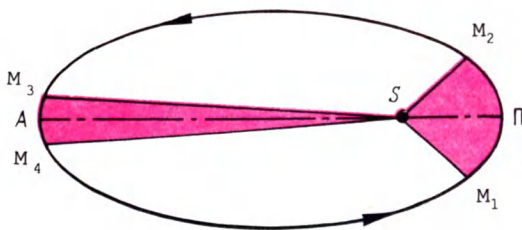


Рис. 22. Второй закон Кеплера.

движется вокруг Солнца (S) неравномерно: линейная скорость планеты вблизи перигелия больше, чем вблизи афелия.

3. Третий закон Кеплера. Квадраты сидерических периодов обращения двух планет относятся как кубы больших полуосей их орбит.

Если большие полуоси орбит двух планет, обращающихся вокруг Солнца, будут a_1 и a_2 , а периоды обращений T_1 и T_2 , то третий закон Кеплера можно записать в виде:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}. \quad (15)$$

Как и первые два, третий закон Кеплера применим не только к движению планет, но и к движению их естественных и искусственных спутников.

Пример 4. За какое время Марс, находящийся от Солнца примерно в полтора раза дальше, чем Земля, совершает полный оборот вокруг Солнца?

Д а н о :

$$\begin{aligned} a_1 &= 1,5 \text{ а. е.} \\ a_{\oplus} &= 1 \text{ а. е.} \\ T_{\oplus} &= 1 \text{ г.} \end{aligned}$$

T_1 — ?

Р е ш е н и е :

$$\frac{T_1^2}{T_{\oplus}^2} = \frac{a_1^3}{a_{\oplus}^3}; \quad T_1 = \sqrt{\frac{T_{\oplus}^2 a_1^3}{a_{\oplus}^3}};$$

$$T_1 = \frac{T_{\oplus} a_1}{a_{\oplus}} \sqrt{\frac{a_1}{a_{\oplus}}};$$

$$T_1 = 1,5 \sqrt{1,5} \text{ г.} \approx 1,9 \text{ г.}$$

О т в е т : $T_1 \approx 1,9 \text{ г.}$

Вопросы-задания для самоконтроля

1. Почему большую полуось орбиты планеты отождествляют с ее средним расстоянием от Солнца? 2. За 84 земных года Уран делает один оборот вокруг Солнца. Во сколько раз он дальше от Солнца, чем Земля?

§ 10. ОБОБЩЕНИЕ И УТОЧНЕНИЕ НЬЮТОНОМ ЗАКОНОВ КЕПЛЕРА

1. Закон всемирного тяготения. Напомним известную из курса физики формулировку закона всемирного тяготения: *все тела притягиваются друг к другу с силой, модуль которой прямо пропорционален произведению их масс и обратно пропорционален квадрату расстояния между ними.*

Закон всемирного тяготения записывается в виде:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}, \quad (16)$$

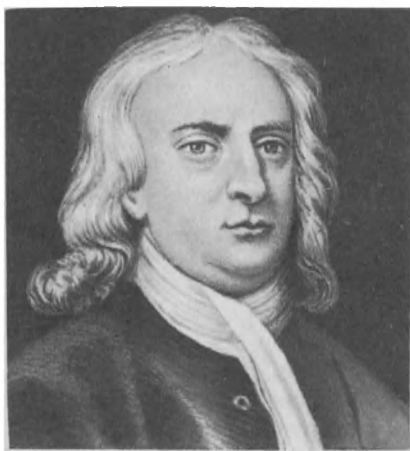
где m_1 и m_2 — массы тел; r — расстояние между их центрами; G — постоянная всемирного тяготения (ее значение в СИ $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$).

Из физики вы знаете, что гравитация — общее свойство всех тел в природе. Исключительно важную роль она играет в мире небесных тел; ею объясняются не только почти все движения, но и многие процессы, связанные с образованием и развитием небесных тел. Если законы Кеплера отвечают на вопрос, по каким траекториям движутся небесные тела, то закон всемирного тяготения отвечает на вопрос, какая сила удерживает планеты около Солнца, спутники около планет и т. д.

Раздел астрономии, исследующий движения небесных тел под действием их взаимного притяжения, называется *небесной механикой*. Законы Кеплера и закон всемирного тяготения — основные законы небесной механики.

2. Возмущения. Открытие Нептуна. Строго эллиптическое движение происходит под действием притяжения одного тела. Но любая планета испытывает притяжение со стороны других планет, своих спутников и т. д. В результате возникают отклонения от эллиптической траектории, которые называются в небесной механике *возмущениями*.

Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн были известны людям с глубокой древности. Мысль о том, что наша Земля — тоже планета Солнечной системы, впервые была научно обоснована Н. Коперником. Планету, находящуюся за орбитой Сатурна и не видимую невооруженным глазом, открыл в 1781 г. с помощью телескопа английский астроном (профессиональный музыкант, который начал заниматься астрономией как любитель) *Уильям Гершель* (1738—1822). Она была названа *Ураном*. Основываясь на законах небесной механики, астрономы вычислили орбиту Урана, но довольно скоро выяснилось, что в движении новой планеты



Исаак Ньютон (1643—1727).

заметны отклонения от кеплеровской орбиты. Наблюдаемые отклонения могли означать либо то, что действие закона всемирного тяготения ограничено лишь близкими планетами, либо то, что за Ураном есть еще какая-нибудь планета, возмущающая его движение. Сделав именно это, второе предположение, астрономы решили попытаться открыть новую планету, вычислив ее положение в пространстве. Независимо друг от друга такую задачу удалось решить двум молодым математикам — англичанину *Джону Адамсу* (1819—1892) и французу *Урбену Леверье* (1811—1877). Астроном Берлинской обсерватории *Иоганн Галле* (1812—1910), получив телеграмму от Леверье с просьбой поискать планету в указанном месте, 23 сентября 1846 г. обнаружил в созвездии Водолея светило, которого не было на звездной карте. Так была открыта восьмая планета Солнечной системы, названная *Нептуном*. Это был триумф небесной механики, торжество гелиоцентрической системы. Девятую планету Солнечной системы — *Плутон* — удалось открыть лишь в 1930 г.

3. Законы Кеплера в формулировке Ньютона. Как вы уже знаете, Кеплер открыл свои законы эмпирическим путем. Ньютон вывел законы Кеплера из закона всемирного тяготения. Он доказал, что *под действием силы тяготения одно небесное тело может двигаться по отношению к другому по окружности, эллипсу, параболе и гиперболе*. В этом заключается *первый* обобщенный Ньютоном закон Кеплера. Он имеет универсальный характер и справедлив для любых тел, между которыми действует взаимное тяготение. Ему подчиняется и движение искусственных небесных тел.

Напомним, что форма орбиты зависит от модуля и направления начальной скорости (рис. 23).

Формулировка второго закона Кеплера не потребовала обобщения.

Для определения масс небесных тел важное значение имеет обобщение Ньютоном третьего закона Кеплера на любые системы обращающихся тел. Если, в частности, массивным (центральным) телом является Солнце, то для него и двух движущихся вокруг него планет третий закон Кеплера будет иметь вид:

$$\frac{T_1^2(M_\odot + m_1)}{T_2^2(M_\odot + m_2)} = \frac{a_1^3}{a_2^3}, \quad (17)$$

т. е. квадраты сидерических периодов планет (T_1^2 и T_2^2), умноженные на сумму масс Солнца и планеты ($M_\odot + m_1$ и $M_\odot + m_2$), относятся как кубы больших полуосей орбит планет (a_1^3 и a_2^3).

Можно применить третий закон Кеплера и к другим системам, например к движению планеты вокруг Солнца и спутника вокруг планеты. Обозначим массы Солнца, планеты и ее спутника соответственно через M_\odot , m и m_1 , периоды обращения планеты вокруг Солнца и спутника вокруг планеты — через T и T_1 и, наконец, средние расстояния пла-

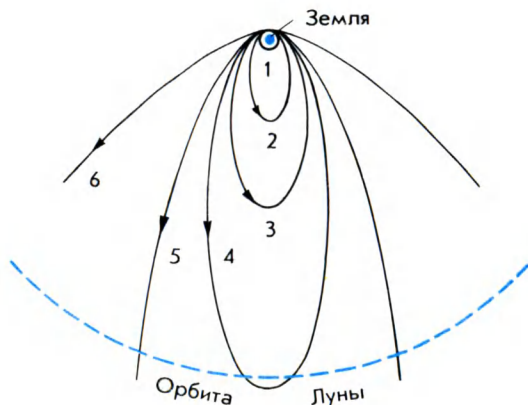


Рис. 23. Зависимость формы орбиты искусственного небесного тела от начальной скорости v_0 . Орбиты при различных начальных скоростях (векторы скоростей во всех случаях направлены горизонтально, т. е. перпендикулярно, радиусу Земли):

1 — круговая ($v_0 = 7,9$ км/с); 2,3,4 — эллиптические (при v_0 соответственно равных 10,0 км/с; 11,0 км/с; 11,1 км/с); 5 — параболическая ($v_0 \approx 11,2$ км/с); 6 — гиперболическая ($v_0 \approx 12,0$ км/с).

неты от Солнца и спутника от планеты — через a и a_1 . Тогда третий закон Кеплера можно записать в виде:

$$\frac{T^2(M_{\odot} + m)}{T_1^2(m + m_1)} = \frac{a^3}{a_1^3}.$$

Масса Солнца во много раз больше массы любой из планет, т. е. $M_{\odot} \gg m$. Масса планеты обычно также очень велика по сравнению с массой спутника (исключение составляют Земля и Луна, а также Плутон с его спутником Хароном), т. е. $m \gg m_1$. Поэтому с достаточной степенью точности можно вычислить отношение массы Солнца к массе планеты по формуле:

$$\frac{M_{\odot}}{m} = \left(\frac{T_1}{T}\right)^2 \left(\frac{a}{a_1}\right)^3. \quad (18)$$

Формула (18) была получена из рассмотрения движения планеты вокруг Солнца и спутника вокруг планеты. Аналогичный вид будет иметь формула для определения массы планеты (имеющей спутника!), если эту систему небесных тел сравнить с другой планетой и ее спутником:

$$\frac{m'}{m_1'} = \left(\frac{T_1'}{T'}\right)^2 \left(\frac{a'}{a_1'}\right)^3, \quad (18')$$

где m' и m_1' — соответственно массы сравниваемых планет; T' и T_1' — периоды обращения спутников планет; a' и a_1' — средние расстояния между спутниками планет.

Пример 5. Вычислить массу Юпитера, зная, что один из его спутников (Ио) совершает оборот вокруг планеты за 1,77 сут на расстоянии 422 тыс. км от Юпитера.

Для решения задачи сравним обращение Ио вокруг Юпитера с обращением Луны вокруг Земли. Массу Земли M_{\oplus} примем за единицу (т. е. $m_1' = M_{\oplus} = 1$), период обращения Луны 27,32 сут ($T_1' = 27,32^{\text{д}}$ — такое обозначение для суток принято в астрономии), а среднее расстояние Луны от Земли $a_1' = 384$ тыс. км.

Д а н о :

$$m_1' = M_{\oplus} = 1$$

$$T_1' = 27,32^{\text{д}}$$

$$a_1' = 3,84 \cdot 10^5 \text{ км}$$

$$T' = 1,77^{\text{с}}$$

$$a' = 4,22 \cdot 10^5 \text{ км}$$

$$m' \text{ — ?}$$

Р е ш е н и е :

Из формулы (18') следует, что

$$m' = \left(\frac{T_1'}{T'}\right)^2 \left(\frac{a'}{a_1'}\right)^3 m_1';$$

$$m' = \frac{(27,32)^2 \cdot (4,22 \cdot 10^5)^3}{(1,77)^2 \cdot (3,84 \cdot 10^5)^3} m_1' \approx 317 m_1'.$$

О т в е т : $m' \approx 317 M_{\oplus}$.

Вопросы-задания для самоконтроля

1. Сформулируйте законы, лежащие в основе небесной механики. 2. На чем основывался Кеплер, открывая свои законы? 3. В чем заключается обобщение Ньютоном законов Кеплера? 4. Докажите, что формула (15), полученная Кеплером из анализа данных наблюдений, есть частный случай формулы (17). 5*. Почему иногда говорят, что Нептун был открыт «на кончике пера»? 6. Какую важную физическую характеристику можно вычислить из обобщенного Ньютоном третьего закона Кеплера? 7*. Сравните массу Урана с массой Земли, зная, что один из спутников Урана (Титания) обращается вокруг планеты с периодом 8 сут 17 ч на расстоянии 438 тыс. км. 8*. За сколько времени Земля делала бы оборот вокруг Солнца, если бы масса Солнца была вдвое больше нынешней при том же расстоянии Земли от Солнца?

§ 11. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЙ ДО ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ И РАЗМЕРОВ ЭТИХ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ

1. **Определение расстояний по параллаксам светил.** Допустим, что из точки *A* нужно определить расстояние до недоступной точки *C* (рис. 24). Для этого прежде всего тщательно измеряется расстояние до какой-нибудь доступной

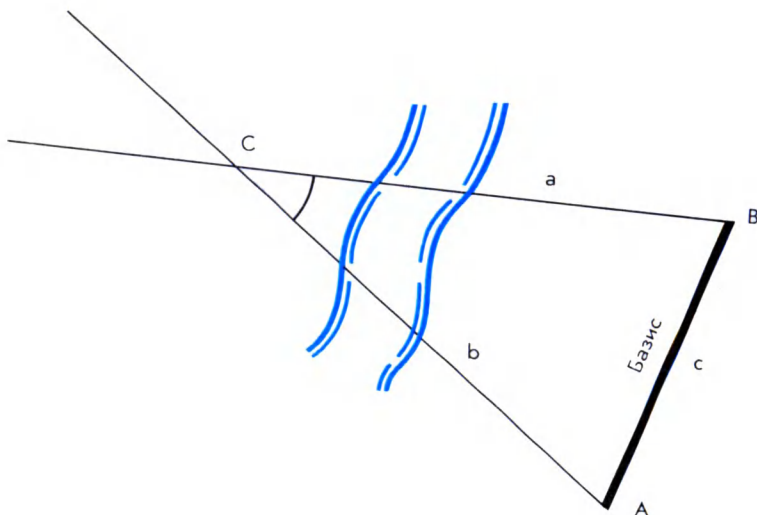


Рис. 24. Определение расстояния до недоступного предмета.

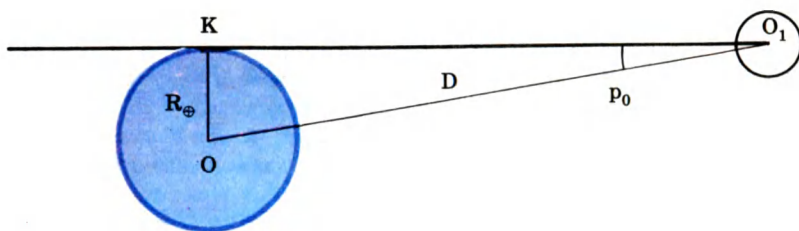


Рис. 25. Горизонтальный параллакс светила.

точки B . Отрезок AB называется **б а з и с о м**. Далее из точек A и B угломерным геодезическим инструментом измеряют $\angle CAB$ и $\angle ABC$. Таким образом, в треугольнике ABC известны углы и сторона $AB = c$. Остальные элементы косоугольного треугольника ABC можно вычислить по формулам тригонометрии.

Угол ACB , под которым из недоступного места виден базис, называется **п а р а л л а к с о м**. При данном расстоянии до предмета параллакс тем больше, чем больше базис.

В пределах Солнечной системы в качестве базиса используют **э к в а т о р и а л ь н ы й** радиус Земли. Рассмотрим прямоугольный треугольник (рис. 25), вершинами которого являются центр светила O_1 , центр Земли O и точка, изображающая местоположение наблюдателя K . Как следует из чертежа, наблюдатель видит светило на горизонте. Угол p_0 , под которым со светила, находящегося на горизонте, был бы виден экваториальный радиус Земли, называется **г о р и з о н т а л ь н ы м** **э к в а т о р и а л ь н ы м** **п а р а л л а к с о м** светила. Конечно, со светила никто не наблюдает радиус Земли, а горизонтальный параллакс определяют по измерениям высоты светила в момент верхней кульминации из двух точек земной поверхности, находящихся на одном географическом меридиане и имеющих известные географические широты.

Если горизонтальный параллакс (p_0) найден, то расстояние до светила вычисляется по формуле:

$$D = \frac{R_{\oplus}}{\sin p_0}, \quad (19)$$

где D — расстояние от центра Земли до центра какого-нибудь тела Солнечной системы; R_{\oplus} — экваториальный радиус Земли (сущность способа определения радиуса Земли будет изложена в § 12); p_0 — горизонтальный параллакс светила.

Наибольший горизонтальный параллакс имеет ближайшее к Земле небесное тело — Луна ($p_{\zeta} = 57'02''$). Параллаксы планет и Солнца составляют всего лишь несколько секунд дуги ($p_{\odot} = 8,79''$). Поскольку углы p_0 малы, то их синусы можно заменить самими углами, т. е. $\sin p_0 \approx p_0$, если величина угла выражена в радианах. Но p_0 обычно выражено в секундах дуги, поэтому $\sin p_0 \approx \frac{p_0}{206\,265''}$, так как 1 радиан = $57,3^\circ = 3438' = 206\,265''$. Учитывая это, формулу (19) можно записать в виде:

$$D = \frac{206\,265''}{p_0} R_{\oplus}; \quad (20)$$

здесь p_0 выражено в секундах дуги, а D в зависимости от R_{\oplus} — либо в километрах (если R_{\oplus} — в километрах), либо в радиусах Земли.

Пример 6. Зная горизонтальный параллакс Луны и экваториальный радиус Земли (6378 км), найти расстояние от Земли до Луны.

Д а н о :

$$\begin{aligned} p_{\zeta} &= 57'02'' \\ R_{\oplus} &= 6378 \text{ км} \end{aligned}$$

$D_{\zeta} — ?$

Р е ш е н и е :

$$D = \frac{206\,265'' R_{\oplus}}{p_0},$$

$$D_{\zeta} = \frac{206\,265'' \cdot 6378 \text{ км}}{3422''} \approx 384\,400 \text{ км.}$$

О т в е т : $D_{\zeta} = 384\,400 \text{ км.}$

2. Радиолокационный метод. Он заключается в том, что на небесное тело посылают мощный кратковременный импульс, а затем принимают отраженный сигнал. Скорость распространения радиоволн равна скорости света в вакууме: $c = 299\,792\,458 \text{ м/с}$. Поэтому если точно измерить время, которое потребовалось сигналу, чтобы дойти до небесного тела и возвратиться обратно, то легко вычислить искомое расстояние. Идея непосредственного метода определения расстояния до небесных тел (в частности, расстояния между Землей и Луной) была обоснована отечественными физиками Л. И. Мандельштамом и Н. Д. Папалекси.

Радиолокационные наблюдения позволяют с большой точностью определять расстояния до небесных тел Солнечной системы. Этим методом уточнены расстояния до Луны, Венеры, Меркурия, Марса, Юпитера.

Для космических полетов необходимо с большой точностью определять значение астрономической единицы. Еще

сравнительно недавно астрономическая единица была известна с точностью до нескольких десятков тысяч километров. Из радиолокационных наблюдений Венеры получено следующее значение астрономической единицы:

$$1 \text{ а. е.} = (149\,597\,868 \pm 0,7) \text{ км.}$$

Округленному значению астрономической единицы (149 600 000 км) соответствует параллакс Солнца $p_{\odot} = 8,7940''$.

3*. Лазерная локация Луны. Вскоре после изобретения мощных источников светового излучения — оптических квантовых генераторов (лазеров) — стали проводиться опыты по лазерной локации Луны. Метод лазерной локации аналогичен радиолокации, однако точность измерения значительно выше. Оптическая локация дает возможность определить расстояние между выбранными точками лунной и земной поверхности с точностью до сантиметров. Такая высокая точность нужна для решения ряда задач космической геодезии, выяснения вопросов о движении земных континентов, дальнейшего развития космических исследований.

4. Определение размеров тел Солнечной системы. Прежде всего познакомимся с методом определения радиуса Земли. Принимая Землю за шар радиуса R_{\oplus} , измеряют линейное (l , например, в километрах) и угловое (n , например, в градусах) расстояния между двумя пунктами земной поверхности, расположенными на одном географическом меридиане (рис. 26). Затем вычисляют длину дуги, соответствующую 1° этого меридиана, а потом и радиус Земли. Пусть l — длина дуги AB , а центральный угол, опирающийся на эту дугу и равный разности географических широт точек A и B , $\angle AOB = n$ (O — центр Земли), тогда длина дуги 1° меридиана будет равна $\frac{l}{n} = \frac{2\pi R_{\oplus}}{360^\circ}$, а значит,

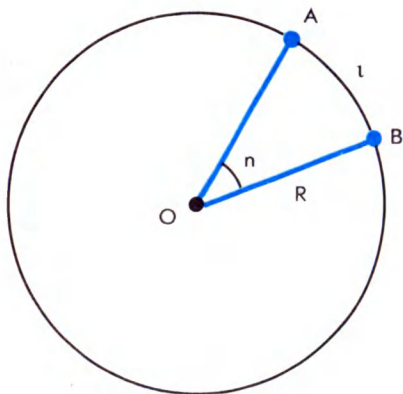


Рис. 26. Вычисление радиуса Земли.

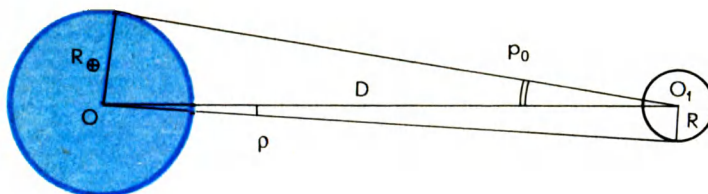


Рис. 27. Определение линейных размеров тел Солнечной системы.

$$R_{\oplus} = \frac{180^\circ l}{\pi} . \quad (21)$$

При наблюдениях небесных тел Солнечной системы можно измерить угол, под которым они видны земному наблюдателю. Зная этот угловой радиус светила ρ и расстояние до светила D , можно вычислить линейный радиус R (рис. 27):

$$R = D \sin \rho . \quad (22)$$

Учитывая формулу (19), получим:

$$R = \frac{\sin \rho}{\sin p_0} R_{\oplus} . \quad (22')$$

А так как углы ρ и p_0 малы, то

$$R = \frac{\rho}{p_0} R_{\oplus} . \quad (23)$$

Пример 7. Во сколько раз линейный радиус Солнца превышает радиус Земли, если угловой радиус Солнца $16'$?

Д а н о :	Р е ш е н и е :
$\rho_{\odot} = 16'$	$R_{\odot} = \frac{\rho_{\odot}}{p_{\odot}} R_{\oplus} .$
$p_{\odot} = 8,8''$	
$R_{\odot} \text{ — ?}$	$R_{\odot} = \frac{16 \cdot 60''}{8,8''} R_{\oplus} \approx 109 R_{\oplus} .$
	О т в е т : $R_{\odot} \approx 109 R_{\oplus} .$

Вопросы-задания для самоконтроля

1*. Зная угловое удаление Венеры от Солнца в элонгации и принимая орбиты Венеры и Земли за окружности, определите (как это сделал Коперник) расстояние до Венеры в единицах радиуса земной орбиты. 2. Что нужно знать для вычисления радиуса Земли? 3. Что нужно знать, чтобы вычислить расстояние до какого-нибудь тела Солнечной системы? 4. Что нужно знать, чтобы вычислить размеры какого-нибудь тела Солнечной системы? 5*. Каким оказалось расстояние между отражателем, находящимся на Луне, и телескопом, расположенным на Земле, если лазерные импульсы возвратились через 2,4354567 с? 6. Наибольший горизонтальный параллакс Марса $23''$. Каково наименьшее расстояние от Земли до Марса?

Что полезно знать, изучив тему «Строение Солнечной системы»

1. На протяжении многих веков господствовали геоцентрические системы мира, поддерживаемые церковью.

2. В XVI в. Николай Коперник обосновал гелиоцентрическую систему мира, которая правильно отражает строение Солнечной системы (в центре — Солнце; планеты, включая Землю, движутся вокруг Солнца) и лежит в основе научного мировоззрения.

3. Видимое петлеобразное движение планет объясняется тем, что мы наблюдаем их движение с обращающейся вокруг Солнца Земли.

4. Меркурий и Венера — нижние планеты, остальные — верхние.

5. Наиболее удобно наблюдать нижние планеты вблизи элонгаций, а верхние — вблизи противостояний.

6. Законы Кеплера (их три, и нужно знать их формулировки) уточняют учение Коперника, в котором орбиты небесных тел считались окружностями.

7. Ньютон аналитически вывел законы Кеплера из закона всемирного тяготения.

8. Закон всемирного тяготения и законы Кеплера — основа небесной механики; по этим же законам происходит движение искусственных небесных тел.

9. Нептун был открыт в результате учета возмущений в движении Урана.

10. Существуют различные способы определения расстояний до небесных тел Солнечной системы (по горизонтальному параллаксу, методом радиолокации и др.).

11. Астрономическая единица — основная единица расстояний в Солнечной системе (1 а. е. = 149,6 млн. км).

**Что желательно уметь, изучив тему
«Строение Солнечной системы»**

1. Определять по «Школьному астрономическому календарю» и ПКЗН, какие планеты и в каких созвездиях видны на небе в данное время.

2. Находить планеты на небе, отличая их от звезд.

3*. По формулам (12) и (13) вычислять повторяемость заданных конфигураций нижних и верхних планет.

4. По формуле (15) определять сидерические периоды обращений планет по известным большим полуосям их орбит (и решать обратную задачу).

5*. Вычислять массу планеты, имеющей спутники.

6. По формуле (20) вычислять расстояние до небесного тела Солнечной системы (по известному горизонтальному параллаксу).

7. По формуле (23) вычислять линейные размеры небесных тел Солнечной системы, зная их угловые размеры и горизонтальный параллакс.

III. ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Эту тему мы начинаем с изучения природы небесных тел, движущихся вокруг Солнца, а Солнце будем изучать в неразрывной связи с другими звездами (гл. IV). Сравнение природы Земли с природой других планет и Луны позволит нам выявить общность физических свойств (а затем эволюции и происхождения!) этих небесных тел и вместе с тем получить представление об индивидуальных особенностях планет, относящихся как к разным группам (планеты типа Земли и планеты-гиганты), так и входящих в одну и ту же группу.

Надо иметь в виду, что в результате наземных оптических и радиоастрономических наблюдений был накоплен ценный материал о природе планет и Луны. Однако лишь в последние 20—30 лет, благодаря успешному освоению околоземного космического пространства, Луны и планет, удалось получить уникальную информацию. Большой вклад в исследование небесных тел Солнечной системы внесли отечественные ученые. Россия — родина теоретической и практической космонавтики — по праву гордится тем, что в историю освоения космоса навсегда вошли полеты наших космонавтов, начиная с исторического полета Ю. А. Гагарина (12 апреля 1961 г.); запуски искусственных спутников Земли (ИСЗ), начиная с первого ИСЗ, открывшего космическую эру (4 октября 1957 г.); полеты автоматических межпланетных станций (АМС) к Луне, Венере и Марсу; долговременные орбитальные научные станции, на борту которых работали наши космонавты и их зарубежные коллеги. Эти и некоторые другие даты основных вех освоения космоса приведены в приложении I.

§ 12. СИСТЕМА «ЗЕМЛЯ — ЛУНА»

1. Основные движения Земли. Земля — это третья по удаленности от Солнца планета. Она движется со скоростью около 30 км/с вокруг Солнца по эллиптической орбите,

мало отличающейся от окружности. Одно из доказательств *обращения Земли* вокруг Солнца — кажущееся (п а р а л л а к т и ч е с к о е) смещение ближайших к нам звезд. Впервые такие смещения удалось обнаружить лишь в 30-х гг. XIX в.

Второе основное движение Земли — *вращение вокруг оси*, наклоненной к плоскости орбиты под углом $66^{\circ}34'$.

При движении Земли вокруг Солнца *ось ее остается параллельной самой себе*. Из курсов природоведения и естествознания вы знаете, что *смена времен года* на Земле как раз и является следствием указанных трех причин: обращения Земли вокруг Солнца, наклона земной оси к плоскости орбиты и сохранения направления оси в пространстве.

Кроме того, Земля движется в пространстве вместе со всей Солнечной системой и участвует во многих других движениях.

2. Форма Земли. Лишь в грубом приближении к действительности можно считать, что Земля — это шар, радиус которого определяется по формуле (21) методом, описанным в § 11.4. Однако *геодезические измерения* показали, что длина дуги 1° меридиана около экватора равна 110,6 км, а вблизи полюсов — 111,7 км, следовательно, Земля не шар, ее эк в а т о р и а л ь н ы й радиус больше по л я р н о г о.

Объясняется это тем, что Земля вследствие своего вращения вокруг оси сжата у полюсов и по форме близка к э л л и п с о и д у в р а щ е н и я. С ж а т и е эллипсоида может быть вычислено по формуле:

$$\varepsilon = \frac{a - b}{a}, \quad (24)$$

где ε — сжатие Земли; a — большая полуось земного эллипсоида; b — его малая полуось. Данные, основанные на наблюдениях движения искусственных спутников Земли, позволили уточнить результаты наземных геодезических измерений сжатия Земли.

Поскольку различие в экваториальном (6378,140 км) и полярном (6356,755 км) радиусах Земли небольшое (21,385 км), то при решении многих астрономических задач Землю можно считать шаром со средним радиусом, равным 6371 км.

Зная средний радиус Земли и ее массу (как найти массу Земли, вы знаете из курса физики), легко вычислить среднюю плотность нашей планеты ($5,5 \cdot 10^3$ кг/м³).

3. Луна — спутник Земли. Луна — ближайшее к Земле небесное тело. Радиус Луны примерно в 4 раза, а масса в 81 раз меньше соответственно радиуса и массы Земли. По

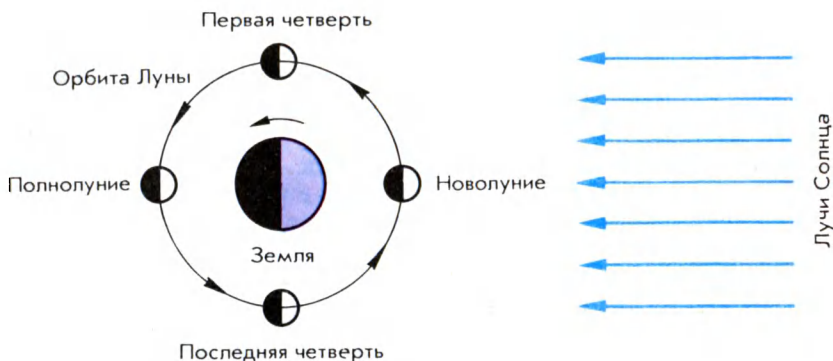


Рис. 28. Фазы Луны.

этим физическим характеристикам естественный спутник нашей планеты нельзя считать маленьким по сравнению с Землей. Строго говоря, по эллиптической орбите вокруг Солнца движется общий центр масс системы «Земля — Луна», находящийся внутри Земли. Систему «Земля — Луна» часто называют «двойной планетой».

Луна — не самосвещающееся тело; она светит отраженным солнечным светом. В зависимости от положения, которое Луна занимает по отношению к Земле и Солнцу, мы видим то полную Луну (полнолуние), то половину видимого диска (первая или последняя четверть), то совсем не видим Луны (новолуние).

Наблюдаемая с Земли освещенная часть лунного диска называется фазой Луны. Проследить смену лунных фаз можно по рисунку 28. В новолунии Луна бывает в то время, когда она располагается между Землей и Солнцем; в полнолунии Луна находится за Землей. После новолуния Луна «растет» от узкого серпа (направленного выпуклостью вправо) до полудиска (первая четверть) и далее до полного диска (полнолуние). После полнолуния Луна «убывает» до полудиска (выпуклость направлена влево, наступает последняя четверть), затем становится узким серпом и перестает быть видимой в новолунии. Полный цикл смен лунных фаз (синадический месяц) составляет примерно 29,5 сут (29,5^д).

Угловой диаметр Луны на небесной сфере около 0,5° (≈30′). Но он не остается постоянным, а изменяется из-за эллиптичности орбиты (примерно 33′ в перигее и 29′ в апогее). Эксцентриситет лунной орбиты $e = 0,05$, а большая полуось эллипса — 384400 км (среднее расстояние Луны от Земли).

Полный оборот *вокруг Земли* Луна совершает за 27,3 сут (27,3^д, сидерический месяц). За это же время Луна делает оборот *вокруг своей оси*, поэтому к *Земле всегда обращено одно и то же полушарие Луны*.

Как и все другие небесные тела, Луна участвует в суточном вращении небесной сферы. Но в отличие от планет и Солнца, более удаленных от Земли, Луна быстро перемещается на фоне звездного неба (13° за сутки) с запада на восток, т. е. в направлении, противоположном суточному вращению небесной сферы. Этим объясняется явление, которое вы сами можете обнаружить. Каждый вечер, отмечая по часам моменты верхней кульминации Луны, вы убедитесь, что Луна приходит к небесному меридиану с опозданием примерно на 50 мин (т. е. кульминирует сегодня на 50 мин позже, чем вчера).

4. Солнечные и лунные затмения. Когда Луна при своем движении вокруг Земли полностью или частично заслоняет Солнце, происходят *солнечные затмения*. Во время *полного солнечного затмения* (рис. 29) Луна закрывает весь диск Солнца (это возможно благодаря тому, что видимые диаметры Луны и Солнца почти одинаковы). Полное солнечное затмение можно наблюдать лишь из тех точек земной поверхности, где проходит *полная фаза*. Так называется полоса, которую как бы прочерчивает по земной поверхности сходящийся конус лунной тени (см. рис. 29).

По обе стороны полосы полной фазы происходит *частное затмение Солнца*, во время которого Луна заслоняет не весь солнечный диск, а лишь часть его. Наблюдается *частное солнечное затмение* из тех мест земной поверхности, которые охватывает расходящийся конус лунной *полутени* (см. рис. 29).

Ширина полосы полной фазы солнечного затмения и его

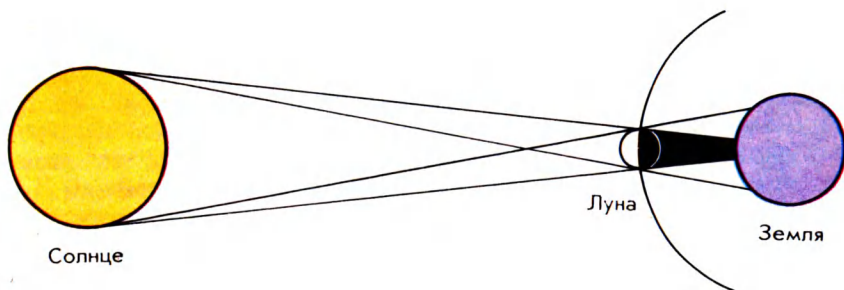


Рис. 29. Схема полного затмения Солнца.

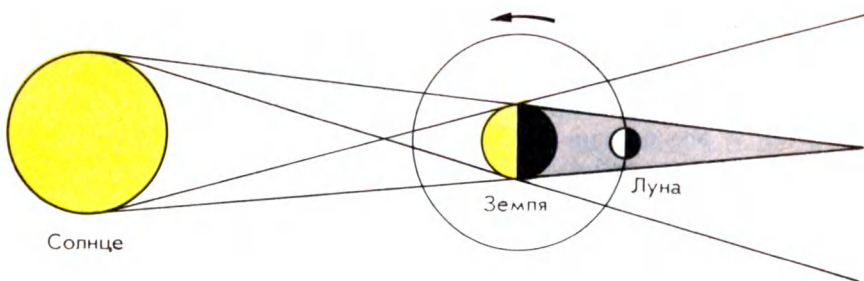


Рис. 30. Схема полного затмения Луны.

продолжительность зависят от взаимных расстояний Солнца, Земли и Луны. Вследствие изменения расстояний видимый угловой диаметр Луны тоже изменяется. Когда он чуть больше солнечного, полное затмение Солнца может длиться до 7,5 мин, когда равен, то одно мгновение, если же он меньше, то Луна вообще не закрывает Солнце полностью. В последнем случае происходит кольцеобразное затмение: вокруг темного лунного диска видно узкое яркое солнечное кольцо.

Полное солнечное затмение — очень красивое явление. Во время затмения Солнце имеет вид черного диска, окруженного нежным сиянием (к о р о н о й). Дневной свет настолько ослабевает, что иногда можно видеть на небе яркие звезды и планеты.

Ближайшее полное солнечное затмение, которое можно наблюдать с территории России (в районе Восточной Сибири), произойдет 9 марта 1997 г.

Когда при движении вокруг Земли Луна попадает в конус земной тени, которую отбрасывает освещаемый Солнцем земной шар, происходит полное лунное затмение (рис. 30). Если же в тень Земли погружается лишь часть Луны, то происходит частное затмение Луны.

Полное лунное затмение может длиться примерно 1,5 — 2 ч (столько времени, сколько требуется Луне, чтобы пересечь конус земной тени). Его можно наблюдать со всего ночного полушария Земли, где Луна в момент затмения находится над горизонтом. Поэтому в данной местности полные лунные затмения удастся наблюдать значительно чаще солнечных.

Во время полного лунного затмения Луны лунный диск остается видимым, но он приобретает обычно темно-красный оттенок. Это явление объясняется преломлением солнечных

лучей в земной атмосфере. Проходя через земную атмосферу, солнечные лучи рассеиваются и преломляются. Причем рассеивается в основном коротковолновое излучение (соответствующее синему и голубому участкам спектра, чем и обусловлен голубой цвет нашего дневного неба), а преломляется длинноволновое (соответствующее красному участку спектра). Преломляясь в земной атмосфере, длинноволновое солнечное излучение попадает в конус земной тени и освещает Луну.

Легко сообразить, что *солнечное затмение происходит, когда Луна бывает в новолунии, а лунное — когда в полнолунии*. Однако далеко не в каждое новолуние и полнолуние происходят затмения. Дело в том, что плоскость, в которой Луна движется вокруг Земли, наклонена к плоскости эклиптики под углом примерно 5° . Чаще всего в году бывает только два солнечных и два лунных затмения. В 1982 г. было семь затмений — четыре частных солнечных и три полных лунных (это максимально возможное число затмений в год).

Еще древние астрономы заметили, что через определенный промежуток времени лунные и солнечные затмения повторяются в определенном порядке. Этот промежуток времени был назван с а р о с о м (в переводе с египетского — п о в т о р е н и е). Существование сароса объясняется закономерностями, наблюдаемыми в движении Луны. Сарос составляет 6585,32 сут (≈ 18 лет 11 дней). В течение каждого сароса происходит 70 затмений, из них 42 солнечных и 28 лунных. Однако в данном месте Земли лунные затмения наблюдаются чаще, чем солнечные, так как лунные затмения видны со всего ночного полушария Земли. Полные солнечные затмения в данной точке земной поверхности видны не чаще одного раза в 200—300 лет.

Зная продолжительность сароса, можно приблизительно предсказывать время наступления затмений. В настоящее время разработаны очень точные методы предсказания солнечных и лунных затмений. Астрономы неоднократно помогали историкам уточнять даты исторических событий, которые, по свидетельству летописей, совпадали с затмениями. В Москве очередное полное солнечное затмение будет наблюдаться 16 октября 2126 г. В европейской части России ближайшие полные лунные затмения можно будет наблюдать 4 апреля 1996 г., 27 сентября 1996 г. и 16 сентября 1997 г.

В прошлом необычный вид Луны и Солнца во время затмений приводил людей в ужас. Жрецы, зная о повторяемости этих явлений, использовали их для подчинения и устрашения людей, приписывая затмения сверхъестественным силам. Давно уже перестала быть тайной причина затмений. Наблюдения затмений позволяют ученым получать

важные сведения об атмосферах Земли и Солнца, а также о движении Луны. Во время полных затмений Солнца создаются условия, благоприятные для наблюдения отклонения луча света звезды в поле тяготения Солнца. Это позволяет получить одно из важнейших доказательств теории тяготения Эйнштейна (общей теории относительности).

Вопросы-задания для самоконтроля

1. Какие вы знаете движения Земли? 2. Пусть наблюдатель, двигаясь с Землей вокруг Солнца, следит на протяжении года за какой-нибудь звездой, при этом он может заметить самые незначительные ее перемещения на небесной сфере. Попробуйте на чертеже изобразить наблюдаемую картину и скажите, почему параллактическое смещение звезд доказывает обращение Земли вокруг Солнца. 3*. Вычислите сжатие Земли, зная, что, по данным, полученным геодезистами Ф. Н. Красовским и А. А. Изотовым, малая полуось земного эллипсоида равна 6356,863 км, а большая — 6378,245 км. 4. Зная эксцентриситет и большую полуось орбиты Луны, вычислите наибольшее и наименьшее расстояния до Луны. 5. Докажите, что общий центр масс системы «Земля — Луна» находится внутри Земли. 6. Опровергните мнение о том, что если к Земле всегда обращена одна стороны Луны, то Луна не вращается вокруг своей оси. 7. Из факта примерного равенства угловых диаметров Луны и Солнца какой вы можете сделать вывод об истинных размерах этих небесных тел, зная их расстояния от Земли? 8. В чем причина солнечных (лунных) затмений? 9. Почему солнечные затмения происходят не каждое новолуние, а лунные — не каждое полнолуние? 10*. В каких точках своих орбит расположены Земля и Луна в момент кольцеобразного солнечного затмения?

§ 13. ПРИРОДА ЛУНЫ

1. **Физические условия на Луне.** Луна практически лишена атмосферы. Если допустить, что в прошлом у Луны была атмосфера, то легко понять, почему ее нет сейчас. Дело в том, что сравнительно небольшие (по массе) небесные тела (подобные Луне) не могут длительное время удерживать атмосферу. Уже при скорости 2,38 км/с (вторая космическая скорость для Луны) молекулы газа способны покинуть Луну.

Нет на Луне и воды. Испарение воды образовало бы вокруг Луны газовую оболочку, которая быстро бы рассеялась.

На небе Луны видны те же самые созвездия, что и на небе Земли. Из-за отсутствия атмосферы яркие звезды и

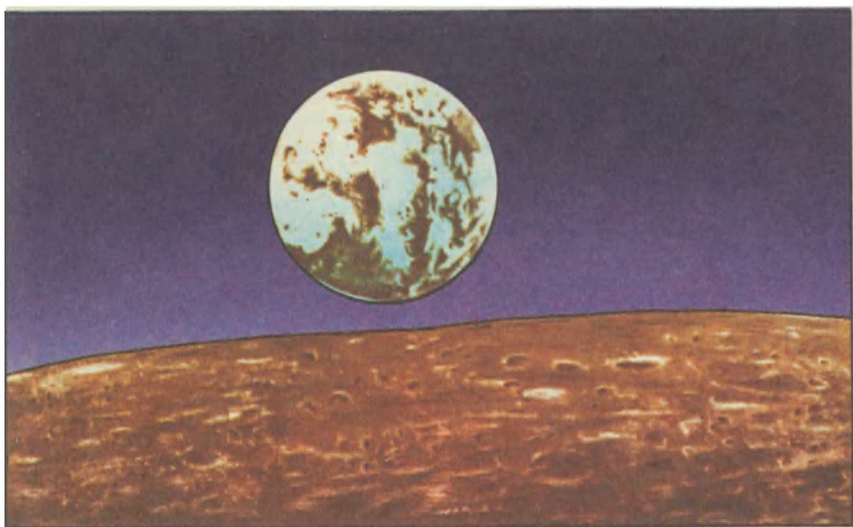


Рис. 31. Земля на небе Луны (снимок Земли перед заходом ее за край Луны).

планеты видны на Луне и днем. Поэтому космонавты могут ориентироваться на Луне по звездам и днем и ночью. Ориентировка по звездам приобретает на Луне особое значение, так как там магнитный компас бесполезен. (Луна не имеет магнитного поля, подобного земному.)

Меркурий и Венеру можно наблюдать с Луны даже в непосредственной близости от Солнца. Эффектное украшение неба Луны — наша Земля (рис. 31). Диск Земли примерно в 3,5 раза больше солнечного диска.

На протяжении лунного дня, длящегося около двух земных недель, поверхность Луны сильно нагревается, а затем охлаждается в ночное время (ночь на Луне тоже длится почти две земные недели). Отсутствие атмосферы на Луне приводит к резким колебаниям температуры в течение лунных суток. В районе «подсолнечной» точки, т. е. там, где Солнце днем находится в зените, температура превышает 400 К (+130 °С). На противоположной стороне Луны вблизи «антисолнечной» точки поверхность Луны охлаждается почти до 100 К (–170 °С). Значит, на протяжении одних лунных суток (29,5 земных суток) температура изменяется на 300 К. Резкие колебания температуры, происходящие на Луне, относятся только к ее поверхности. Уже на глубине в несколько десятков сантиметров температура в течение лунных суток практически не изменяется. Это объясняется пло-

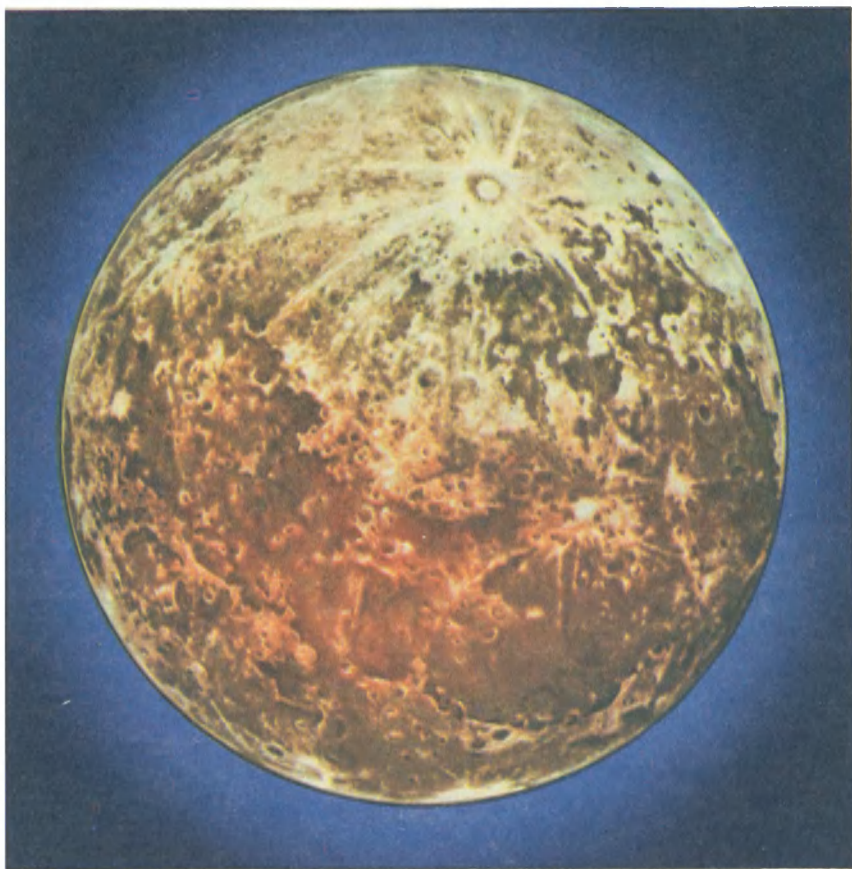


Рис. 32. Видимая с Земли сторона Луны (вид в телескоп).

хой теплопроводностью лунного грунта, который не успевает ни прогреться днем, ни охладиться ночью.

Вы знаете, что Луна сейчас обращена к Земле одной стороной. Так было не всегда. Миллиарды лет назад Луна была ближе к Земле, чем сейчас, а периоды вращения Земли и обращения вокруг нее Луны составляли лишь несколько часов. На нынешнем этапе эволюции системы «Земля — Луна» период вращения Луны совпал с периодом ее обращения. Это привело к двум важным следствиям. Во-первых, продолжительность солнечных суток на Луне равна синодическому месяцу (день и ночь на Луне длятся почти по две земные недели). Во-вторых, к Земле Луна всегда обращена одним полушарием (мы с Земли видим всегда одну и ту же сторону Луны).

2. Поверхность Луны. Даже невооруженным глазом на Луне видны обширные темные участки (м о р я) и светлые (м а т е р и к и). Более подробно их можно рассмотреть в школьный телескоп (рис. 32). Несмотря на то что в лунных морях нет ни капли воды, в науке сохранилась прежняя система наименований, предложенная еще в XVII в. В отличие от морей (сравнительно ровных участков лунной поверхности, покрытых темным веществом), материки представляют собой гористые районы.

На обращенной к Земле стороне Луны материки занимают около 70%, а моря — 30% территории видимого с Земли полушария Луны (рис. 33).

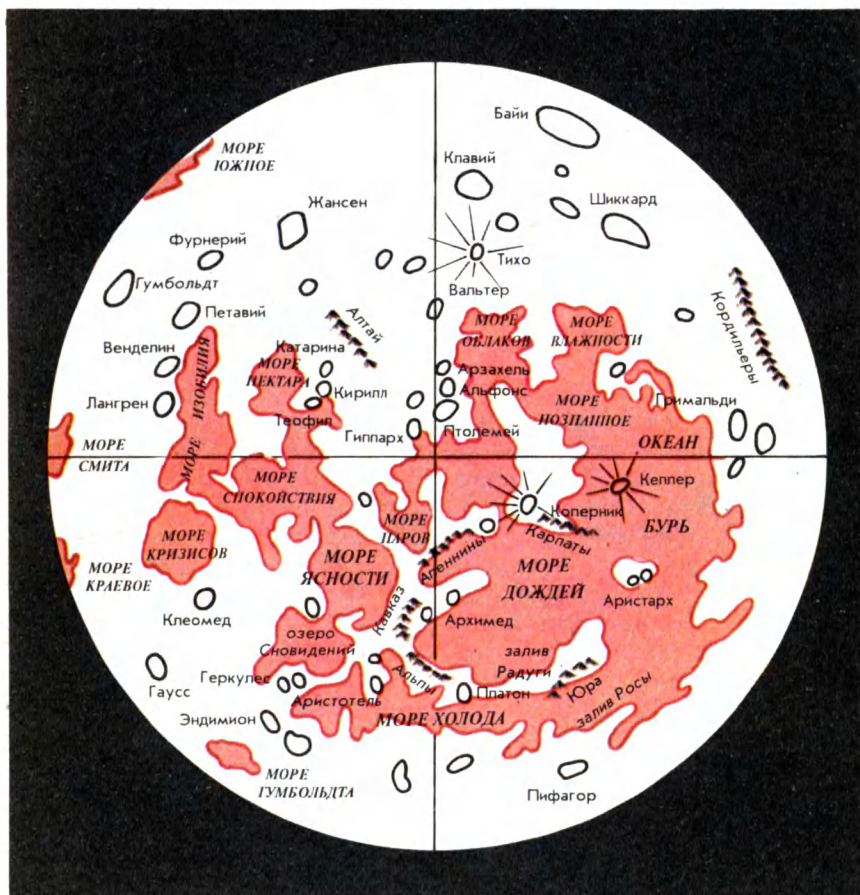


Рис. 33. Карта-схема крупнейших деталей видимого с Земли полушария Луны (вид в телескоп).



Рис. 34. Луна в последней четверти (вид в телескоп).

Характерная особенность лунного рельефа — кольцевые структуры (кратеры). Только на видимой стороне кратеров диаметром более 1 км примерно 300 000. Среди них есть такие, диаметры которых превышают 200 км. Большинство крупных лунных кратеров имеют ровное дно, в центре которого возвышается горка.

Многие лунные моря окаймлены протяженными горными хребтами. Хребты получили названия земных горных цепей (*Кавказ, Альпы, Пиренеи* и др.).

В полнолуние в небольшой телескоп (призмальный бинокль) хорошо видны *Океан Бурь, Море Дождей, Море Ясности*, а также кратеры (*Тихо, Коперник, Кеплер*), от которых расходятся протяженные лучевые системы. Когда Луна находится в других фазах, то вблизи границы освещенной и неосвещенной частей поверхности Луны (такая граница называется терминатором) кратеры выделяют особенно рельефно (рис. 34).

В отличие от продолжающихся несколько столетий телескопических исследований видимой стороны Луны, исследование *обратной* ее стороны началось, когда впервые в истории науки обратная сторона Луны была сфотографирована автоматической станцией «Луна-3» 7 октября 1959 г. Примерно через 6 лет (июль 1965 г.) другая наша автоматическая межпланетная станция (АМС) «Зонд-3», выведенная на гелиоцентрическую орбиту, передала новые фотографии. При этом удалось сфотографировать почти все области обратной стороны Луны, которые не попали в поле зрения фототеле-

визионных устройств «Луны-3». Полученные снимки позволили составить карты и атласы обратной стороны Луны, лунные глобусы и полные карты, охватывающие почти всю поверхность Луны.

На невидимом с Земли полушарии Луны преобладают материки (рис. 35). Средний диаметр крупного моря — *Моря Москвы* — достигает 460 км. Обнаружены мореподобные круглые или овальные образования, занимающие промежуточное место между лунными морями и крупнейшими

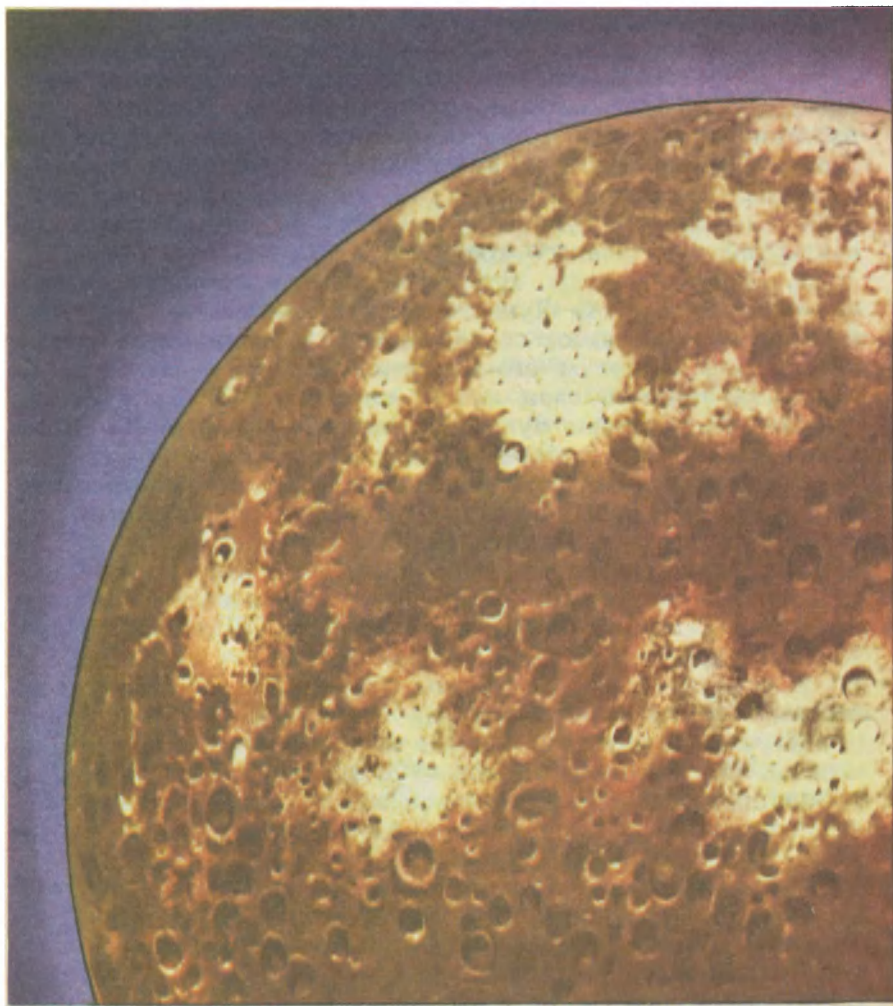


Рис. 35. Участок поверхности обратной стороны Луны.

кратерами. Много на обратной стороне Луны и кратеров (самым крупным присвоены имена выдающихся деятелей науки — *Ломоносов, Джордано Бруно, Циолковский, Жюлио Кюри* и др.). Нередко кратеры образуют длинные цепочки, тянущиеся на сотни километров.

Большинство мелких и средних лунных кратеров образовалось в результате падения метеоритов, которые, достигая поверхности Луны, обладают такой кинетической энергией, что при ударе происходит взрыв. Метеорит разрушается, дробится; лунный грунт разлетается в разные стороны от места взрыва. Так образуются первичные кратеры. Чем их больше на данном участке лунной поверхности, тем больше возраст этого участка. Выброшенные при образовании первичных кратеров большие камни могут, падая на поверхность Луны, создавать вторичные кратеры. Возможно, что из таких вторичных кратеров состоят лучевые системы, которые хорошо видны в полнолуние у некоторых крупных молодых кратеров. Образование крупных кратеров, вероятно, связано и с бурной вулканической деятельностью, характерной для далекого прошлого Луны.

3. Лунные породы. Благодаря мягким посадкам автоматических станций на Луну, а затем и полетам на Луну американских астронавтов стали известны механические свойства лунного грунта и его химический состав. На Луне не оказалось толстого слоя пыли, которого когда-то опасались многие конструкторы лунников, но пыль на Луне есть. Она темно-серого цвета и по внешнему виду напоминает цемент.

Образцы лунных пород внешне похожи на земные изверженные базальты. В состав их входят хорошо известные на Земле химические элементы (Si, Al, Fe, Ca, Mg и др.). Но в лунных породах больше, чем в земных, содержится тугоплавких элементов (Ti, Zr, Cr и др.) и меньше — легкоплавких (Pb, K, Na и др.). Химический состав различных участков поверхности Луны неодинаков.

В поверхностном слое Луны (*реголите*) содержатся осколки магматических пород, шлакообразные частицы с оплавленными гранями. Многие образцы как бы обработаны песком. Их вид свидетельствует о том, что они длительное время подвергались своеобразной эрозии (ударам мелких метеоритов и обработке потоками частиц, непрерывно исходящими от Солнца).

Из-за отсутствия воды минералов на Луне значительно меньше, чем на Земле. Микроорганизмов на Луне не обнаружено.

Лунные породы относятся к очень древним — их возраст составляет примерно 4 млрд. лет, причем самыми «молодыми» (несколько более 3 млрд. лет) оказались образцы, доставленные из морских районов.

На Луне давно завершилась эпоха активного вулканизма. С течением времени уменьшалась и интенсивность метеоритной бомбардировки лунной поверхности. Благодаря этому на протяжении последних 2—3 млрд. лет вид Луны практически не изменялся. А на Земле, как вы знаете из курса географии, под воздействием воды и воздуха древний рельеф не мог сохраниться. Сравнение лунного и современного земного рельефа помогает воссоздать условия, в которых на Земле формировались запасы полезных ископаемых. Это необходимо знать для разработки научных основ поиска полезных ископаемых.

Еще и сейчас происходят **лунотрясения** (напоминающие слабые землетрясения). Они зарегистрированы сейсмографами, установленными на Луне астронавтами. Данные этих приборов позволили исследовать внутреннее строение Луны, выделив **кору** (толщиной около 60 км), **мантию** (до 1000 км) и **ядро** (его радиус около 750 км).

Вопросы-задания для самоконтроля

1. Чем отличаются физические условия на Луне от привычных нам земных? 2. Ось вращения Луны почти перпендикулярна к плоскости ее орбиты. Будет ли на небе Луны α Малой Медведицы играть роль Полярной звезды? 3*. Каковы основные детали лунного рельефа? 4. Используя бинокль (школьный телескоп) и карту Луны, найдите большие моря и кратеры на поверхности Луны. (Постарайтесь наблюдать Луну при разных фазах!)

§ 14. ПЛАНЕТЫ ЗЕМНОЙ ГРУППЫ

По своим физическим характеристикам планеты делятся на две группы — *планеты земной группы* и *планеты-гиганты*. Мы дадим обзор главных особенностей обеих групп планет, на основе чего вы сумеете дать описание каждой планеты.

1. **Общая характеристика планет земной группы.** Планеты, относящиеся к земной группе, — *Меркурий* (рис. 36), *Венера* (рис. 37), *Земля* (рис. 38), *Марс* (рис. 39) — имеют *небольшие размеры и массы* (см. приложение VII), *средняя плотность* этих планет в несколько раз превосходит плотность воды; они *медленно вращаются* вокруг своих осей; у них *мало спутников* (у Меркурия и Венеры их вообще нет, у Марса — два крохотных, у Земли — один).



◁

Рис. 36. Меркурий (фотография, сделанная с близкого расстояния).

Рис. 37. Венера (один из снимков, переданных АМС).

▽



Сходство планет земной группы не исключает и значительного различия. Например, Венера, в отличие от других планет, вращается в направлении, *обратном* ее движению вокруг Солнца, причем в 243 раза медленнее Земли (сравните продолжительность года и суток на Венере). Период обращения Меркурия (т. е. год этой планеты) только на $1/3$ больше периода его вращения вокруг оси (по отношению к звездам). Углы наклона осей к плоскостям их орбит у Земли и у Марса примерно одинаковы, но совсем иные у Меркурия и Венеры. А вы знаете, что это одна из причин, определяющая характер смены времен года. Такие же, как у Земли, времена года есть, следовательно, на Марсе (правда, каждое время года почти в два раза продолжительнее, чем на Земле).

Не исключено, что по ряду физических характеристик к планетам земной группы относится и далекий *Плутон* — самая маленькая из 9 планет. Средний диаметр Плутона около 2260 км. Лишь вдвое меньше диаметр Харона — спутника Плутона. Поэтому не исключено, что система Плутон — Харон, как и система Земля — Луна, представляет собой «двойную планету».

2. Атмосферы. Черты сходства и различия обнаруживаются также при изучении атмосфер планет земной группы. В отличие от Меркурия, который, как и Луна, практически лишен атмосферы, Венера и Марс обладают ею. Современные данные об атмосферах Венеры и Марса получены в результате полетов наших («Венера», «Марс») и американских («Пионер-Венера», «Маринер», «Викинг») АМС. Сравнивая атмосферы Венеры и Марса с земной (см. приложение VIII), мы видим, что, в отличие от азотно-кислородной земной атмосферы, Венера и Марс имеют атмосферы, в основном состоящие из углекислого газа. Давление у поверхности Венеры более чем в 90 раз больше, а у Марса почти в 150 раз меньше, чем у поверхности Земли.

Температура у поверхности Венеры очень высокая (около 500°C) и остается почти одинаковой. С чем это связано? На первый взгляд, кажется, с тем, что Венера ближе к Солнцу, чем Земля. Но, как показывают наблюдения, отражательная способность Венеры больше, чем у Земли, а потому Солнце примерно одинаково нагревает обе планеты. Высокая температура поверхности Венеры обусловлена парниковым эффектом. Он заключается в следующем: атмосфера Венеры пропускает лучи Солнца, которые нагревают поверхность. Нагретая поверхность становится источником инфракрасного излучения, которое не может покинуть планету, так как его задерживают содержащиеся в атмосфере Венеры углекислый газ и водяной пар, а также облачный покров планеты. В результате этого равновесие между притоком энергии



Рис. 38. Земля.



Рис. 39. Марс (одна из наземных фотографий).

и ее расходом в мировое пространство устанавливается при более высокой температуре, чем та, которая была бы у планеты, свободно пропускающей инфракрасное излучение.

Мы привыкли к земным облакам, состоящим из мелких капель воды или ледяных кристалликов. Состав облаков Венеры иной: они содержат капельки серной и, возможно, соляной кислоты. Облачный слой сильно ослабляет солнечный свет, но, как показали измерения, выполненные на АМС «Венера-11» и «Венера-12», освещенность у поверхности Венеры примерно такая же, как у поверхности Земли в облачный день. Исследования, выполненные в 1982 г. АМС «Венера-13» и «Венера-14», показали, что небо Венеры и ее ландшафт имеют оранжевый цвет. Объясняется это особенностью рассеивания света в атмосфере этой планеты.

Газ в атмосферах планет земной группы находится в непрерывном движении. Нередко во время пылевых бурь, которые длятся по нескольку месяцев, огромное количество пыли поднимается в атмосферу Марса. Ураганные ветры зафиксированы в атмосфере Венеры на высотах, где расположен облачный слой (от 50 до 70 км над поверхностью планеты), но вблизи поверхности этой планеты скорость ветра достигает всего лишь нескольких метров в секунду.

Таким образом, несмотря на некоторое сходство, в целом атмосферы ближайших к Земле планет резко отличаются от атмосферы Земли. Это пример открытия, которое невозможно было предсказать. Здравый смысл подсказывал, что планеты со сходными физическими характеристиками (например, Землю и Венеру иногда называют «планетами-близнецами») и примерно одинаково удаленные от Солнца должны иметь очень похожие атмосферы. На самом деле причина наблюдаемого различия связана с особенностями эволюции атмосфер каждой из планет земной группы.

Исследование атмосфер планет земной группы не только позволяет лучше понять свойства и историю происхождения земной атмосферы, но и имеет значение для решения экологической проблемы. Например, туманы-смоги, образующиеся в земной атмосфере в результате загрязнения воздуха, по своему составу очень напоминают венерианские облака. Эти облака, как и пылевые бури на Марсе, напоминают нам о том, что необходимо ограничивать выброс пыли и разного рода промышленных отходов в атмосферу нашей планеты, если мы хотим на длительное время сохранить на Земле условия, пригодные для существования и развития жизни. Пылевые бури, во время которых на протяжении нескольких месяцев в атмосфере Марса удерживаются и распространяются над громадными территориями тучи пыли, заставляют задуматься над некоторыми возможными экологическими последствиями ядерной войны.

3. Поверхности. Планеты земной группы, подобно Земле и Луне, имеют твердые поверхности. Наземные оптические наблюдения позволяют получить о них немного сведений, так как Меркурий трудно рассмотреть в телескоп даже во время элонгаций, поверхность Венеры скрыта от нас облаками. На Марсе даже во время *великих противостояний* (когда расстояние между Землей и Марсом минимальное — около 55 млн. км), происходящих один раз в 15—17 лет, в крупные телескопы удается рассмотреть детали размерами около 300 км. И все-таки в последние десятилетия удалось многое узнать о поверхности Меркурия и Марса, а также получить представление о еще недавно совершенно загадочной поверхности Венеры. Это стало возможным благодаря успешным полетам автоматических межпланетных станций типа «Венера», «Марс», «Викинг», «Маринер», «Магеллан», пролетавших вблизи планет или совершивших посадки на поверхность Венеры и Марса, и благодаря наземным радиолокационным наблюдениям.

Поверхность Меркурия, изобилующая кратерами, очень напоминает лунную (рис. 40). «Морей» там меньше, чем на Луне, причем они небольшие. Диаметр меркурианского *Моря Зноя* 1300 км, как и *Моря Дождей* на Луне. На десятки и сотни километров тянутся крутые уступы, вероятно, порожденные былой тектонической активностью Меркурия, когда смещались и надвигались поверхностные слои планеты. Как и на Луне, большинство кратеров образовались в результате падений метеоритов. Там, где кратеров немного, мы видим сравнительно молодые участки поверх-

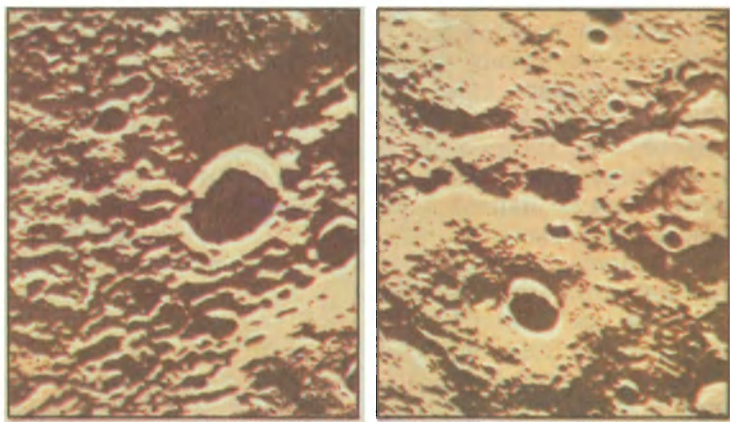


Рис. 40. Участки поверхности Меркурия.



Рис. 41. Панорама поверхности Венеры, переданная на Землю АМС «Венера-14».

ности. Старые, разрушенные кратеры заметно отличаются от более молодых кратеров, хорошо сохранившихся.

Каменистая пустыня и множество отдельных камней видны на первых фототелевизионных панорамах, переданных с *поверхности Венеры* автоматическими станциями серии «Венера» (рис. 41). Радиолокационные наземные наблюдения обнаружили на этой планете множество неглубоких кратеров, диаметры которых от 30 до 700 км. В целом эта планета оказалась наиболее гладкой из всех планет земной группы, хотя и на ней есть большие горные массивы и протяженные возвышенности, вдвое превышающие по размерам земной Тибет. Грандиозен потухший вулкан *Максвелл*, его высота 12 км (в полтора раза больше Джомолунгмы), поперечник подошвы 1000 км, диаметр кратера на вершине 100 км. Очень велики, но меньше, чем Максвелл, вулканические конусы *Гаусс* и *Герц*. Подобно рифтовым ущельям, тянущимся по дну земных океанов, на Венере также обнаружены рифтовые зоны, свидетельствующие о том, что и на этой планете когда-то происходили (а может быть, происходят и сейчас!) активные процессы (например, вулканическая деятельность).

В 1983—1984 гг. со станций «Венера-15» и «Венера-16» проводились радиолокационные исследования, позволившие создать карту и атлас поверхности планеты (размеры деталей поверхности 1—2 км). Новый шаг в исследовании поверхности Венеры связан с применением более совершенной радиолокационной системы, установленной на борту амери-

канской АМС «Магеллан». Этот космический аппарат достиг окрестности Венеры в августе 1990 г. и вышел на вытянутую эллиптическую орбиту. Регулярная съемка проводится с сентября 1990 г. На Землю передаются отчетливые изображения, на некоторых из них хорошо различимы детали размером до 120 м (рис. 42—46). К маю 1993 г. съемкой было охвачено почти 98% поверхности планеты. Планируется завершить эксперимент, включающий не только фотографирование Венеры, но и проведение других исследований (гравитационного поля, атмосферы и др.) в 1995 г.

Изобилует кратерами и *поверхность Марса* (рис. 47). Особенно много их в южном полушарии планеты. Темные области, занимающие значительную часть поверхности планеты, получили название *морей* (*Эллада, Аргир* и др.). Диаметры некоторых морей превышают 2000 км. Возвышен-



Рис. 42. Кольцевые структуры на поверхности Венеры («короны») диаметром от 100 до 200 тыс. км (радиолокационное изображение, переданное «Магелланом», 1991 г.).

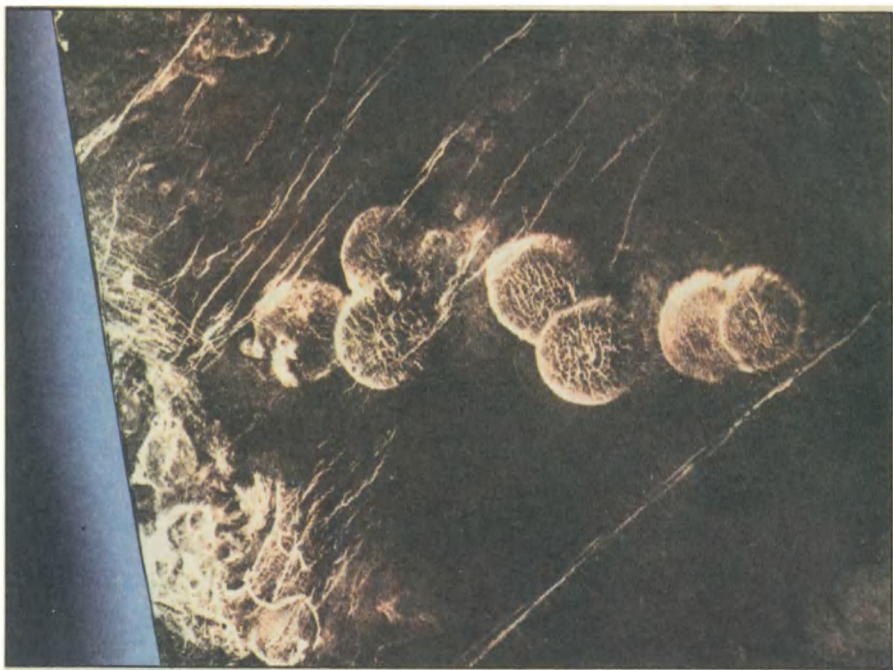


Рис. 43. Объемное изображение некоторых деталей ландшафта Венеры (радиолокационное изображение, переданное «Магелланом», 1991 г.).

ности, напоминающие земные континенты, представляющие собой светлые поля оранжево-красного цвета, названы материками (*Фарсида*, *Элисиум*). Как и на Венере, здесь есть огромные вулканические конусы. Высота наибольшего из них (*Олимпа*) превышает 25 км, диаметр кратера 90 км. Диаметр основания этой гигантской конусообразной горы более 500 км.

О том, что миллионы лет назад на Марсе происходили мощные вулканические извержения и смешались поверхностные пласты, свидетельствуют остатки лавовых потоков, огромные разломы поверхности (один из них — *Маринер* — тянется на 4000 км), многочисленные ущелья и каньоны. Возможно, что именно некоторые из этих образований (например, цепочки кратеров или протяженные ущелья) исследователи Марса еще 100 лет назад приняли за «каналы», существование которых впоследствии долгое время пытались объяснить деятельностью разумных обитателей Марса.

Перестал быть загадкой и красноватый цвет Марса. Он

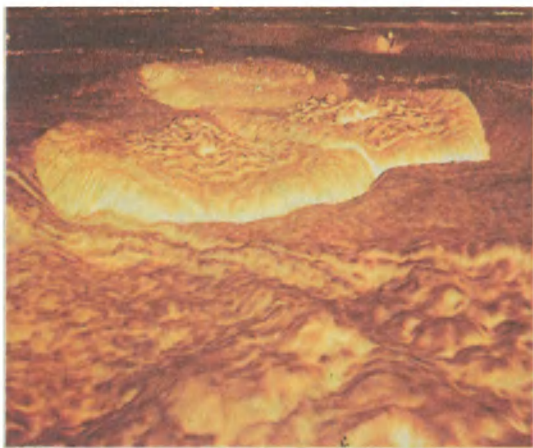


Рис. 44. Часть восточного края области Альфа на Венере. Куполообразные холмы возникли в результате подъема лавы на поверхность планеты. Холмы такой природы видны и на рисунке 43.



Рис. 45. Область Западная Эйтсла на Венере. Слева гора Сиф — вулкан, достигающий 2 км высоты (компьютерная обработка радиолокационного изображения, переданного «Магелланом», 1992 г.).

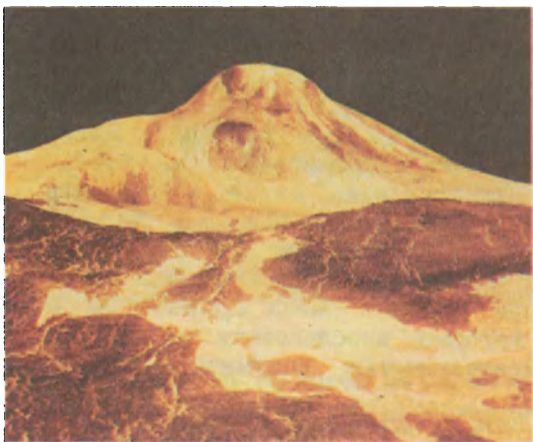


Рис. 46. Гора Маат — вулкан, высотой около 8 км, на Венере (компьютерная обработка радиолокационного изображения, переданного «Магелланом», 1992 г.).



Рис. 47. Изображение Марса, составленное в начале 90-х годов американскими учеными, по данным фотографирования планеты с близкого расстояния хорошо заметен каньон Маринер протяженностью до 1000 км.

объясняется тем, что грунт этой планеты содержит много глин, богатых железом.

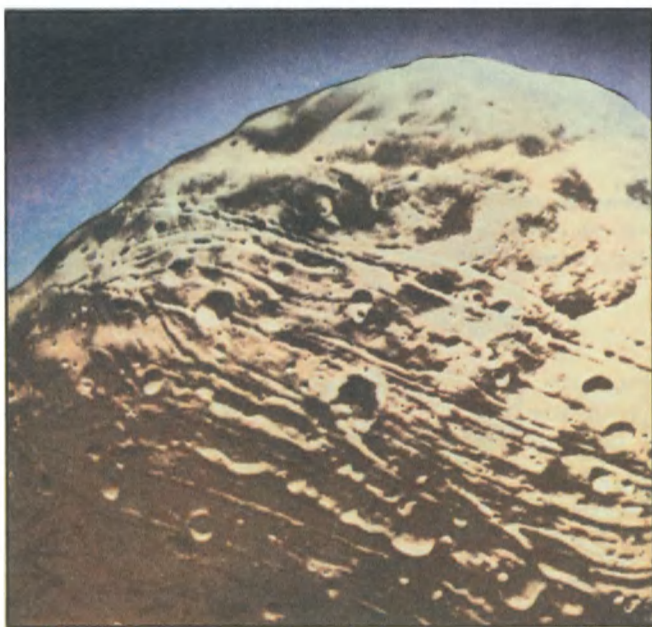
С близкого расстояния неоднократно фотографировались спутники Марса (рис. 48, 49) и передавались панорамы поверхности «Красной планеты» (рис. 50).

Вы знаете, что почти $\frac{2}{3}$ поверхности Земли занимают океаны. На поверхности Венеры и Меркурия воды нет. Открытые водоемы отсутствуют и на поверхности Марса. Но, как предполагают ученые, вода на Марсе должна быть, по



△

Рис. 48.
Спутник
Марса —
Фобос.



◁

Рис. 49.
Спутник
Марса —
Деймос.

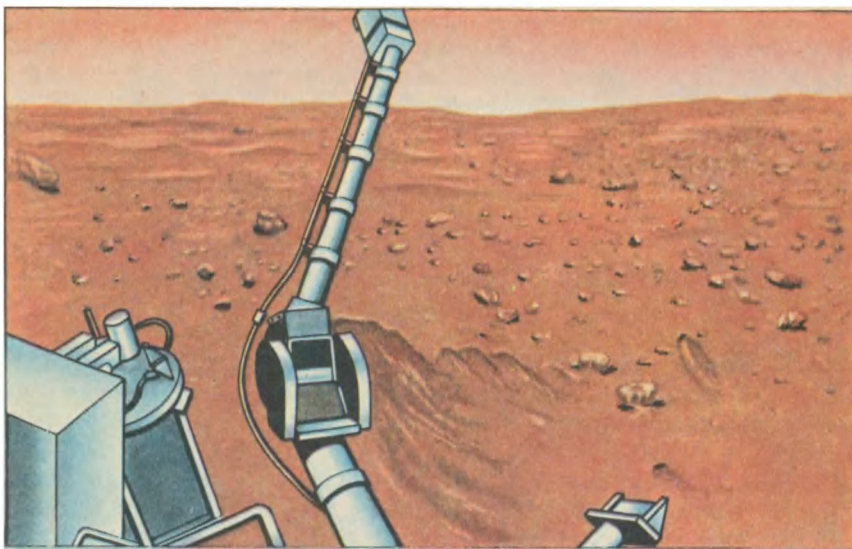


Рис. 50. Автоматическая американская станция «Викинг-1» на поверхности Марса (1978 г.).

крайней мере, в виде слоя льда, образующего *полярные шапки*, или как обширный *слой вечной мерзлоты*. Возможно, вы станете свидетелями открытия на Марсе запасов льда или даже находящейся подо льдом воды. О том, что вода когда-то была и на поверхности Марса, свидетельствуют обнаруженные там высохшие руслоподобные извилистые ложбины.

Вопросы-задания для самоконтроля

1. Какая из планет земной группы больше (меньше) других по размерам? Массе? Средней плотности? 2. Какие нужно знать физические характеристики планеты, чтобы вычислить ее среднюю плотность? 3. Происходила ли бы на Земле смена времен года, если бы ось Земли была перпендикулярна к плоскости орбиты нашей планеты? 4. В чем сходство и различие атмосфер планет земной группы? 5. В чем сходство и различие поверхностей планет земной группы? 6*. Начертите (в выбранном вами масштабе) Джомолунгму, Максвелл и Олимп. 7*. Обоснуйте вывод о том, что нельзя считать Луну и планеты земной группы небесными телами, эволюция которых уже завершена. 8. В свое время кратеры образовались на всех планетах земной группы и на Луне. Где и почему они лучше (хуже) всего сохранились к настоящему времени? 9. Какое научное и практическое значение имеет изучение планет зем-

ной группы? 10. Проанализировав совокупность современных данных о Меркурии, Венере и Марсе, сделайте вывод о возможности существования жизни на этих планетах. 11. Что вы знаете теперь о Меркурии, Венере, Марсе? 12*. Используя «ШАК», выясните, когда Венера будет доступна вечерним наблюдениям, и постарайтесь в школьный телескоп рассмотреть ее фазу.

§ 15. ПЛАНЕТЫ-ГИГАНТЫ

1. Общая характеристика планет-гигантов. Продолжая работу с данными, включенными в приложение VII, вы сумеете выяснить отличие планет-гигантов от планет земной группы и найти черты сходства и различия у планет, относящихся к гигантам (*Юпитер* (рис. 51), *Сатурн* (рис. 52), *Уран*, *Нептун*). Все эти планеты (и особенно Юпитер!) имеют *большие размеры и массы*. Например, по объему Юпитер превосходит Землю почти в 1320 раз, а по массе — в 318 раз. Обратите внимание на низкую среднюю плотность (наименьшая она у Сатурна — $0,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$).

Планеты-гиганты очень *быстро вращаются вокруг своих осей*; менее 10 ч требуется огромному Юпитеру, чтобы совершить один оборот. Причем, как выяснилось в результате наземных оптических наблюдений, экваториальные зоны планет-гигантов вращаются быстрее, чем полярные, т. е. там, где максимальны линейные скорости точек в их движении вокруг оси, максимальны и угловые скорости. Результат быстрого вращения — большое *сжатие* планет-гигантов (заметное при визуальных наблюдениях). Вы знаете, что



Рис. 51. Юпитер.

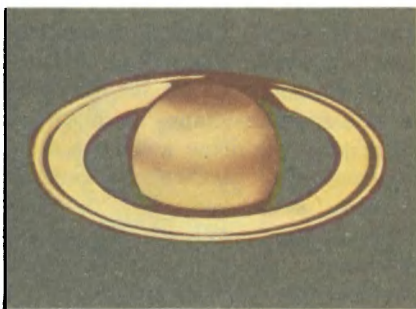


Рис. 52. Сатурн.



Рис. 53. Мозаичное изображение Юпитера, составленное по космическим фотографиям планеты (США).

разность экваториального и полярного радиусов Земли составляет ≈ 21 км, а у Юпитера она равна 4400 км.

Планеты-гиганты находятся далеко от Солнца, и независимо от характера смены времен года на них всегда господствуют низкие температуры. На Юпитере вообще нет смены времен года, поскольку ось этой планеты почти перпендикулярна к плоскости ее орбиты. Своеобразно происходит смена времен года и на планете Уран, так как ось этой планеты наклонена к плоскости орбиты под углом 8° .

Планеты-гиганты отличаются *большим числом спутников*; у Юпитера их обнаружено к настоящему времени 16, Сатурна — 17, Урана — 16 и только у Нептуна — 8. Замечательная особенность планет-гигантов — *кольца*, которые открыты не только у Сатурна, но и у Юпитера, Урана и Не-

птуна. Из планет-гигантов лучше других исследованы Юпитер и Сатурн.

2. Особенности строения. Важнейшая особенность строения планет-гигантов заключается в том, что эти планеты *не имеют твердых поверхностей*. Такое представление хорошо согласуется с малыми средними плотностями планет-гигантов, их химическим составом (они состоят в основном из легких элементов — водорода и гелия), быстрым зональным вращением и некоторыми другими данными. Следовательно, все, что удастся рассмотреть на Юпитере и Сатурне (на более далеких планетах детали вообще не видны), происходит в протяженных атмосферах этих планет (рис. 53). На Юпитере даже в небольшие телескопы заметны полосы, вытянутые вдоль экватора. В верхних слоях водородно-гелиевой атмосферы Юпитера в виде примесей встречаются химические соединения (например, метан и аммиак), углеводороды (этан, ацетилен), а также различные соединения (в том числе содержащие фосфор и серу), окрашивающие детали атмосферы в красно-коричневые и желтые цвета. Таким образом, по своему химическому составу планеты-гиганты резко отличаются от планет земной группы. Это отличие связано с процессом образования планетной системы (§ 32).

На фотографиях, переданных с борта американских АМС «Пионер» и «Вояджер», отчетливо видно, что газ в атмосфере Юпитера участвует в сложном движении, которое сопровождается образованием и распадом вихрей. Предполагается, что наблюдаемое на Юпитере около 300 лет *Большое Красное Пятно* (овал с полуосями 15 и 5 тыс. км) тоже представляет собой огромный и очень устойчивый вихрь (рис. 54).



Рис. 54. Большое Красное Пятно на Юпитере («Вояджер-1», 1979 г., с расстояния 5 млн. км).

Потоки движущегося газа и устойчивые пятна видны и на снимках Сатурна, переданных автоматическими межпланетными станциями.

«Вояджер-2» дал возможность рассмотреть и детали атмосферы Нептуна.

Вещество, находящееся под облачным слоем планет-гигантов, недоступно непосредственному наблюдению. О его свойствах можно судить по некоторым дополнительным данным. Например, предполагают, что в недрах планет-гигантов вещество должно иметь высокую температуру. Как же такой вывод был сделан? Во-первых, зная расстояние Юпитера от Солнца, вычислили количество теплоты, которое Юпитер от него получает. Во-вторых, определили отражательную способность атмосферы, что позволило узнать, сколько солнечной энергии планета отражает в космическое пространство. Наконец, вычислили температуру, которую должна иметь планета, находящаяся на известном расстоянии от Солнца. Она оказалась близкой к -160°C . Но температуру планеты можно определить и непосредственно, исследуя ее инфракрасное излучение с помощью наземной аппаратуры или приборов, установленных на борту АМС. Такие измерения показали, что температура Юпитера близка к -130°C , т. е. выше расчетной. Следовательно, Юпитер излучает энергии почти в 2 раза больше, чем получает от Солнца. Это и позволило сделать вывод о том, что планета обладает собственным источником энергии.

Совокупность всех имеющихся сведений о планетах-гигантах дает возможность построить *модели внутреннего строения* этих небесных тел, т. е. рассчитать, каковы *плотность, давление и температура* в их недрах. Например, температура вблизи центра Юпитера достигает нескольких десятков тысяч кельвинов.

В отличие от планет земной группы, обладающих корой, мантией и ядром, на Юпитере газообразный водород, входящий в состав атмосферы, переходит в жидкую, а затем и в твердую (металлическую) фазу. Появление таких необычных агрегатных состояний водорода (в последнем случае он становится проводником электричества), связано с резким увеличением давления по мере погружения в глубину. Так, на глубине, несколько большей 0,9 радиуса планеты, давление достигает 40 млн. атм ($4 \cdot 10^{12}$ Па).

Возможно, что с быстрым вращением проводящего ток вещества, находящегося в центральных областях планет-гигантов, связано существование значительных *магнитных полей* этих планет. Особенно велико магнитное поле Юпитера. Оно во много раз превосходит магнитное поле Земли, причем полярность его обратна земной (как вы знаете, у Земли вблизи северного географического полюса расположен юж-

**Рис. 55. Участки поверхности
спутника Юпитера — Ганимеда.**

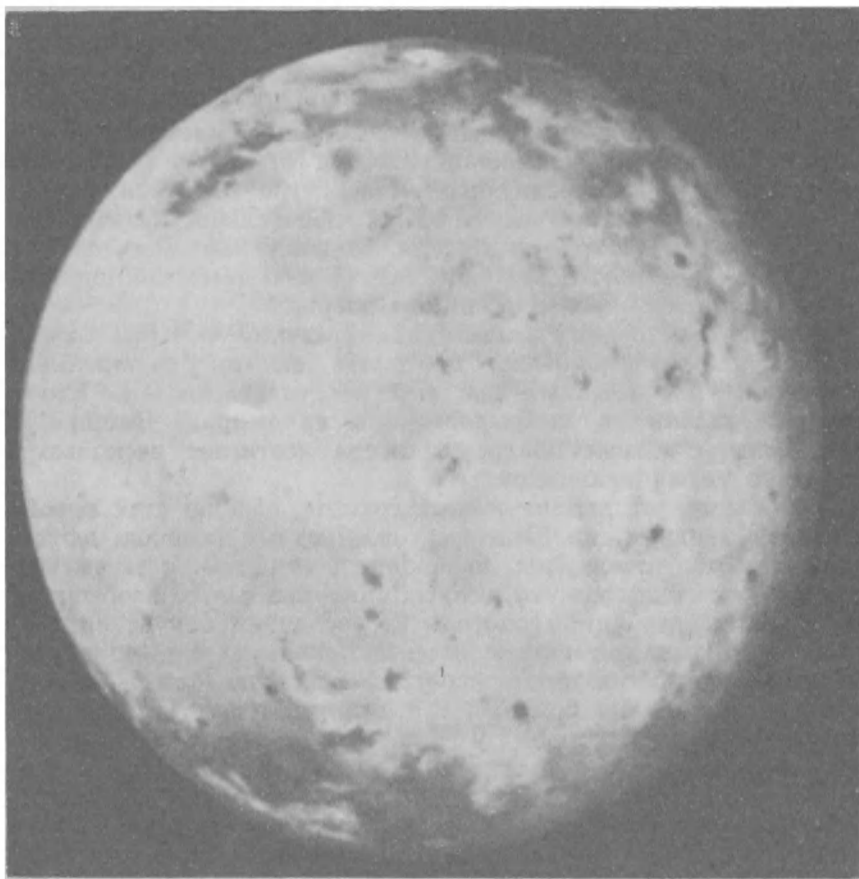
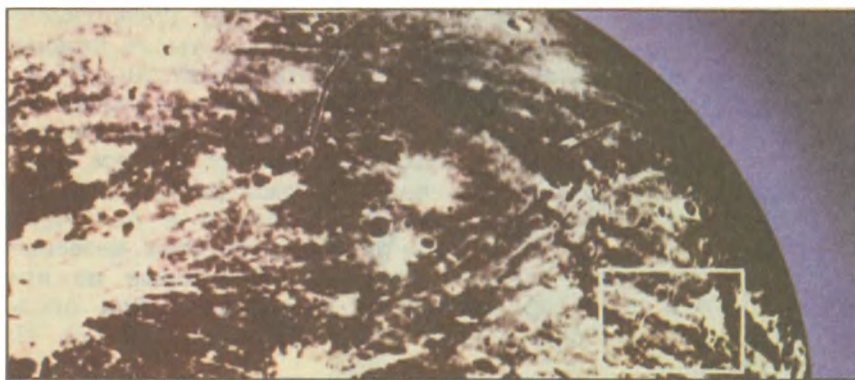


Рис. 56. Спутник Юпитера — Ио.



ный магнитный). Магнитное поле планеты улавливает летящие от Солнца заряженные частицы (ионы, протоны, электроны и др.), которые образуют вокруг планеты пояса частиц высоких энергий, называемые радиационными поясами. Такие пояса из всех планет земной группы есть только у нашей планеты. Радиационный пояс Юпитера простирается на расстояние до 2,5 млн. км. Он в десятки тысяч раз интенсивнее земного. Электрически заряженные частицы, движущиеся в радиационном поясе Юпитера, излучают радиоволны в диапазоне дециметровых и деkamетровых волн. Как и на Земле, на Юпитере наблюдаются *полярные сияния*, связанные с прорывом заряженных частиц из радиационных поясов в атмосферу, а также мощные электрические разряды в атмосфере (*грозы*).

3. Спутники. Система спутников Юпитера напоминает Солнечную систему в миниатюре. Четыре спутника, открытые Галилеем, называют галилеевыми спутниками. Это *Ио*, *Европа*, *Ганимед* и *Каллисто*. Самый большой из них — Ганимед — превосходит по размерам Меркурий (но вдвое уступает этой планете по массе). Пролетая вблизи спутников Юпитера (а потом Сатурна), американские автоматические межпланетные станции «Пионер» и «Вояджер» передали на Землю фотографии с изображением их поверхностей, которые напоминают поверхности Луны и планет земной группы. Особенно похож на Луну Ганимед (рис. 55). Кроме кратеров, на Ганимеде много длинных хребтов и полос, образующих своеобразные ветвящиеся пучки. *Уникальна поверхность Ио*, на которой открыты действующие вулканы, и она буквально вся залита продуктами их извержения (рис. 56). Очень много кратеров на *Каллисто*. На фотографиях этого спутника видна многокольцевая структура («Бычий глаз») диаметром 600 км с системой концентрических колец (до 2600 км в диаметре), веро-

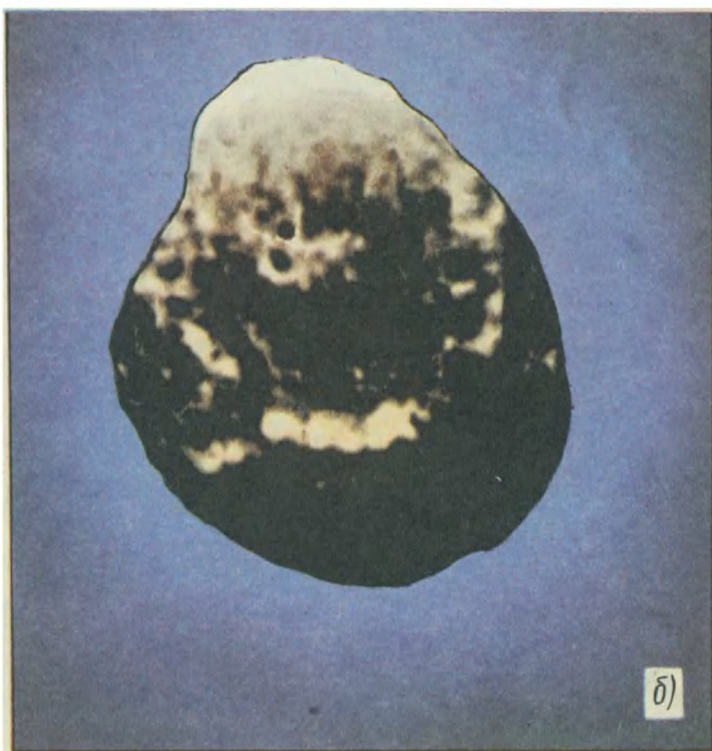
ятно, порожденная ударом метеорита (рис. 57). Поверхность *Европы* испещрена тянущимися на несколько тысяч километров темными и светлыми трещинами (шириной 20—40 км). Самый близкий к Юпитеру спутник *Амальтея*, а также все далекие спутники, находящиеся за пределами орбит галилеевых спутников, имеют неправильную форму и этим напоминают малые планеты Солнечной системы (астероиды).

Сфотографированы с близкого расстояния и некоторые спутники Сатурна (рис. 58). На поверхности этих небесных тел тоже обнаружено много кратеров. Некоторые из них очень велики (диаметр кратера на спутнике *Тетия* около 400 км, а на спутнике *Мимас* (рис. 59) около 130 км). Из



Рис. 57. Спутник Юпитера — Каллисто (с расстояния 202 000 км).

Рис. 58.
Спутник Сатурна
Энцелад (а),
спутник Сатурна
Гиперион (б).





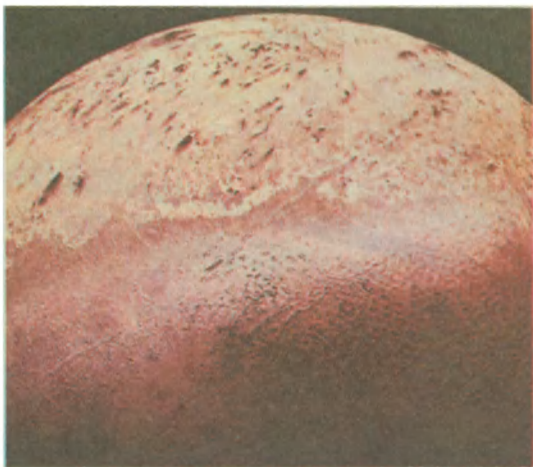
**Рис. 59. Спутник
Сатурна — Мимас
(с кратером 130 км
в диаметре).**



**Рис. 60. Спутник
Урана — Миранда
(«Вояджер-2»,
1986 г.).**



Рис. 61. Крупнейший спутник Нептуна — Тритон («Вояджер-2»).



спутников Сатурна особый интерес представляет *Титан*, который обладает атмосферой. Она почти целиком состоит из азота, причем плотность и давление атмосферы у поверхности Титана превосходят соответствующие параметры атмосферы Земли. Масса Титана почти в 2 раза, а радиус (около 2580 км) в 1,5 раза больше соответственно массы и радиуса Луны. Следовательно, Титан, как и Ганимед, радиус которого около 2640 км, — очень крупный спутник. Один из интереснейших спутников Урана — Миранда (рис. 60). Замечателен и *Тритон* — самый большой спутник Нептуна (рис. 61). Диаметр Тритона 2705 км. На Тритоне имеется и атмосфера, в основном состоящая из азота. Как и многие другие спутники планет-гигантов, Тритон — силикатно-ледяное небесное тело. На нем обнаружены кратеры, полярные шапки (из замерзшего азота и, возможно, водного льда) и даже газовые гейзеры.

4. **Кольца.** Первыми были открыты *кольца Сатурна* (XVII в., Галилей, Гюйгенс). Еще в XIX в. английский физик *Дж. Максвелл* (1831—1879), изучавший устойчивость движения колец Сатурна, а также русский астрофизик *А.А. Белопольский* (1854—1934) доказали, что кольца Сатурна не могут быть сплошными. С Земли в лучшие телескопы видно несколько колец, разделенных промежутками. Но на фотографиях, переданных с АМС, видно множество колец (рис. 62). Кольца очень широкие: они простираются над облачным слоем планеты на 60 000 км. Каждое состоит из частиц и глыб, движущихся по своим орбитам вокруг Сатурна. Толщина же колец не более 1 км. Поэтому, когда Земля при своем движении вокруг Солнца оказывается в

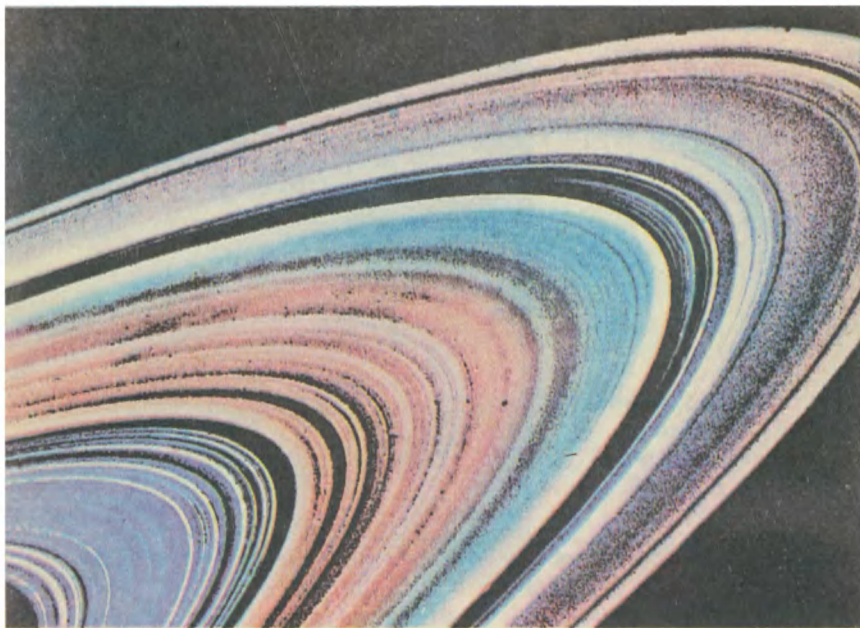


Рис. 62. Тонкая структура колец Сатурна.

плоскости колец Сатурна (это случается через 14—15 лет, так было в 1994 г.), кольца перестают быть видимыми: нам кажется, что они исчезают. Не исключено, что вещество, из которого состоят кольца, не вошло в состав планет и их больших спутников во время формирования этих небесных тел.

В 1977 г. были открыты кольца у Урана, в 1979 г. — у Юпитера, в 1989 г. — у Нептуна. На возможность существования колец у всех планет-гигантов еще в 1960 г. указывал известный астроном *С. К. Всехсвятский* (1905—1984).

Вопросы-задания для самоконтроля

1. Чем отличаются по своим основным физическим характеристикам планеты-гиганты от планет земной группы? 2. Какова особенность вращения планет-гигантов вокруг оси? 3*. Зная углы наклона осей планет-гигантов к плоскостям их орбит и периоды обращения этих планет вокруг Солнца, проанализируйте, как происходит смена времен года на Сатурне, Уране и Нептуне. 4. Каковы особенности строения планет-гигантов? 5*. Начертите (в одинаковом масштабе) Ганимед, Титан и Тритон, а также Луну, Меркурий и Плутон. Сравните их размеры и сде-

лейте выводы. 6. Что представляют собой кольца планет? 7. Почему иногда даже в крупные телескопы не видны кольца Сатурна? 8. Что вы знаете о Юпитере и Сатурне? 9. Виден ли по вечерам Юпитер в момент изучения этой темы? При первой возможности рассмотрите эту планету в школьный телескоп. Заметно ли сжатие Юпитера? Как были расположены в момент наблюдения галилеевы спутники по отношению к Юпитеру? 10*. Используя ШАК, выясните, каковы условия видимости колец Сатурна, и, если это возможно, осуществите наблюдение Сатурна в школьный телескоп.

§ 16. АСТЕРОИДЫ И МЕТЕОРИТЫ

1*. Закономерность в расстояниях планет от Солнца и пояс астероидов. Еще в XVIII в. астрономы пытались найти планету, орбита которой проходит в пространстве между орбитами Марса и Юпитера. Уже в то время было известно соотношение, позволяющее приближенно вычислить в астрономических единицах расстояния планет от Солнца. Это соотношение (правило Тициуса — Боде) может быть записано в виде:

$$r = 0,3 \cdot 2^n + 0,4, \quad (25)$$

где r — среднее расстояние планеты от Солнца (в а. е.). Для вычислений по формуле (25) нужно принять среднее расстояние Меркурия от Солнца равным 0,4 а. е. ($n = -\infty$), а расстояния других планет получаются, если подставить в формулу различные значения n (0 — для Венеры, 1 — для Земли, 2 — для Марса, 3 — для предполагаемой планеты, 4 — для Юпитера и т. д.).

Вы сами можете убедиться, что для всех планет, включая Уран, формула (25) дает удовлетворительные значения, а для Нептуна и Плутона она непригодна. Но в XVIII в. планет, более далеких от Солнца, чем Уран, еще не знали и формулу считали точной. Поэтому естественно было, руководствуясь формулой (25), искать планету, для которой $n = 3$ и $r = 2,8$ а. е. Такой планеты в Солнечной системе не существует. Однако в самом начале XIX в. итальянский астроном Пиацци (1746—1826) случайно открыл первую малую планету (а с т е р о и д). Она была названа *Церерой*. В дальнейшем было открыто много других малых планет, образующих *пояс астероидов* между орбитами Марса и Юпитера.

2. Движение астероидов. На фотографиях звездного неба, снятых с большими экспозициями, астероиды получаются в виде светлых черточек. Зарегистрировано более 5500

малых планет. Общее число астероидов должно быть в десятки раз больше. Астероиды, орбиты которых установлены, получают обозначения (порядковые номера) и названия. Некоторые новые астероиды названы в честь великих людей (1379 Ломоносова), государств (1541 Эстония, 1554 Югославия), обсерваторий (1373 Цинциннати — американская обсерватория, являющаяся Международным центром наблюдений астероидов) и т. д.

Астероиды движутся вокруг Солнца в ту же сторону, что и большие планеты. Их орбиты имеют большие эксцентриситеты (в среднем 0,15), чем орбиты больших планет. Поэтому некоторые малые планеты далеко выходят за пределы пояса астероидов. Одни из них в афелии удаляются за орбиту Сатурна, другие в перигелии приближаются к Марсу и Земле. Например, *Гермес* в октябре 1937 г. прошел от Земли на расстоянии 580 000 км (всего лишь в полтора раза дальше Луны), а астероид *Икар*, открытый в 1949 г., при движении попадает даже внутрь орбиты Меркурия и каждые 19 лет сближается с Землей. В последний раз это произошло в июне 1987 г. Тогда Икар приблизился к Земле на расстояние в несколько миллионов километров, его наблюдали на многих обсерваториях. Разумеется, это не единственный случай. Не исключено, например, что столкновение астероида с Землей привело 65 млн. лет назад к гибели динозавров. А в марте 1989 г. астероид размером около 300 м прошел от Земли на расстоянии менее 650 тыс. км. Поэтому не случайно ученые приступили к разработке эффективных методов своевременного обнаружения, а если понадобится, уничтожения опасных астероидов.

3. Физические характеристики астероидов. Астероиды недоступны для наблюдения невооруженным глазом. Самый большой астероид — Церера (диаметр 1000 км). Вообще же астероиды имеют диаметры от нескольких километров до нескольких десятков километров, причем большинство астероидов — бесформенные глыбы. Массы астероидов хоть и различны, но слишком малы, чтобы эти небесные тела могли удержать атмосферу. Общая масса всех астероидов, собранных вместе, примерно в 20 раз меньше массы Луны. Из всех астероидов получилась бы одна планета диаметром меньше 1500 км.

В последние годы удалось открыть спутники (!) у некоторых астероидов. Впервые сфотографировали астероид с расстояния всего лишь 16 тыс. км 29 октября 1991 г. с борта американского космического корабля «Галилео», запущенного 18 октября 1982 г. для исследования Юпитера. Пересекая пояс астероидов, «Галилео» сфотографировал малую планету 951 — астероид Гаспра (рис. 63). Это типичный астероид. Большая полуось его орбиты 2,21 а. е. Он ока-

зался неправильной формы и, возможно, образовался в результате столкновения более крупных тел в поясе астероидов. На фотографиях видны кратеры (их диаметр 1—2 км, освещенная часть астероида — 16×12 км). На снимках удается различить детали поверхности астероида Гаспра размером 60—100 м.

4. Метеориты. Под действием притяжения планет орбиты астероидов изменяются и могут пересекаться друг с другом. В результате возможны столкновения астероидов и их дробление. Большинство выпавших на поверхность Земли *каменных и железных метеоритов* — обломки астероидов. При движении таких обломков в земной атмосфере возникает мощная *ударная волна*, в которой температура сжатого воздуха достигает десятков и сотен тысяч кельвинов. В результате диссоциации молекул воздуха и последующей многократной ионизации воздух приобретает свойства плазмы.

Как вы уже знаете, крупные метеориты на месте падения образуют кратеры. Кратеры обнаружены на всех планетах земной группы и на многих спутниках планет. Один из самых больших метеоритных кратеров на Земле находится в штате Аризона (США). Диаметр этого кругового кратера



Рис. 63. Астероид Гаспра.



Рис. 64. Осколок Сихотэ-Алинского метеорита.

свыше 1200 м, а масса образовавшего его метеорита оценивается примерно в 200 000 т. Сейчас известны десятки больших метеоритных кратеров. Для их поисков в настоящее время применяют аэрофотосъемку.

30 июня 1908 г. в тайге Центральной Сибири произошло явление, известное как падение *Тунгусского* метеорита. Взрыв, которым завершился полет космического тела, повалил лес на площади более 2000 кв. км, а также вызвал лесной пожар, многочисленные оптические, акустические и сейсмические явления. Взрывная волна обогнула земной шар. На громадной территории до 3 — 4 июля наблюдались исключительно светлые ночи, во время которых можно было читать мелкий шрифт. Однако ни сам метеорит, ни кратер от его падения обнаружить не удалось. С одной из гипотез о природе Тунгусского явления вы познакомитесь в § 17.

12 февраля 1947 г. в виде множества железных осколков (метеоритный дождь) упал *Сихотэ-Алинский* метеорит. Удалось собрать несколько десятков тонн метеоритного вещества (рис. 64).

Химический состав метеоритов постоянно изучается. *Железные метеориты* состоят в основном из железа (91%) и никеля (8,5%). *Каменные метеориты*, как и земные горные породы, содержат кислород и кремний, но в них больше, чем в земной коре, таких металлов, как магний, железо и никель. В некоторых каменных метеоритах имеется углерод. Такие метеориты содержат не только уголь и графит, но и углеводороды, а также примеси более сложных органических соединений, включая аминокислоты. Эти сложные вещества могли образоваться в метеоритах из более простых на ранних стадиях развития Солнечной системы. Данные о химическом составе метеоритов позволяют судить о распространенности различных химических элементов в Солнечной системе.

Прежде чем попасть в Землю, метеориты долгое время путешествуют в межпланетном пространстве. Исследование

вещества метеоритов и определение его возраста имеют важное значение для определения возраста планет и изучения условий, которые существовали в самый ранний период истории Солнечной системы. Поэтому метеориты представляют большую ценность для науки.

Ушло в прошлое то время, когда «небесным камням» поклонялись как «дарам неба», когда наука категорически отказывалась признать (до начала XIX в.), что камни могут «падать с неба».

Вопросы-задания для самоконтроля

1*. По формуле (25) вычислите приближенные средние расстояния планет от Солнца и сравните их с данными приложения VII. 2. Каковы периоды обращений астероидов, имеющих большие полуоси орбит: 2,2 а. е., 3,6 а. е.? 3. Найдите эксцентриситет орбиты Икара, зная его расстояния от Солнца в перигелии и афелии (0,18 и 1,97 а. е.). 4. Существует ли связь между астероидами и метеоритами? 5. Используя ШАК и ПКЗН, выясните, какие созвездия видны сегодня вечером и будут ли в каких-нибудь из них видны планеты.

§ 17. КОМЕТЫ И МЕТЕОРЫ

1. Вид, строение и открытие комет. Кроме больших и малых планет, вокруг Солнца движутся кометы (рис. 65). Яркие кометы (хвостатые звезды) своим необычным видом издавна привлекали внимание людей, внушая многим из них суеверный ужас. От других тел Солнечной

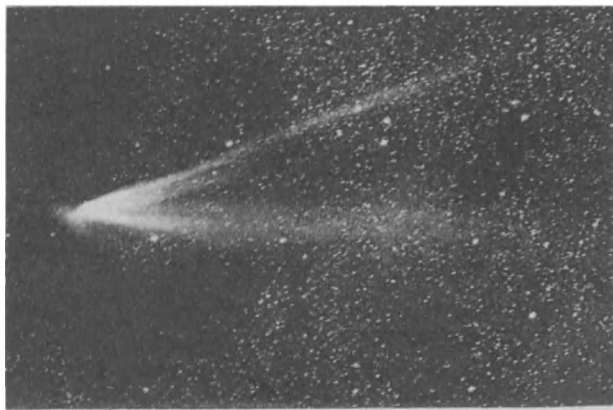


Рис. 65. Комета (одна из многочисленных фотографий).

системы кометы резко отличаются не только своим *видом*, но и *формой орбит*, большими *размерами*, а также сравнительно быстрым, иногда бурным *развитием*. Вид комет меняется по мере приближения к Солнцу. Вдали от Солнца комета видна как слабое туманное пятнышко, которое перемещается на фоне звездного неба. Постепенно у кометы развивается хвост, почти всегда направленный от Солнца.

Ежегодно обнаруживают в среднем 6—8 комет. Некоторые из них — это *периодические кометы*, которые в очередной раз возвратились к Солнцу. Только самые яркие кометы можно наблюдать невооруженным глазом. Часто кометы открывают любители астрономии, регулярно обзоряющие звездное небо в небольшие телескопы.

Основные части кометы: *голова*, *ядро* (центральное сгущение) и *хвост*. Ядра комет по размерам близки небольшим астероидам. Диаметр головы кометы иногда достигает сотен тысяч километров, а хвосты простираются на десятки и сотни миллионов километров. После прохождения перигелия комета начинает постепенно «угасать» и перестает быть видимой даже в самые большие телескопы.

2. Орбиты комет. Чтобы рассчитать по формулам небесной механики орбиту кометы, достаточно определить из наблюдений ее экваториальные координаты по крайней мере для трех моментов времени. Первоначально вычисленную орбиту, по которой комета приближается к Солнцу, в дальнейшем уточняют на основе новых наблюдений, так как притяжение планет изменяет орбиту. В настоящее время для вычисления орбит комет применяют быстродействующие ЭВМ.

Орбиты большинства комет — сильно вытянутые эллипсы, плоскости которых под разными углами наклонены к плоскости эклиптики. Двигаясь по таким орбитам, кометы в перигелии близко подходят к Солнцу (и к Земле), а в афелии удаляются от него на сотни тысяч астрономических единиц, уходя далеко за пределы орбиты Плутона — последней из известных пока планет.

Кометы, эксцентриситеты орбит которых не очень велики, имеют сравнительно небольшие периоды обращения вокруг Солнца. Самый короткий период — у кометы *Энке* (3,3 года), наблюдающейся уже на протяжении полутора веков. Неоднократно приближалась к Солнцу и комета *Галлея* (рис. 66), период обращения которой около 76 лет. Последнее прохождение этой кометы через перигелий (на расстоянии менее 0,6 а. е. от Солнца) было 9 февраля 1986 г. Комету Галлея удалось хорошо исследовать не только с Земли, но и с помощью нескольких специально запущенных космических аппаратов. На снимках, переданных с борта АМС «Вега-1», хорошо видно ядро кометы (рис. 67). Оно имеет



**Рис. 66. Комета
Галлея (1986 г.).**



**Рис. 67. Ядро кометы
Галлея.**



неправильную форму (с размерами осей 14 и 7 км). От шарообразных небесных тел отличаются и другие малые тела Солнечной системы (некоторые спутники планет-гигантов, небольшие астероиды).

3. Природа комет. Массу кометы можно оценить, наблюдая за возмущениями, которые появляются в ее движении при сближении с планетами. Например, при сближении кометы с Юпитером период ее обращения может резко измениться, а период обращения Юпитера практически остается прежним. Значит, масса кометы во много раз меньше массы Юпитера. Сближения комет с Землей позволили уточнить верхний предел массы комет (10^{-4} массы Земли).

Вещество кометы сосредоточено в основном в ее ядре, которое, по-видимому, состоит из смеси замерзших газов (среди которых есть аммиак, метан, углекислый газ, азот, циан и др.) и пылинок, металлических и каменных частиц разных размеров. Основные сведения о химическом составе ядер получены из анализа спектров газов, окружающих ядра комет, а также при сближении космических аппаратов с кометами.

Когда комета приближается к Солнцу, ядро постепенно прогревается, из него выделяются газы и пыль, которые окутывают ядро и образуют голову и хвост кометы. Хвост кометы состоит из очень разреженного вещества, сквозь которое даже просвечивают звезды.

Ядро кометы и пыль, входящая в состав головы и хвоста, светят отраженным и рассеянным солнечным светом. Холодное свечение газа (*флуоресценция*) происходит под воздействием солнечного излучения. При сближении космических аппаратов с ядром кометы Галлея удалось определить по инфракрасному излучению его температуру (100°C). Ученые сравнивают ядро этой кометы с «мартовским сугробом» (лед с примесью тугоплавких частиц). Ежедневно из ядра кометы Галлея выбрасывается много пыли, водяного пара, диоксида углерода, атомарного водорода и кислорода. Поверхностный слой обновляется примерно за сутки.

Чем ближе комета подходит к Солнцу, тем больше прогревается ее ядро, а следовательно, возрастает выделение газов и пыли, но одновременно усиливается и световое давление на нее. Поэтому хвост кометы увеличивается и становится все более заметным.

Кроме давления света, на хвосты комет действуют потоки заряженных частиц, испускаемых Солнцем (*солнечный ветер*). Магнитные поля этих потоков могут сообщать большие ускорения ионам, входящим в состав кометных хвостов и возникающим в них под действием солнечного излучения. От соотношения сил тяготения (притяжение к Солнцу) и от-

талкивания зависит траектория движения частиц, а значит, и форма кометных хвостов. У массивных частиц силы притяжения преобладают над силами отталкивания. Если силы отталкивания в сотни раз больше сил притяжения, то хвост будет почти точно направлен от Солнца (I тип, по классификации выдающегося русского астрофизика Ф. А. Бредихина, 1831—1904). Небольшая изогнутость кометного хвоста указывает на то, что силы отталкивания лишь в десятки раз превосходят силы притяжения (II тип). Очень изогнутые хвосты (III тип) образуются, когда силы отталкивания примерно равны силам притяжения. Когда силы притяжения больше сил отталкивания (очень крупные пылевые частицы), появляются аномальные хвосты, направленные к Солнцу. Схематически различные типы кометных хвостов изображены на рисунке 68.

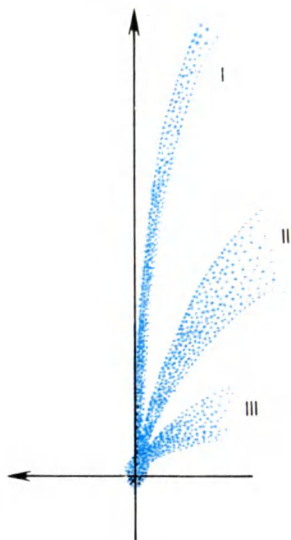


Рис. 68. Основные типы кометных хвостов.

В настоящее время кометы играют роль своеобразных «зондов» межпланетного пространства, они позволяют получить ценные сведения о свойствах космического пространства на различных расстояниях от Солнца.

Столкновение Земли с ядром кометы, а тем более прохождение Земли через хвост кометы, как это было в 1910 г., не может привести к гибели нашу планету. Согласно одной из гипотез, Тунгусский метеорит как раз и был ядром небольшой кометы, столкнувшейся с Землей, а в июне 1994 г. произошло столкновение одной из комет с Юпитером.

4. Метеоры и болиды. «Падающие звезды», или метеоры, часто привлекают наше внимание в ясные безлунные ночи. Природа метеоров веками оставалась неразгаданной, хотя уже давно было ясно, что метеоры ничего общего со звездами не имеют.

Если из двух пунктов, разделенных десятками километров, одновременно сфотографировать метеор или при визуальных наблюдениях нанести его путь на звездную карту, то окажется, что вследствие параллактического смещения наблюдатели зафиксируют метеор на фоне разных звезд. Зная параллактическое смещение и расстояние между пунктами наблюдения, легко найти высоту метеора. Установив

перед фотоаппаратом равномерно вращающийся сектор, периодически закрывающий объектив, получают на фотографии прерывистый след, по которому можно определить скорость движущегося тела. *Метеор — это явление вспышки небольшого (размером с горошину) космического тела, называемого метеорным телом, вторгшегося со скоростью от 11 до 73 км/с в земную атмосферу. Высота возгорания (от 120 до 80 км) зависит от массы и скорости метеорного тела. Чем больше масса и скорость метеорного тела, тем ярче метеор.*

Вторжение массивных метеорных тел вызывает очень яркие метеоры (б о л и д ы), нередко имеющие вид огненных шаров со светящимися хвостами. Некоторые болиды можно видеть даже днем.

Что же происходит при движении метеорного тела в атмосфере Земли? Взаимодействуя с молекулами воздуха, метеорное тело теряет свою скорость, нагревается, начинает испаряться, иногда дробится. Вокруг него образуется облачко из раскаленных газов. В результате этих процессов масса метеорного тела непрерывно уменьшается; почти все метеорные частицы распыляются, не долетев до Земли. Пролетая в земной атмосфере, метеорное тело ионизует молекулы воздуха, оставляя за собой светящийся след. От ионизованных метеорных следов хорошо отражаются радиоволны. Благодаря этому метеоры можно наблюдать не только визуальным и фотографическим, но и радиолокационным методом.

5. Метеорные потоки. Ежегодно в одни и те же ночи (например, 12 августа) можно наблюдать особенно много метеоров. Если в это время нанести видимые пути метеоров на звездную карту, то легко найти небольшой участок неба — р а д и а н т, из которого как бы вылетают метеоры. Так, радиант августовских метеоров находится в созвездии *Персея* (*метеорный поток Персеиды*). С давних времен известны метеорные дожди *Леониды* (радиант метеорного потока в созвездии *Льва*). Леониды повторяются через каждые 33 года. Особенно интенсивным был дождь в 1833 г. Очевидцы сравнивали его со «снежной метелью». Обильный дождь Леонид в соответствии с предсказаниями астрономов наблюдался в ноябре 1966 г.

Метеорные потоки (а их известно сейчас более 30) наблюдают в тех случаях, когда Земля встречается с *роем метеорных тел*, которые движутся приблизительно по одной орбите. Наблюдения показывают, что метеорные рои движутся по орбитам старых, уже разрушившихся комет. Следовательно, кометы, разрушаясь, порождают метеорные рои. Так, например, метеорный поток *Ориониды*, наблюдающийся с 16 по 26 октября, порожден кометой Галлея.

Кометы связаны не только с метеорами, но и с астероидами. В последнее время удалось доказать, что некоторые астероиды представляют собой ядра бывших короткопериодических комет.

Наблюдениями метеоров успешно занимаются юные любители астрономии. Члены школьных астрономических кружков и обществ наносят пути метеоров на звездные карты, фотографируют метеоры, определяют их высоты и скорости, производят подсчет метеоров в потоках, фотографируют спектры метеоров, исследуют их физические свойства. Решением этих и некоторых других задач любители астрономии помогают ученым исследовать распределение метеорной материи в пространстве и движение воздуха в атмосфере Земли.

Вопросы-задания для самоконтроля

1. Каков примерно период обращения кометы, которая в афелии отстоит от Солнца на 4000 а. е.? 2. В чем сходство и отличие комет и других известных вам небесных тел Солнечной системы? 3. Какова связь комет с метеорами и астероидами? 4. Охарактеризуйте физический смысл понятий «метеор», «метеорит», «болид». 5. Опровергните представление о метеорах как «падающих звездах». 6. Почему иногда происходят метеорные дожди? 7. Как вы поняли, что такое радиант метеорного потока? 8. К каким небесным телам Солнечной системы уже приближались космические аппараты?

Что желательно знать, изучив тему «Физическая природа тел Солнечной системы»

1. Планетная система представляет собой комплекс небесных тел, объединенных не только упорядоченностью движения, но и общностью физических свойств. Сравнительное изучение Земли и планет обогащает наши знания о планете, на которой мы живем.

2. Полезно знать, по каким именно характеристикам планеты делятся на две основные группы, что представляют собой их атмосферы, что известно об их поверхностях и внутреннем строении, какие сведения о планетах и их спутниках были получены с помощью космической техники.

3. Луна — спутник Земли и ближайшее к Земле небесное тело. По своей природе Луна, как и другие спутники планет, близка к планетам земной группы. Выясните для себя причины сходства и различия физической

природы Земли и Луны, а также основные особенности системы «Земля — Луна».

4. Астероиды, кометы, метеорные тела и метеориты образуют комплекс малых тел Солнечной системы. Нужно знать, какова природа этих небесных тел, в чем они сходны и чем отличаются от планет и их спутников.

Что желательно уметь, изучив тему «Физическая природа тел Солнечной системы»

1. Объяснять: а) смену времен года на Земле и других планетах; б) смену фаз Луны; в) почему с Земли видна одна сторона Луны; г) как происходят солнечные и лунные затмения.

2. Рассчитывать средние плотности планет, зная их массы и размеры.

3. Работать с таблицами, содержащими важнейшие сведения о Земле, Луне и планетах.

4. Пользоваться школьным телескопом при наблюдении Луны и планет.

5*. Находить на Луне Океан Бурь, Море Дождей, кратеры Тихо и Коперник.

6. На основе анализа многообразия условий на планетах делать вывод о возможности существования жизни в пределах Солнечной системы.

7. Опровергать на основе научных данных суеверия, связанные с Луной, затмениями, появлением комет и метеоров.

8. Используя материал темы, приводить примеры взаимосвязи явлений природы и познаваемости окружающего нас мира.

IV. СОЛНЦЕ И ЗВЕЗДЫ

§ 18. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СОЛНЦЕ

1. Введение. Солнце играет исключительную роль в жизни Земли. Весь органический мир нашей планеты обязан Солнцу своим существованием. Солнце — не только источник света и тепла, но и первоначальный источник многих других видов энергии (энергии нефти, угля, воды, ветра).

Издавна у разных народов Солнце было объектом поклонения. Его считали самым могущественным божеством. Культ непобедимого Солнца был одним из самых распространенных (Гелиос — греческий бог Солнца, Аполлон — бог Солнца у римлян, Митра — у персов, Ярило — у славян и т. д.). В честь Солнца воздвигали храмы, слагали гимны, приносили жертвы. Ушло в прошлое религиозное поклонение дневному светилу. Сейчас ученые исследуют природу Солнца, выясняют его влияние на Землю, работают над проблемой применения практически неиссякаемой солнечной энергии.

Солнце — это наша звезда. Изучая Солнце, мы узнаем о многих явлениях и процессах, происходящих на других звездах и недоступных непосредственному наблюдению из-за огромных расстояний, которые отделяют нас от звезд.

2. Вид Солнца в телескоп (рис. 69). Наблюдения Солнца требуют большой осторожности. *Нельзя смотреть на Солнце, не защитив глаза очень плотным (темным) светофильтром! Но даже со светофильтром не рекомендуется смотреть на Солнце в школьный телескоп.* Лучше установить на окулярном конце телескопа экран с листом белой бумаги и рассматривать изображение Солнца на экране. Это позволит увидеть на Солнце темные пятна (солнечные пятна) и светлые участки (факелы), которые заметнее вокруг пятен вблизи края солнечного диска. На современных обсерваториях для наблюдения Солнца применяют телескопы специальных конструкций — солнечные телескопы. Таким телескопом оснащена, например, Крымская астрофизическая обсерватория (рис. 70).

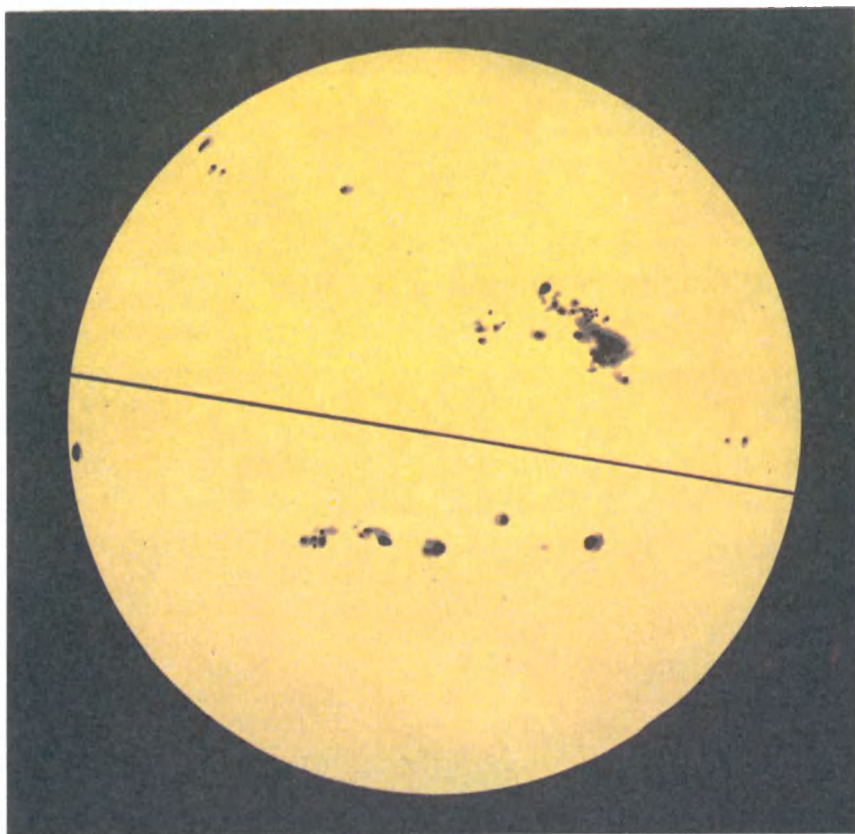


Рис. 69. Вид Солнца с очень большим числом пятен (16 июня 1989 г.).

3. Вращение Солнца. Если сравнить несколько последовательных фотографий Солнца, то можно заметить, как меняется положение всех пятен на диске. Это происходит из-за вращения Солнца. *Солнце вращается не как твердое тело.* Пятна, находящиеся вблизи экватора Солнца, опережают пятна, расположенные в средних широтах. Следовательно, скорости вращения разных слоев Солнца различны. Экваториальные области делают один оборот вокруг оси Солнца за 25 земных суток, а области вблизи полюсов Солнца — примерно за 30 суток. Линейная скорость вращения на экваторе Солнца составляет 2 км/с. Наблюдения показывают, что все пятна перемещаются от восточного края к западному. Следовательно, *Солнце вращается вокруг своей оси в направлении движения планет вокруг него.*

4. Размеры, масса и светимость Солнца. Радиус Солнца в 109 раз, а объем примерно в 1 300 000 раз больше соответственно радиуса и объема Земли. Велика и масса Солнца. Она примерно в 330 000 раз больше массы Земли и почти в 750 раз больше суммарной массы движущихся вокруг него планет.

Энергия, получаемая Землей от Солнца, характеризуется солнечной постоянной. *Солнечной постоянной называется величина, определяемая полной энергией, которая падает в 1 с на площадку 1 м^2 , расположенную перпендикулярно солнечным лучам вне земной атмосферы на среднем расстоянии Земли от Солнца.*

Для измерения солнечной постоянной на высокогорных станциях определяют количество теплоты, которое получает вода, налитая в специальные сосуды, от зачерненного металлического диска, нагреваемого солнечными лучами. В результате тщательных измерений, выполненных с учетом поглощения видимого, инфракрасного и ультрафиолетового излучения в земной атмосфере, нашли, что солнечная постоянная равна 1400 Вт/м^2 (более точное значение несколько меньше).

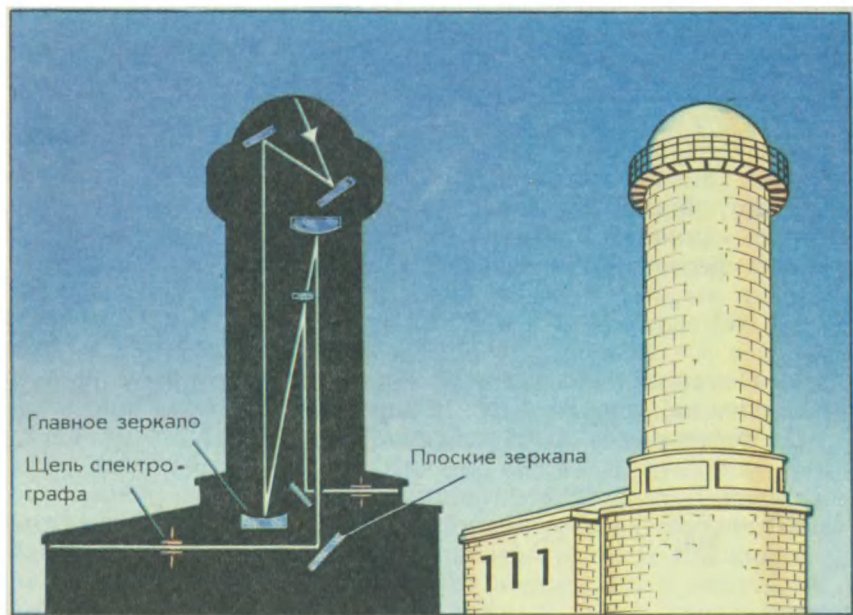


Рис. 70. Солнечный телескоп Крымской астрофизической обсерватории.

Измерения солнечной постоянной проводились на протяжении многих лет. Оказалось, что значение солнечной постоянной практически не меняется. Значит, полная энергия, излучаемая Солнцем в единицу времени, постоянна. Если умножить солнечную постоянную на площадь сферы, радиус которой равен среднему расстоянию Земли от Солнца, то получится общая энергия, излучаемая Солнцем в единицу времени (L_{\odot}). L_{\odot} — это светимость Солнца (или мощность его излучения):

$$L_{\odot} \approx 4 \cdot 10^{26} \text{ Вт.}$$

5. Температура Солнца и состояние вещества на Солнце. Чтобы выяснить, в каком состоянии находится вещество на Солнце, необходимо прежде всего знать температуру Солнца. Существуют различные способы определения температуры Солнца, все они основаны на физических законах, *открытых на Земле и действующих во всей доступной наблюдениям части Вселенной*. Один из способов определения температуры Солнца заключается в следующем. Мы знаем светимость Солнца L_{\odot} . Известен и радиус Солнца R_{\odot} , а следовательно, и площадь видимой поверхности Солнца $4\pi R_{\odot}^2$. Зная это, вычислим энергию, излучаемую единицей площади поверхности Солнца в единицу времени, ϵ . Очевидно, что

$$\epsilon = \frac{L_{\odot}}{4\pi R_{\odot}^2}. \quad (26)$$

С другой стороны, энергия, излучаемая в единицу времени с единицы поверхности, пропорциональна четвертой степени абсолютной температуры:

$$\epsilon = \sigma T^4 \quad (27)$$

(закон Стефана — Больцмана), где σ — коэффициент пропорциональности, равный $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$.

Из формул (26) и (27) следует, что

$$\sigma T^4 = \frac{L_{\odot}}{4\pi R_{\odot}^2}, \quad (28)$$

тогда

$$T = \sqrt[4]{\frac{L_{\odot}}{4\pi R_{\odot}^2 \sigma}}. \quad (28')$$

Подставляя числовые значения входящих в формулу (28') величин, находим: $T \approx 6000$ К. Полученную таким методом температуру называют *эффективной температурой*.

Мы применили закон Стефана — Больцмана, считая, что Солнце излучает как некоторое идеальное (его называют *черным*) тело, хотя на самом деле это не совсем так. Абсолютно черное тело — это идеальный поглотитель излучения (оно полностью поглощает весь падающий на него поток излучения) и идеальный излучатель (оно излучает в диапазоне всех длин волн). Все реальные тела, излучающие энергию, включая Солнце и другие звезды, лишь с определенной степенью точности можно принимать за абсолютно черное тело. Исследование свойств вещества, из которого состоят видимые наружные слои Солнца, показывает, что это вещество действительно очень хорошо поглощает излучение (чем и оправдывается применение формулы (27)). На рисунке 71 показана зависимость энергии, излучаемой Солнцем, расплавленной вольфрамовой нитью лампы, пламенем свечи, от длины волны. Из рисунка видно, что, чем выше температура, тем меньше длина волны (λ_{\max}), соответствующая максимуму излучаемой энергии. Более точно эта зависимость выражается *законом Вина*:

$$\lambda_{\max} = \frac{0,29}{T}, \quad (29)$$

где λ — длина волны в сантиметрах; T — абсолютная температура в кельвинах. Максимум излучения Солнца приходится на длину волны $\lambda_{\max} = 4,7 \cdot 10^{-5}$ см (отсюда желтый цвет Солнца).

При температуре 6000 К вещество находится на Солнце в газообразном состоянии, причем атомы некоторых химических элементов ионизованы. С глубиной температура растет (достигает в центре Солнца $1,5 \cdot 10^7$ К), а вместе с тем увеличивается число ионизованных атомов. Поэтому основное состояние, в котором находится вещество на Солнце, — это *плазма*, а Солнце — это *раскаленный плазменный шар*.

6. Химический состав Солнца. Даже в прошлом веке некоторые ученые считали, что мы никогда не узнаем, из чего состоит Солнце. Однако применение спектрального анализа к исследованию Солнца опровергло такое предположение. *Спектр Солнца* — это непрерывный спектр, прерванный множеством узких темных линий поглощения (называемых *фраунгоферовыми линиями*, по имени немецкого физика *Й. Фраунгофера* (1787—1826), впервые наблюдавшего и зарисовавшего их в 1814 г.).

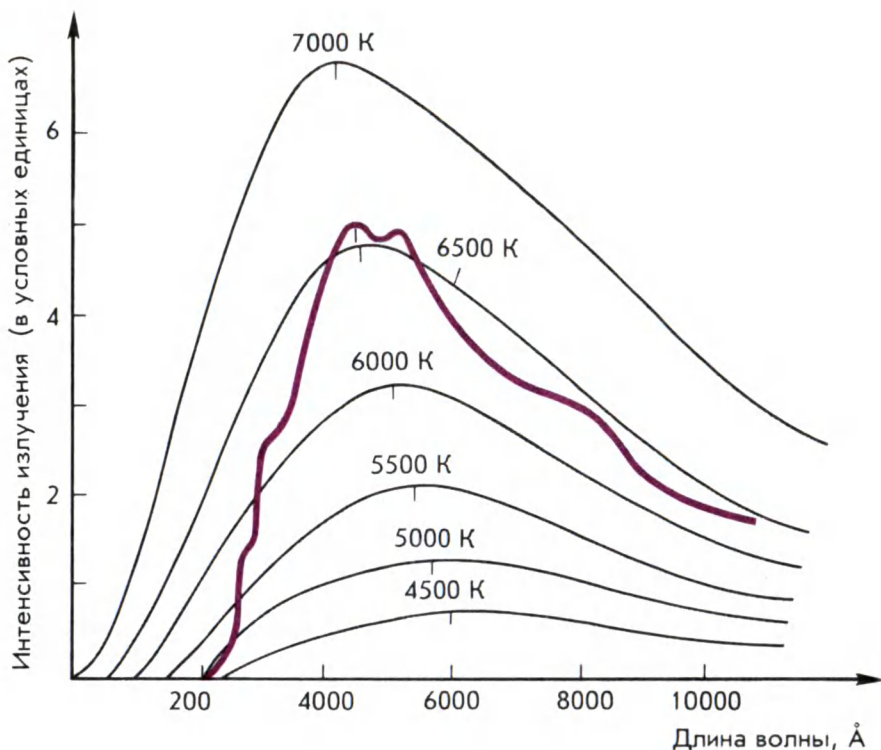


Рис. 71. Распределение энергии в спектре Солнца и абсолютно черных тел различной температуры.

Отождествление линий в спектре Солнца с линиями в спектрах химических элементов, изучаемых в лабораторных условиях, позволяет определить состав атмосферы Солнца. На Солнце обнаружено *более 70 химических элементов*. Никаких «неземных» элементов Солнце не содержит. Самые распространенные элементы на Солнце — водород (около 70% всей массы Солнца) и гелий (более 28%). Гелий («солнечный газ») был впервые открыт на Солнце и только почти через 30 лет — на Земле.

Вопросы-задания для самоконтроля

1. Во сколько раз Солнце больше Земли по диаметру? массе? 2. Вычислите среднюю плотность Солнца и полученный результат сравните с табличным (приложение VI), а также со средней плотностью Земли и

Юпитера. 3. Сравните (по размерам и массе) Солнце, Юпитер и Землю, изобразив эти небесные тела в масштабе. 4. Какова особенность вращения Солнца вокруг оси? 5*. Пятна, появляющиеся вблизи экватора Солнца, совершают полный оборот (по отношению к земному наблюдателю) за 27 сут, т. е. почти на 2 сут больше периода вращения экваториальной области Солнца. Как объяснить это явление? 6. Какие химические элементы особенно распространены на Солнце? 7. Опираясь на знания, полученные в курсах физики и химии, вспомните, какую роль сыграл гелий в физике низких температур, изучении строения атома, а также где сейчас используется гелий. 8. Что такое «солнечная постоянная»? 9. Какова эффективная температура Солнца и как ее можно определить? 10. В каком физическом состоянии находится вещество на Солнце? Что вам известно о распространенности и свойствах такого состояния вещества?

§ 19. СТРОЕНИЕ АТМОСФЕРЫ СОЛНЦА

Условно в атмосфере Солнца выделяют три основных слоя: фотосферу (самый нижний слой), хромосферу и корону.

1. Фотосфера. Доступная непосредственному наблюдению светящаяся «поверхность» Солнца называется фотосферой. Никакой «поверхности» в обычном смысле этого слова Солнце, конечно, не имеет. На самом деле фотосфера представляет собой нижний слой солнечной атмосферы, толщина которого 300—400 км. Именно она излучает практически всю приходящую к нам солнечную энергию, так как из-за непрозрачности вещества фотосферы солнечное излучение из более глубоких слоев Солнца к нам уже не доходит и их увидеть невозможно. Плотность фотосферы не превышает порядка 10^{-4} кг/м³, а число атомов преобладающего в фотосфере водорода — порядка 10^{17} в объеме 1 см³. Температура в фотосфере растет с глубиной, в среднем она близка к 6000 К.

На рисунке 72 показан участок фотосферы, сфотографированный с помощью телескопа, поднятого на стратостате. На нем видно крупное солнечное пятно и множество зерен (гранул). Гранулы ярче и, следовательно, горячее, чем окружающие его участки фотосферы. Размеры гранул неодинаковы и составляют в среднем несколько сотен километров. Время существования отдельных гранул — около 8 мин. Непрерывно появляющиеся и исчезающие гранулы свидетельствуют о том, что вещество, из которого состоит фотосфера, находится в движении. Один из видов движений в фотосфере и подфотосферных слоях — вертикальный подъем

и опускание вещества. Такое колебательное движение связано с *конвекцией*: начиная с некоторой глубины (примерно 0,3 радиуса Солнца) вещество на Солнце перемешивается, подобно воде в сосуде, подогреваемой снизу. Гранулы — это верхушки конвективных потоков, проникающих в фотосферу. Гранулы всегда наблюдаются на всей поверхности Солнца, которую иногда сравнивают с кипящей рисовой кашей. Другие детали фотосферы (пятна, факелы) появляются лишь время от времени.

Еще задолго до изобретения телескопа люди замечали на неярком заходящем Солнце или на Солнце, видимом сквозь легкие облака, *темные пятна*. Прежде не только не знали, что представляют собой пятна, но и не допускали мысли о том, что пятна находятся на Солнце. Лишь теперь, спустя три с половиной столетия с тех пор, как Галилей доказал, что пятна — это реальные образования на поверхности Солнца, начинает выясняться их физическая природа.

Солнечные пятна значительно крупнее гранул. Диаметры наибольших пятен достигают десятков тысяч километров. Пятна — непостоянные, изменчивые детали фотосферы, существующие от нескольких дней до нескольких месяцев. Иногда на Солнце не бывает пятен совсем, а иногда одновременно наблюдаются десятки крупных пятен. Многолетние наблюдения пятнообразовательной деятельности Солнца показали, что имеются циклические колебания числа пятен. *Средняя продолжительность цикла составляет примерно 11 лет* (рис. 73).

Центральная часть пятна — *ядро* (или *тень*) — окружена волокнистой *полутенью* (см. рис. 72). Вблизи края солнечного диска круглое пятно видно как эллиптиче-

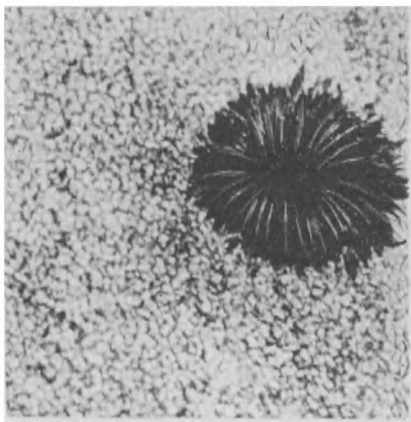


Рис. 72. Участок фотосферы Солнца.

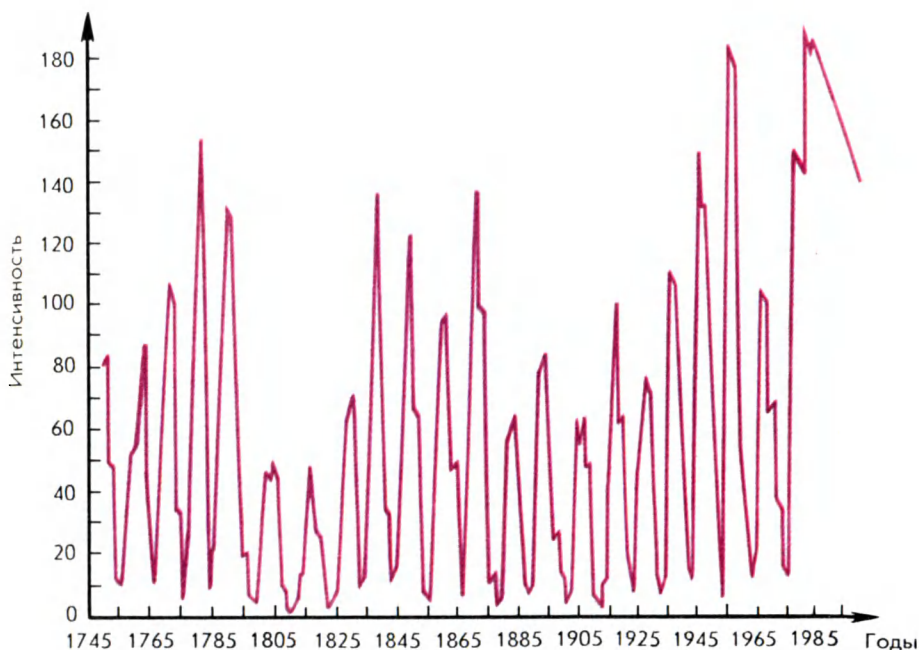


Рис. 73. Цикличность наблюдаемых на Солнце пятен.

ское, а совсем близко от края диска — как узкая полоска полутени. Это можно объяснить тем, что пятно представляет собой коническую воронку, глубина которой примерно 300—400 км. Пятна кажутся темными лишь по контрасту с фотосферой. На самом деле температура ядра (самой холодной части пятна) около 4300 К, т. е. выше температуры электрической дуги, на которую, как известно, невозможно смотреть без защитных очков. Линии в спектре пятен заметно расщеплены. Это явление объясняется тем, что вещество пятен подвержено действию сильных магнитных полей.

Обычно пятна наблюдаются группами (рис. 74). Пятно в группе, которое располагается первым по направлению вращения Солнца, называется **г о л о в н ы м**, последнее пятно в группе — **х в о с т о в ы м**. Головные и хвостовые пятна имеют противоположную полярность, например головные — северный магнитный полюс, а хвостовые — южный, т. е. в целом группа пятен напоминает гигантский магнит. Магнитное поле пятен в тысячи раз превосходит общее магнитное поле Солнца. Поэтому солнечные пятна подобны «магнитным островам» в фотосфере Солнца. Замечательно, что в соседних 11-летних циклах группы пятен изменяют свою по-

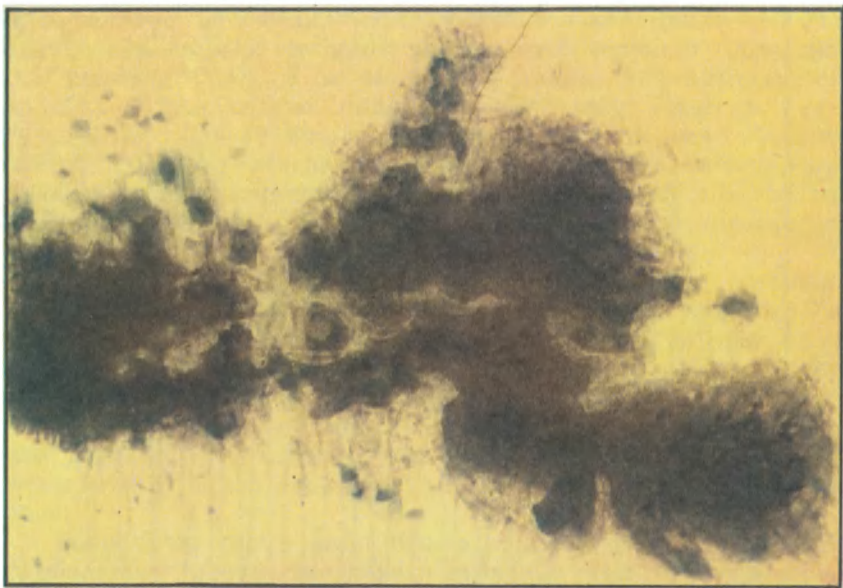


Рис. 74. Большая группа солнечных пятен.

лярность. Например, если в данном 11-летнем цикле все главные пятна групп в северном полушарии Солнца имели северный магнитный полюс, то в следующем цикле северный магнитный полюс будет у хвостовых пятен.

Магнитное поле пятен — одна из наиболее важных характеристик. Именно с магнитным полем связана и причина появления солнечных пятен. Дело в том, что сильное магнитное поле способно замедлить конвекцию плазмы. В местах, где конвекция замедлена, на поверхность поступает меньше энергии, там образуются более холодные и темные участки фотосферы — солнечные пятна.

Фотосферные факелы — детали более светлые (а значит, и более горячие), чем фотосфера. Если группа пятен находится вблизи края солнечного диска, то вокруг нее обычно видно множество факелов — *факельное поле*. Факелы возникают незадолго до появления солнечных пятен и существуют в среднем в три раза дольше пятен. В местах, где наблюдаются факелы, на поверхность Солнца выносится более горячее вещество, чем в других участках фотосферы. Это связано с местным усилением конвекции в подфотосферных слоях.

2. Хромосфера. В моменты полных солнечных затмений хорошо видны внешние области атмосферы Солнца — **х р о м о с ф е р а** (розового цвета) и серебристо-жемчужная

к о р о н а. Яркость хромосферы и короны во много раз меньше яркости фотосферы. Из-за рассеяния солнечного света в земной атмосфере эти слабосветящиеся внешние оболочки не удастся видеть вне затмения без специальных приспособлений.

Хромосфера простирается до высоты 10—14 тыс. км. В ее самых нижних слоях температура около 5000 К, а затем, по мере подъема над фотосферой, она начинает постепенно расти, достигая в верхних слоях атмосферы ($2 \cdot 10^4$ — $5 \cdot 10^4$) К.

Вне затмения хромосферу можно наблюдать, если выделить очень узкий участок спектра и получить изображение Солнца в *монохроматическом свете*, длина волны которого соответствует какой-нибудь одной спектральной линии, например водородной линии H_{α} . Тогда можно увидеть, что хромосфера состоит из темных и светлых узелков, образующих сетку. Размеры ячеек хромосферной сетки значительно превосходят размеры гранул фотосферы, достигая 30—50 тыс. км. Яркость хромосферы неодинакова. Наиболее яркие ее участки (*х р о м о с ф е р н ы е ф а к е л ы*) расположены над фотосферными факелами и пятнами (рис. 75).

В хромосфере наблюдаются самые мощные и быстро развивающиеся процессы, называемые *вспышками*. В ходе развития вспышки сначала увеличивается яркость небольшого участка хромосферы, но затем становится яркой область, охватывающая десятки миллиардов квадратных километров (рис. 76). Слабые вспышки исчезают через 5—10 мин, а самые мощные продолжаются несколько часов. Небольшие вспышки происходят на Солнце по нескольку раз в сутки, мощные наблюдаются значительно реже. Обычно вспышки появляются над пятнами, особенно над теми, которые быстро изменяются. По характеру явления (стреми-



Рис. 75. Участок хромосферы над солнечным пятном.

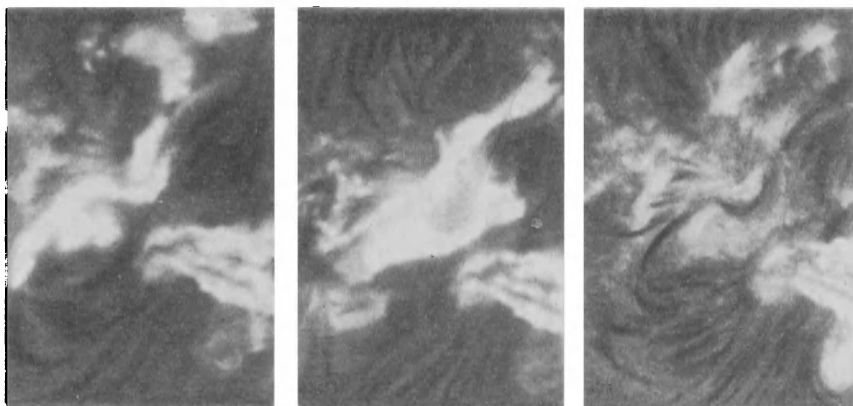
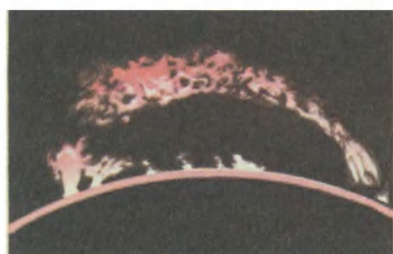


Рис. 76. Развитие солнечной вспышки (14 июня 1970 г.).



а



б



в

Рис. 77. Изменения протуберанца, наблюдавшегося в течение трех суток.

тельность развития, огромное энергосодержание — до 10^{25} — 10^{26} Дж) вспышки представляют собой *взрывные процессы*, при которых освобождается энергия магнитного поля солнечных пятен. Вспышки сопровождаются мощным *ультрафиолетовым, рентгеновским и радиоизлучением*. В межпланетное пространство выбрасываются электрически заряженные частицы (к о р п у с к у л ы).

На краю солнечного диска хорошо видны протуберанцы (рис. 77) — гигантские яркие выступы или арки, как бы опирающиеся на хромосферу ирывающиеся в солнечную корону. Спокойные протуберанцы существуют несколько недель и даже месяцев. Вещество протуберанцев поглощает и рассеивает идущее снизу излучение, а потому, проецируясь на яркий диск Солнца, протуберанцы выглядят как темные волокна. В отличие от спокойных протуберанцев, часто наблюдаются протуберанцы, для которых характерны очень быстрые движения и выбросы веществ в корону.

3. Солнечная корона. Внутренние области короны, удаленные от фотосферы на расстояние до одного радиуса Солнца, можно наблюдать не только во время солнечных затмений, но и вне затмения с помощью коронографа — специального телескопа, в фокусе объектива которого ставится зачерненный диск («искусственная Луна»). Коронографы устанавливают в горах на высоте не ниже 2000 м над уровнем моря, где солнечное излучение значительно меньше рассеивается земной атмосферой.

Форма короны не остается постоянной (рис. 79). В годы, когда на поверхности Солнца много пятен, корона почти

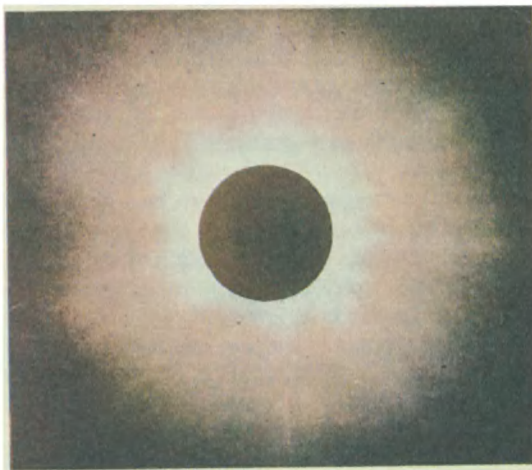


Рис. 78. Вид Солнца во время полного затмения (12 февраля 1980 г.).

круглая. Когда же пятен мало, корона сильно вытянута в плоскости экватора Солнца. Корона неоднородна: в ней наблюдаются лучи, дуги, отдельные сгущения вещества, полярные «щеточки» (короткие прямые лучи, наблюдаемые у полюсов) и т. д. Детали короны неразрывно связаны с пятнами и факелами, а также с явлениями, происходящими в хромосфере. Все детали короны вращаются с той же угловой скоростью, что и расположенные под ними участки фотосферы.

Как далеко простирается корона? По фотографиям, полученным во время затмений, корону удастся проследить на расстоянии до нескольких солнечных радиусов от края Солнца. Отдельные выбросы солнечной плазмы, которые как бы входят в состав *сверхкороны* Солнца, достигают земной орбиты. Сверхкорона была открыта радиоастрономическими методами. Огромная протяженность короны объясняется большими скоростями входящих в нее частиц, а значит, и высокой температурой короны. Этот вывод подтверждает исследование спектра короны. Ряд линий в спектре короны оставался загадочным вплоть до 40-х гг. Оказалось, что эти линии принадлежат многократно ионизованным атомам хорошо известных на Земле элементов, например атомам железа, лишенным 13 электронов. Такая высокая ионизация в очень разреженном веществе короны возможна при температуре не менее 10^6 К. Следовательно, наблюдая корону, можно изучать в космической лаборатории высокотемпературную разреженную плазму в естественных условиях.

Поскольку средняя температура фотосферы около 6000 К, то она своим излучением не может нагреть солнечную корону до более высокой температуры. Согласно одной из гипотез, конвективные движения газа внутри Солнца создают сжатия и разрежения (волны), которые переносят энергию из внутренних слоев Солнца в его атмосферу. Энергия волнового движения нагревает вещество хромосферы и короны. Разреженный газ хромосферы и короны излучает мало и, получая большой приток энергии снизу, сильно нагревается.

4. Солнечная активность. *Комплекс нестационарных образований в атмосфере Солнца (пятна, факелы, протуберанцы, вспышки и др.) называется солнечной активностью.* Так, солнечные пятна всегда связаны с фотосферными факелами, вспышки и протуберанцы в большинстве случаев образуются над «возмущенной» фотосферой и т. д. Области на Солнце, где наблюдаются пятна, факелы, вспышки, протуберанцы и другие проявления солнечной активности, называются *активными областями* (или центрами активности). Как мы видели, центры активности, зарождаются

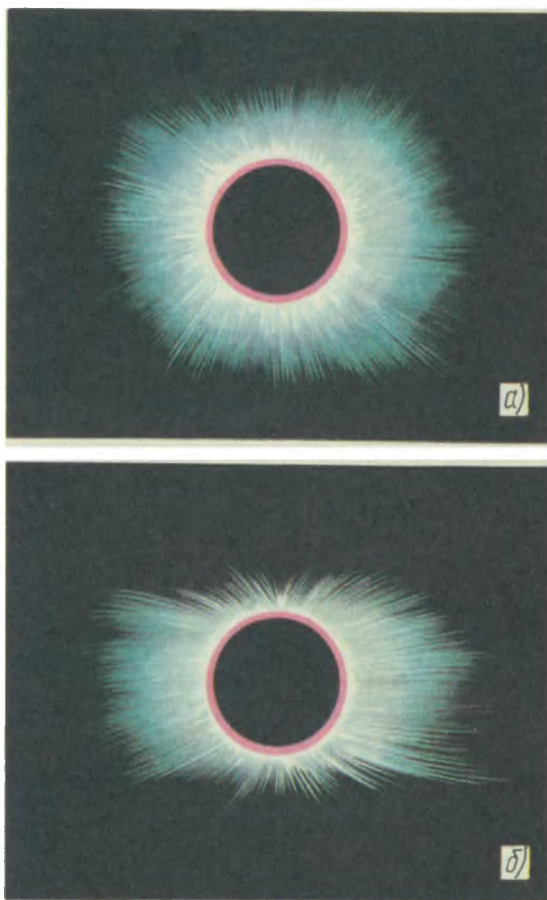


Рис. 79. Солнечная корона:

- а) в год максимума;**
- б) в год минимума.**

на некоторой глубине под фотосферой, простираются в виде нескольких ярусов далеко в солнечную корону. Связующее звено между различными ярусами центров активности — *магнитное поле*.

Не только появление пятен, но и солнечная активность в целом имеет 11-летнюю цикличность. В годы максимума солнечной активности на Солнце много центров активности (*возмущенное Солнце*). В годы минимума центров активности мало (*спокойное Солнце*) (рис. 79). Необычным был недавний максимум солнечной активности. Он отличался высокой активностью (в частности, большим числом пятен) и продолжительностью (растянутостью на несколько лет — примерно с 1989 по 1992 г.).

Вопросы-задания для самоконтроля

1. Что такое фотосфера Солнца? 2. Сравните приведенные в тексте параметры фотосферы с плотностью и числом частиц, содержащихся в объеме 1 см^3 воздуха при комнатной температуре и нормальном давлении. 3*. Вычислите линейный диаметр пятна, зная, что его угловой диаметр равен $17,6''$. Сравните его с диаметром Земли. Можно ли без телескопа увидеть это пятно? (Считать, что невооруженным глазом можно увидеть предмет, угловой размер которого не менее $1'$.) 4. Что представляют собой солнечные пятна? гранулы? факелы? 5. Почему солнечные пятна темнее, чем фотосфера? 6. Опровергните иногда встречающееся мнение о том, что появление солнечных пятен свидетельствует об остывании Солнца. 7. Какие правила необходимо соблюдать при наблюдении Солнца? 8*. Постарайтесь не только один раз увидеть пятна на экране, прикрепленном к биноклю или телескопу, но и проследить их развитие. 9. Какие явления наблюдаются в хромосфере и короне Солнца? 10. Почему в обычных условиях не видна солнечная корона? 11. Какова протяженность короны и физические условия в ней? 12. Что такое солнечная активность и какова ее цикличность? 13. Что вам известно о магнитных полях на Солнце?

§ 20. ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ И ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ СОЛНЦА

1. **Источники энергии Солнца.** На протяжении миллиардов лет Солнце каждую секунду излучает огромную энергию. Как и вообще все физические процессы, излучение Солнца и других звезд подчиняется важнейшему закону природы — закону сохранения и превращения энергии. Следовательно, энергия Солнца не может возникнуть из ничего и существуют источники, поддерживающие непрерывное излучение Солнца.

Согласно современным представлениям, в недрах Солнца и других звезд происходят *термоядерные реакции*. В ходе этих реакций, сопровождающихся большим выделением энергии, одни химические элементы превращаются в другие. Вы знаете, что самый распространенный элемент на Солнце — водород. В недрах Солнца он ионизован и находится в виде ядер атомов водорода — протонов. Скорость этих протонов в условиях огромных температур настолько велика, что они сближаются, преодолевая электрические силы отталкивания. На очень близких расстояниях вступают в действие мощные ядерные силы и начинаются реакции, в ходе которых возникают ядра новых химических элементов. *Внутри Солнца водород превращается в гелий.*

Рассмотрим один из возможных путей такого перехода. Слияние двух протонов (${}^1\text{H}$) сопровождается образованием ядра тяжелого водорода дейтерия (${}^2\text{D}$) и испусканием двух элементарных частиц: позитрона (e^+) и нейтрино (ν). Кратко эту реакцию можно записать так:



Если образовавшийся в результате взаимодействия протонов дейтерий сам вступит в ядерную реакцию с протоном, то возникнет ядро легкого изотопа гелия (${}^3\text{He}$) и выделится энергия в виде коротковолнового гамма-излучения (γ):



В дальнейшем слияние двух ядер ${}^3\text{He}$ приведет к образованию ядра гелия (${}^4\text{He}$) и двух ядер водорода:



Рассмотренная цепочка из трех реакций называется *протон-протонным циклом*. В результате цикла из четырех ядер водорода образуется одно ядро гелия. Какая же энергия выделяется при этом?

Масса одного протона в атомных единицах составляет 1,008, четырех — 4,032. Поскольку масса одного ядра гелия 4,004, то разность $4,032 - 4,004 = 0,028$ (дефект массы). Так как $0,028 : 4,032 = 0,007$, то при синтезе 1 г гелия дефект массы составит примерно 0,007 г. Зная это и используя открытый Эйнштейном закон взаимосвязи массы и энергии $E = mc^2$, подсчитаем, сколько энергии выделяется при «сгорании» 1 г водорода:

$$E = mc^2 = 7 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ м/с})^2 \approx 6,3 \cdot 10^{11} \text{ Дж}$$

($c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ — скорость света).

Один из продуктов протон-протонного цикла — *нейтрино*. Эти частицы способны почти без взаимодействия с веществом проникать сквозь толщу всей звезды, унося некоторую энергию непосредственно из ее центральных областей. Огромная проникающая способность нейтрино делает их трудноуловимыми: их невозможно непосредственно зарегистрировать обычными счетчиками элементарных частиц. Но сделать это крайне важно и интересно, так как нейтринное излучение, в отличие от всех других видов излучения, как бы позволяет «заглянуть» в недра Солнца. Нейтринные наблюдения Солнца (они уже проводятся с помощью *нейтринных телескопов*, установленных глубоко под Землей) позво-

лят выяснить, насколько верна общепринятая гипотеза об источниках энергии Солнца и подобных ему звезд. Открытие источника энергии звезд имеет важное значение для понимания процессов, происходящих внутри звезд. Кроме того, оно послужило толчком к поискам путей технического использования термоядерного синтеза в земных условиях (проблема управляемых термоядерных реакций).

2*. Внутреннее строение Солнца. Основываясь на данных о массе, светимости, радиусе Солнца, на физических законах (которые благодаря своей *универсальности* применимы не только на Земле, но и в условиях других небесных тел), можно получить данные о давлении, плотности, температуре и химическом составе на разных расстояниях от центра Солнца. Первые три параметра (давление, плотность, температура) возрастают с глубиной, достигая максимальных значений в центре Солнца. Химический состав Солнца тоже не остается одинаковым на разных глубинах: водород всюду на Солнце оказывается самым распространенным элементом, но процентное содержание водорода меньше всего в центре и больше всего в фотосфере Солнца и его атмосфере.

Согласно современным данным, термоядерные реакции происходят только в центральных областях Солнца, простирающихся не далее 0,3 радиуса от его центра. Ближе к поверхности, где температура значительно меньше, чем около центра Солнца, источников энергии нет. Значит, энергия, выделяющаяся в результате термоядерного синтеза, должна быть передана наружу через огромную толщу раскаленной плазмы. От 0,3 до 0,7 радиуса Солнца (считая от центра) энергия передается и з л у ч е н и е м от слоя к слою. При этом слой не меняются своими местами, а энергия, излученная нижним слоем, поглощается верхним и затем переизлучается им и т. д. Происходит очень медленное, длящееся не менее миллиона лет «просачивание» излучения от центра Солнца к поверхности. Каждый последующий слой излучает кванты меньшей энергии, чем предыдущий. Поэтому хотя в центральных областях Солнца вырабатываются гамма-кванты, но далее они последовательно превращаются в кванты рентгеновского излучения, затем ультрафиолетового и, наконец, вблизи поверхности, в кванты видимого излучения. Примерно на расстоянии 0,3 радиуса Солнца от его поверхности основным процессом переноса энергии из глубины наружу становится, как вы уже знаете, *к о н в е к ц и я*. *Конвективная зона* простирается до фотосферы, и о происходящей в подфотосферных слоях конвекции свидетельствует грануляция на поверхности Солнца.

Равновесие Солнца обеспечивается тем, что силы тяготения, стремящиеся сжать газовый шар, уравновешива-

ются силами внутреннего газового давления. Исходя из этого, оценим давление и температуру в центре Солнца.

Выделим внутри Солнца столбик с площадью основания S и высотой $h = R_{\odot}$. Сила газового давления (F) вблизи центра уравнивается весом столбика вещества, т. е. $F = P$. Вес рассматриваемого вещества можно рассчитать по его массе: $P = mg$, а поскольку $m = \rho V = \rho SR_{\odot}$, то

$$P = \rho SR_{\odot} g.$$

Принимая с целью упрощения расчетов $\rho = \bar{\rho}_{\odot}$ и вычисляя g из закона всемирного тяготения при $r = R_{\odot}/2$, получим

$$P = \bar{\rho}_{\odot} SR_{\odot} \frac{GM_{\odot}}{(R_{\odot}/2)^2}. \quad (33)$$

Так как давление есть $p = \frac{F}{S}$, то давление в центре Солнца можно оценить по формуле:

$$p_{\text{ц}} = \frac{4G \bar{\rho}_{\odot} M_{\odot}}{R_{\odot}}. \quad (34)$$

Откуда $p_{\text{ц}} = 1,07 \cdot 10^{15}$ Па. Более строгие вычисления дают $p_{\text{ц}} = 2 \cdot 10^{16}$ Па.

Плотность в центре Солнца на самом деле не равна средней плотности, а на порядок выше ее, т. е. $\bar{\rho}_{\text{ц}} \approx 10 \bar{\rho}_{\odot}$ (так как $\bar{\rho}_{\odot} = 1,4 \cdot 10^3$ кг/м³, то $\rho_{\text{ц}} = 1,4 \cdot 10^4$ кг/м³!).

Несмотря на огромную плотность вещества, даже в центре Солнца расстояния между частицами велики по сравнению с размерами частиц. Но в таком случае к веществу в центре Солнца применимо уравнение Менделеева — Клапейрона:

$$p = \frac{R}{M} \rho T,$$

где p — давление газа; $R = 8,31$ Дж/(моль · К) — универсальная газовая постоянная; M , T и ρ — соответственно молярная масса, абсолютная температура и плотность газа. Отсюда

$$T = \frac{pM}{R\rho}$$

и получаем формулу для приближенного вычисления температуры в центре Солнца:

$$T_{\text{ц}} = \frac{p_{\text{г}} M}{R \rho_{\text{ц}}} . \quad (35)$$

Аналогичные рассуждения позволяют сделать оценки p и T не только для центра Солнца, но и, например, для глубины, равной половине радиуса ($R_{\odot}/2$). В принципе можно вычислить p , T и ρ на любой глубине и получить распределения этих параметров с глубиной: $p = p(r)$, $T = T(r)$ и $\rho = \rho(r)$. Совокупность этих функций (их можно представить в виде формул, таблиц или графиков) образует *модель внутреннего строения Солнца*. Астрономы пытаются строить модели, максимально приближенные к реальности. Они сводят к минимуму упрощающие допущения; учитывают изменение химического состава с глубиной и то, как на Солнце вырабатывается энергия и каким образом осуществляется ее перенос; используют самые современные методы вычисления. И все-таки в результате получается не копия внутреннего строения Солнца (или других звезд), а скорее «контуры», позволяющие постичь главное, отвлекаясь от второстепенного, несущественного.

Вопросы-задания для самоконтроля

1. Каковы современные представления об источниках энергии Солнца? 2*. Попытайтесь оценить, какая энергия выделилась, если бы Солнце целиком состояло из водорода и весь водород превратился в гелий. На сколько лет хватило бы водорода для поддержания нынешней светимости Солнца? 3*. Как происходит передача энергии из недр Солнца к его поверхности? 4. Равенство каких сил поддерживает равновесие Солнца как раскаленного плазменного шара? 5. Каковы давление, плотность и температура в центре Солнца? 6. Что такое модели внутреннего строения Солнца (звезд)? С какой целью их создают и в какой степени они способны отразить сложную картину внутреннего строения Солнца (звезд)? 7*. Сколько надо сжечь каменного угля, чтобы получить энергию, выделяющуюся при превращении 1 г водорода в гелий?

§ 21. СОЛНЦЕ И ЖИЗНЬ ЗЕМЛИ

1. **Перспективы использования солнечной энергии.** Из всей энергии, излучаемой Солнцем в межпланетное пространство, примерно одна двухмиллиардная часть достигает

границы земной атмосферы. Около трети энергии солнечного излучения, падающего на Землю, отражается ею и рассеивается в межпланетном пространстве. Много солнечной энергии идет на нагревание земной атмосферы, океанов и суши.

В настоящее время в народном хозяйстве достаточно часто используется солнечная энергия — *гелиотехнические установки* (различные типы солнечных теплиц, парников, опреснителей, водонагревателей, сушилок). Солнечные лучи, собранные в фокусе вогнутого зеркала, плавят самые тугоплавкие металлы. Ведутся работы по созданию солнечных электростанций, по использованию солнечной энергии для отопления домов и т. д. Практическое применение находят полупроводниковые солнечные батареи, позволяющие непосредственно превращать солнечную энергию в электрическую. Наряду с химическими источниками тока солнечные батареи используются, например, в качестве источников электропитания на искусственных спутниках Земли и космических комплексах. Все это — лишь первые успехи гелиотехники, использующей самую экологически чистую энергию.

2. Коротковолновое излучение Солнца. *Ультрафиолетовое и рентгеновское излучения исходят в основном от верхних слоев хромосферы и короны.* Это установили, запуская ракеты с приборами во время солнечных затмений. Очень горячая солнечная атмосфера всегда испускает невидимое коротковолновое излучение, но особенно мощным оно бывает в годы максимума солнечной активности. В это время ультрафиолетовое излучение возрастает примерно в два раза, а рентгеновское — в десятки и сотни раз по сравнению с излучением в годы минимума. Интенсивность коротковолнового излучения изменяется изо дня в день, резко возрастая, когда на Солнце происходят вспышки.

Ультрафиолетовое и рентгеновское излучения частично ионизуют слои земной атмосферы, образуя на высотах 200—500 км от поверхности Земли и о н о с ф е р у. Ионосфера играет важную роль в осуществлении дальней радиосвязи: радиоволны, идущие от радиопередатчика, прежде чем достичь антенны приемника, многократно отражаются от ионосферы и поверхности Земли. Состояние ионосферы меняется в зависимости от условий освещения ее Солнцем и от происходящих на нем явлений. Поэтому для обеспечения устойчивой радиосвязи приходится учитывать время суток, время года и состояние солнечной активности. После наиболее мощных вспышек на Солнце число ионизованных атомов в ионосфере возрастает и радиоволны частично или полностью поглощаются ею. Это приводит к ухудшению и даже к временному прекращению радиосвязи.

Особое внимание ученые уделяют исследованию *озонового* слоя в земной атмосфере. Озон образуется в результате фо-

тохимических реакций (поглощение света молекулами кислорода) в стратосфере, и там сосредоточена его основная масса. Всего в земной атмосфере примерно $3 \cdot 10^9$ т озона. Это очень мало: толщина слоя чистого озона у поверхности Земли не превысила бы и 3 мм! Но роль озонового слоя, простирающегося на высоте нескольких десятков километров над поверхностью Земли, исключительно велика, потому что он защищает все живое от воздействия опасного коротковолнового (и прежде всего ультрафиолетового) излучения Солнца. Содержание озона непостоянно на разных широтах и в разные времена года. Оно может уменьшаться (иногда очень значительно) в результате различных процессов. Этому могут способствовать, например, выбросы в атмосферу большого количества разрушающих озон хлорсодержащих веществ промышленного происхождения или аэрозольные выбросы, а также выбросы, сопровождающие извержения вулканов. Области резкого снижения уровня озона («озоновые дыры») обнаруживались над разными регионами нашей планеты, причем не только над Антарктидой и рядом других территорий Южного полушария Земли, но и над Северным. В 1992 г. стали появляться тревожные сообщения о временном истощении озонового слоя над севером европейской части России и уменьшении содержания озона над Москвой и Санкт-Петербургом. Ученые, осознавая глобальный характер проблемы, организуют в масштабах всей планеты экологические исследования, включающие прежде всего глобальную систему непрерывного наблюдения за состоянием озонового слоя. Разработаны и подписаны международные соглашения по охране озонового слоя и ограничению производства озоноразрушающих веществ.

3*. Радиоизлучение Солнца. Систематическое исследование радиоизлучения Солнца началось только после второй мировой войны, когда обнаружилось, что Солнце — мощный источник радиоизлучения. В межпланетное пространство проникают радиоволны, которые излучают хромосфера (сантиметровые волны) и корона (дециметровые и метровые волны). Это радиоизлучение и достигает Земли. Радиоизлучение Солнца имеет две составляющие — постоянную, почти не меняющуюся по интенсивности, и переменную (всплески, «шумовые бури»).

Радиоизлучение спокойного Солнца объясняется тем, что горячая солнечная плазма всегда излучает радиоволны наряду с электромагнитными колебаниями других длин волн (*тепловое радиоизлучение*). Во время больших вспышек радиоизлучение Солнца возрастает в тысячи и даже миллионы раз по сравнению с радиоизлучением спокойного Солнца. Это радиоизлучение, порожденное быстропротекающими нестационарными процессами, имеет *нетепловую природу*.

4. Корпускулярное излучение Солнца. Ряд геофизических явлений (*магнитные бури*, т. е. кратковременные изменения магнитного поля Земли, *полярные сияния* и др.) тоже связан с солнечной активностью. Но эти явления происходят через сутки после вспышек на Солнце. Вызываются они не электромагнитным излучением, доходящим до Земли через 8,3 мин, а корпускулами (протонами и электронами, образующими разреженную плазму), которые с опозданием (на 1—2 сут) проникают в околоземное пространство, поскольку движутся со скоростями 400—1000 км/с.

Корпускулы испускаются Солнцем и тогда, когда на нем нет вспышек и пятен. Солнечная корона — источник постоянного истечения плазмы (*солнечного ветра*), которое происходит во всех направлениях. Солнечный ветер, создаваемый непрерывно расширяющейся короной, охватывает движущиеся вблизи Солнца планеты и кометы. Вспышки сопровождаются «порывами» солнечного ветра. Эксперименты на межпланетных станциях и искусственных спутниках Земли позволили непосредственно обнаружить солнечный ветер в межпланетном пространстве. Во время вспышек и при спокойном истечении солнечного ветра в межпланетное пространство проникают не только корпускулы, но и связанное с движущейся плазмой магнитное поле.

5. Проблема «Солнце — Земля». Эта проблема, связывающая солнечную активность с ее воздействием на Землю, находится на стыке нескольких наук — астрономии, геофизики, биологии и медицины.

Некоторые части этой комплексной проблемы исследуют уже несколько десятилетий, например *ионосферные проявления солнечной активности*. Здесь удалось не только накопить множество фактов, но и обнаружить закономерности, имеющие определенное значение для осуществления бесперебойной радиосвязи (выбор рабочих частот радиосвязи, прогнозы условий радиосвязи и др.).

Давно известно, что колебания магнитной стрелки во время *магнитной бури* особенно заметны в дневное время и имеют наибольшую амплитуду, иногда достигающую нескольких градусов, в периоды максимума солнечной активности.

Хорошо известно и то, что магнитные бури обычно сопровождаются свечением верхних разреженных слоев атмосферы (до нескольких сотен километров), которое вызвано действием протонов и электронов, проникающих в атмосферу из космоса. Это *полярные сияния* — одно из красивейших явлений природы. Необычайная игра красок, внезапная смена спокойного свечения стремительным перемещением дуг, полос и лучей, образующих то гигантские шагры, то величественные занавесы, издавна привлекала к себе людей.

В полярных сияниях преобладают два цвета — зеленый и красный. Окраска полярных сияний обусловлена излучением атомов кислорода (наиболее интенсивными в спектрах полярных сияний являются зеленая и красная линии).

Полярные сияния, как правило, наблюдаются в высоких широтах земного шара. Это объясняется тем, что заряженные частицы, двигаясь вдоль линий индукций магнитного поля Земли, именно в полярных областях могут проникнуть в атмосферу. Но иногда в годы максимумов солнечной активности полярные сияния можно наблюдать и в средних широтах.

Существует связь между явлениями на Солнце и процессами в нижних слоях земной атмосферы. Солнечное излучение воздействует на нижний слой атмосферы — *тропосферу*, а следовательно, и на погоду через процессы в верхних слоях атмосферы Земли. Выяснение механизма этого сложного воздействия необходимо для метеорологии. Важное значение имеет исследование влияния солнечной активности на биосферу Земли, в частности на состояние здоровья людей.

Чтобы всесторонне исследовать явления, происходящие на Солнце, проводятся систематические наблюдения Солнца (*служба Солнца*) на многочисленных обсерваториях всего мира. Одна из основных задач службы Солнца — предсказание (прогноз) солнечных вспышек. Прогнозы вспышек позволяют своевременно предотвращать нарушения радиосвязи, а также принимать меры, необходимые для обеспечения безопасности пребывания человека в космическом пространстве.

Изучение воздействия Солнца на Землю требует объединения усилий ученых многих стран. В историю науки, например, уже вошли «Международный геофизический год» — МГГ (1957—1958 гг.), проводившийся во время мощного максимума солнечной активности, и «Международный год спокойного Солнца» — МГСС (1964—1965 гг.), который был приурочен к минимуму солнечной активности. Комплексные исследования Солнца продолжаются и в настоящее время. Наблюдения, в которых принимают участие десятки стран, проводятся на всех континентах Земли. Данные о процессах, происходящих на Солнце и Земле, получают с помощью аппаратуры, установленной на искусственных спутниках Земли и космических ракетах, на горных вершинах и в глубинах океанов. Разрабатываются новые космические проекты, имеющие целью исследование Солнца.

Вопросы-задания для самоконтроля

1*. Сколько нужно сжечь каменного угля, чтобы получить энергию, равную той, которую излучает Солнце в 1 с? 2. На сколько порядков мощность излучения Солнца превосходит мощность крупнейших гидро-

электростанций? 3. Охарактеризуйте основные виды излучения Солнца. 4. Имеет ли использование солнечной энергии преимущества перед другими видами энергии в связи с проблемой охраны окружающей среды? 5. Какие вы знаете геофизические проявления солнечной активности? 6. Какое значение имеет комплексное изучение Солнца? 7. Какое сейчас Солнце — «спокойное» или «возмущенное»?

§ 22. РАССТОЯНИЯ ДО ЗВЕЗД

Не только в геоцентрических, но и в гелиоцентрической системе мира существовало представление о «сфере неподвижных звезд» (§ 8). Считали, что звезды действительно расположены на шаровой поверхности, т. е. все они отстоят от нас на одном и том же расстоянии и не движутся относительно друг друга. Данный и следующий параграфы позволяют убедиться в ошибочности этого представления.

1. **Определение расстояний до звезд.** Вы знаете, что при измерении расстояний до тел Солнечной системы применяется метод параллакса (§ 11). Он пригоден и для определения расстояний до ближайших звезд. Только в качестве базиса используется не радиус Земли, а средний радиус земной орбиты.

Угол (π), под которым со звезды был бы виден средний радиус земной орбиты (a), расположенный перпендикулярно

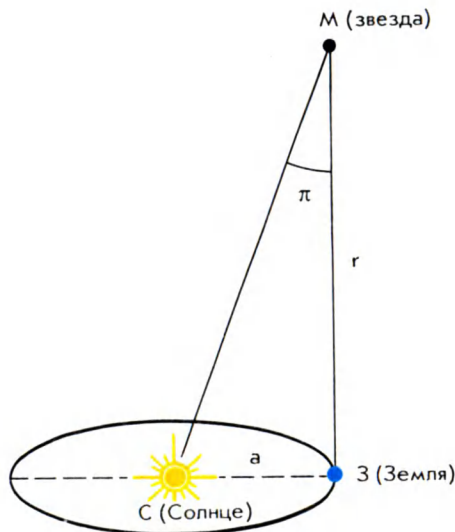


Рис. 80. Годичный параллакс.

направлению на звезду, называется г о д и ч н ы м п а - р а л л а к с о м (рис. 80). В тех случаях, когда удастся определить значение π , расстояние до звезды (r) вычисляется по формуле:

$$r = \frac{a}{\sin \pi} . \quad (36)$$

Угол (π) всегда очень мал (меньше $1''$). Поэтому (см. с. 50) формулу (36) можно записать в виде:

$$r = \frac{206\,265'' a}{\pi} = \frac{206\,265''}{\pi} \text{ а. е.} \quad (37)$$

Расстояние до звезды, которое соответствует параллаксу в $1''$, называется п а р с е к о м (от слов «параллакс» и «секунда», обозначается пк):

$$1 \text{ пк} = 206\,265 \text{ а. е.}$$

Эта единица используется в звездной астрономии, так как не только километр, но даже астрономическая единица (а. е.) слишком мала для измерения расстояний до звезд.

Очевидно, что расстояние до звезды в парсеках легко вычислить по формуле:

$$r = \frac{1}{\pi} . \quad (38)$$

Самая близкая к нам звезда (не считая Солнца) находится в созвездии *Центавра* (П р о к с и м а Ц е н т а в - р а или К е н т а в р а). Ее годичный параллакс — $0,76''$. Менее чем полтора века назад астрономам, в том числе астроному Пулковской обсерватории В. Я. Струве (1793—1864), удалось впервые определить расстояние до звезды Вега. Сейчас уже известны параллаксы нескольких тысяч звезд.

Выясним, сколько километров содержится в парсеке, а также найдем соотношение между парсеком и световым годом, *расстоянием, которое свет проходит за год* (обозначается св. г., св. лет). Поскольку $1 \text{ а. е.} = 1,496 \cdot 10^8 \text{ км}$, то

$$1 \text{ пк} = 206\,265 \text{ а. е.} = 206\,265 \cdot 1,496 \cdot 10^8 \text{ км} = 3,08 \cdot 10^{13} \text{ км.}$$

$$1 \text{ св. г.} = 3 \cdot 10^5 \text{ км/с} \cdot 365,25 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ с} = 9,46 \cdot 10^{12} \text{ км.}$$

$$1 \text{ пк} = \frac{3,08 \cdot 10^{13} \text{ км}}{9,46 \cdot 10^{12} \text{ км}} \text{ св. лет} = 3,26 \text{ св. лет.}$$

$10^3 \text{ пк} = 1 \text{ кпк}$ (килопарсек); $10^6 \text{ пк} = 1 \text{ Мпк}$ (мегапарсек).

Пример 8. Годишний параллакс Веги (α Лиры) равен $0,12''$. Каково расстояние до нее в парсеках и световых годах?

Д а н о :

$$\pi = 0,12''$$

$$\begin{array}{l} r_{\text{пк}} \text{ — ?} \\ r_{\text{св. лет}} \text{ — ?} \end{array}$$

Р е ш е н и е :

$$r_{\text{пк}} = \frac{1}{\pi}.$$

$$r_{\text{пк}} = \frac{1}{0,12} \text{ пк} = 8,33 \text{ пк.}$$

$$r_{\text{св. лет}} = 3,26 \text{ св. лет} \cdot 8,33 = 27,1 \text{ св. лет.}$$

$$\text{О т в е т : } r_{\text{пк}} = 8,33 \text{ пк.}$$

$$r_{\text{св. лет}} = 27,1 \text{ св. лет.}$$

2. Видимые и абсолютные звездные величины. Уже из первого знакомства со звездным небом вы знаете о том, что яркость звезд неодинакова. Со времен древнегреческого астронома *Гиппарха* (II в. до н. э.) используется понятие «звездная величина». Считая, что расстояния до звезд одинаковы, предполагали, что, чем звезда ярче, тем она больше. Наиболее яркие звезды отнесли к звездам первой величины (сокращенное обозначение 1^m , от лат. magnitudo — величина), а едва различимые невооруженным глазом — к шестой (6^m). Сейчас мы знаем, что звездная величина характеризует не размеры звезды, а ее блеск, т. е. освещенность, которую создает звезда на Земле. Но шкала звездных величин сохранилась и уточнена. Блеск звезды 1^m больше блеска звезды 6^m ровно в 100 раз. Следовательно, разность в 5 звездных величин соответствует различию в блеске ровно в 100 раз. Обозначим через x число, показывающее различие в блеске в одну звездную величину, тогда

$$x^5 = 100.$$

Найдем значение x из этого равенства:

$$5 \lg x = \lg 100, \text{ откуда } 5 \lg x = 2, \text{ или } \lg x = 0,4, \text{ тогда } x = 2,512.$$

Если обозначить блеск звезды, звездная величина которой равна m_1 , через I_1 , а блеск звезды, звездная величина которой равна m_2 , через I_2 , то

$$\frac{I_1}{I_2} = 2,512^{(m_2 - m_1)}. \quad (39)$$

Светила, блеск которых превосходит блеск звезд 1^m , имеют нулевые и отрицательные звездные величины (0^m , -1^m и т. д.). К ним относятся несколько наиболее ярких звезд и планет, а также, конечно, Солнце и Луна. Шкала звездных величин продолжается и в сторону звезд, не видимых невооруженным глазом. Есть звезды 7^m , 8^m и т. д. Для более точной оценки блеска звезд используются дробные звездные величины $2,3^m$, $7,1^m$, $6,2^m$, $14,5^m$ и т. д.

Пример 9. Во сколько раз Капелла ярче Денеба?

Из таблицы (см. приложение X) найдем звездную величину Капеллы ($m_1 = +0,2^m$) и Денеба ($m_2 = +1,3^m$).

Д а н о :

$$\begin{aligned} m_1 &= +0,2^m \\ m_2 &= +1,3^m \end{aligned}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = ?$$

Р е ш е н и е :

$$\frac{I_1}{I_2} = 2,512^{(m_2 - m_1)}.$$

$$\lg \frac{I_1}{I_2} = (m_2 - m_1) \lg 2,512, \text{ а так как}$$

$$\lg 2,512 = 0,4, \text{ то для Капеллы и Денеба:}$$

$$\lg \frac{I_1}{I_2} = 0,4 \cdot 1,1 = 0,44; \quad \frac{I_1}{I_2} = 2,75.$$

$$\text{О т в е т : } \frac{I_1}{I_2} = 2,75.$$

Так как звезды находятся от нас на различных расстояниях, то их видимые звездные величины ничего не говорят о светимостях (мощности излучения) звезд. Поэтому в астрономии, кроме понятия «видимая звездная величина», используется понятие «абсолютная звездная величина».

Звездные величины, которые имели бы звезды, если бы они находились на одинаковом расстоянии ($r_0 = 10$ пк), называются абсолютными звездными величинами (M).

Пусть какая-нибудь звезда удалена от нас на расстояние r . Обозначим ее видимую звездную величину через m , абсолютную — через M . Воспользовавшись формулой (39), запишем:

$$\frac{I}{I_0} = 2,512^{(M - m)},$$

где I и I_0 — блеск звезды (точнее, создаваемая ею на Земле освещенность), отнесенный к расстояниям r и $r_0 = 10$ пк.

Поскольку освещенность изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния, то

$$\frac{I}{I_0} = \frac{r_0^2}{r^2}, \quad \text{или} \quad \frac{I}{I_0} = \frac{10^2}{r^2}.$$

Поэтому

$$\frac{10^2}{r^2} = 2,512^{(M-m)}.$$

Отсюда, логарифмируя, найдем:

$$2 - 2 \lg r = 0,4(M - m), \quad \text{или} \quad M - m = 5 - 5 \lg r.$$

Тогда

$$M = m + 5 - 5 \lg r. \quad (40)$$

По формуле (40) можно вычислить абсолютную звездную величину, если известны видимая звездная величина и расстояние до звезды. Абсолютная звездная величина Солнца $M_{\odot} = +4,8^m$.

Если абсолютная звездная величина звезды определена другим способом, например по спектру звезды, то из формулы (40) можно найти расстояние до звезды:

$$\lg r = \frac{m - M + 5}{5} = 0,2(m - M) + 1. \quad (41)$$

Вопросы-задания для самоконтроля

1. Что используется в качестве базиса при определении годовых параллаксов звезд? Почему? 2. Какие единицы применяются при измерении расстояния до звезд? Каково соотношение между этими единицами? 3. Сколько времени пришлось бы лететь к Проксиме Кентавра космическому кораблю, способному развить скорость 17 км/с? 4. Во сколько раз Сириус ярче Полярной звезды? 5*. Экваториальные координаты яркой звезды $\alpha = 18^{\circ}37'$, $\delta = +38^{\circ}47'$. Какая это звезда? Вычислите расстояние до нее в парсеках, если известно, что видимая и абсолютная звездные величины соответственно равны $0,1^m$ и $0,5^m$. 6. Какие два метода определения расстояний до звезд вы знаете?

§ 23. ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ СКОРОСТИ ЗВЕЗД

1. Введение. Итак, звезды находятся от нас на различных расстояниях, т. е. никакой «сферы звезд» не существует. Но не существует и неподвижных звезд. Астрономические наблюдения доказывают, что звезды движутся. Скорость, с которой звезда движется в пространстве относительно Солнца, назовем пространственной скоростью. Обозначим вектор пространственной скорости одной из звезд через \vec{v} (рис. 81). Его можно представить как сумму двух составляющих векторов, один из которых (тангенциальная скорость \vec{v}_t) перпендикулярен лучу зрения (т. е. направлению звезда — наблюдатель), а другой направлен по лучу зрения (лучевая скорость \vec{v}_r). Тогда по теореме Пифагора модуль пространственной скорости будет равен

$$v = \sqrt{v_t^2 + v_r^2}. \quad (42)$$

Рассмотрим методы определения модулей векторов \vec{v}_t и \vec{v}_r .

1*. Собственные движения и тангенциальные скорости звезд. Уже в XVIII в. стало ясно, что экваториальные координаты звезд в течение длительных промежутков времени изменяются. Одна из причин этого явления — движение звезд в пространстве. Угловое перемещение звезды на небесной сфере за год называется собственным движением. Оно выражается в секундах дуги в год и обозначается буквой μ . Наибольшим собственным движением обладает звезда Барнарда (в созвездии Змееносца), у которой $\mu = 10,3''$. Зная μ , можно вычислить модуль тангенциальной скорости v_t . Действительно, расстоянию r до звезды соответствует годичный параллакс звезды π . Если π выражено в радианах, то $r = \frac{a}{\pi}$, где $a = 1$ а. е. Собственному движению звезды μ (тоже выраженному в радианах) соответствует линейное смещение $r\mu$. Учитывая сказанное выше, $r\mu = a \frac{\mu}{\pi}$. Зная пере-

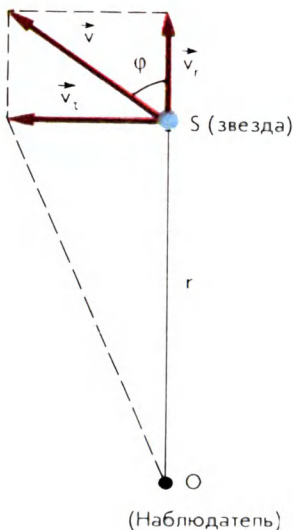


Рис. 81. Пространственная скорость звезды.

мещение звезды за год, легко найти ее скорость v_r , разделив это перемещение на время t_0 , равное году:

$$v_r = a \frac{\mu}{\pi d_0}.$$

Так как $1 \text{ а. е.} = 1,496 \cdot 10^8 \text{ км}$, а $t_0 = 3,16 \cdot 10^7 \text{ с}$, то тангенциальная скорость, выраженная в километрах в секунду, будет равна

$$v_r = 4,74 \frac{\mu}{\pi}. \quad (43)$$

2. Эффект Доплера и определение лучевых скоростей звезд. Лучевые скорости определяют по спектрам звезд. При этом используется явление, которое называют эффе к - т о м Д о п л е р а. Сущность эффекта Доплера состоит в том, что *линии в спектре источника, приближающегося к наблюдателю, смещены к фиолетовому концу спектра, а линии в спектре удаляющегося источника — к красному концу спектра* (по отношению к положению линий в спектре неподвижного источника). Почему же меняется частота излучения, воспринимаемая наблюдателем? Пусть расстояние от источника до наблюдателя будет ct (где c — скорость света, t — время, за которое свет преодолевает расстояние до наблюдателя). За время t источник испускает $\nu_0 t$ волн (ν_0 — частота излучения). Если источник неподвижен, то на отрезке ct как раз и укладывается $\nu_0 t$ волн. Но если источник движется (например, удаляется со скоростью v_r), то число волн $\nu_0 t$ уложится на отрезке, длина которого $ct + v_r t$. Перейдем от частоты к длинам волн (рис. 82). Длина волны λ_0 , которую принимает наблюдатель от неподвижного источника, будет $\lambda_0 = \frac{ct}{\nu_0 t}$ (или известное вам из физики соотношение $\lambda_0 = \frac{c}{\nu_0}$), а длина волны, которую наблюдатель принимает от удаляющегося источника, будет

$$\lambda = \frac{ct + v_r t}{\nu_0 t}.$$

Тогда смещение, равное $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$, есть

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 = \frac{ct + v_r t}{\nu_0 t} - \frac{ct}{\nu_0 t},$$

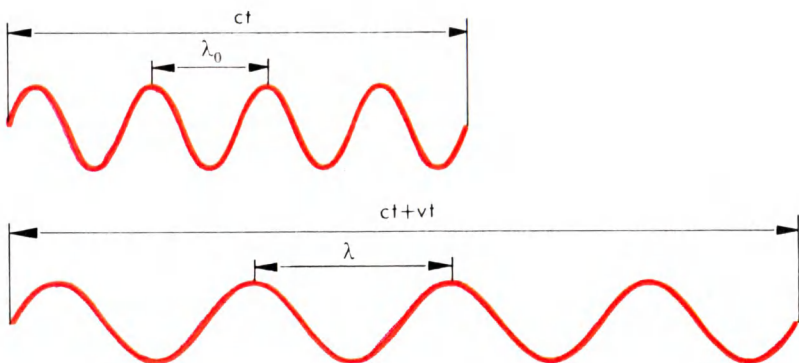


Рис. 82. К объяснению эффекта Доплера.

т. е. $\Delta\lambda = \frac{v_r}{v_0}$,

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

Откуда

$$v_r = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} c. \quad (44)$$

Это формула для вычисления лучевых скоростей. Из нее видно, что для определения v_r нужно измерить сдвиг спектральной линии, т. е. сравнить положение данной линии в спектре звезды с положением этой же линии в спектре неподвижного (например, наблюдаемого в лаборатории) источника света. Лучевая скорость удаляющегося источника получается со знаком плюс, а приближающегося — со знаком минус.

К настоящему времени определены лучевые скорости и собственные движения многих звезд. Измерение лучевых скоростей проще и быстрее, чем измерение собственных движений.

Пример 10. В спектре звезды линия, соответствующая длине волны $5,5 \cdot 10^{-4}$ мм, смещена к фиолетовому концу спектра на $5,5 \cdot 10^{-8}$ мм. Определить лучевую скорость звезды.

Д а н о :

$$\lambda_0 = 5,5 \cdot 10^{-4} \text{ мм}$$

$$\Delta\lambda = 5,5 \cdot 10^{-8} \text{ мм}$$

v_r — ?

Р е ш е н и е :

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

$$v_r = \left(\frac{5,5 \cdot 10^{-8} \text{ мм}}{5,5 \cdot 10^{-4} \text{ мм}} \right) \cdot 3 \cdot 10^5 \text{ км/с.}$$

$$v_r \approx 30 \text{ км/с.}$$

О т в е т : $v_r \approx 30 \text{ км/с}$. Поскольку смещение происходит к фиолетовому концу спектра, то звезда приближается к наблюдателю, т. е. $v_r \approx -30 \text{ км/с}$.

Вопросы-задания для самоконтроля

1. Что нужно знать, чтобы определить пространственную скорость звезды? 2*. Что нужно знать, чтобы определить тангенциальную скорость звезды? 3. В чем заключается эффект Доплера? С каким проявлением его в диапазоне звуковых частот вы знакомы? 4. Что нужно знать, чтобы определить лучевую скорость звезды? 5. Докажите, что не существует никакой «сферы неподвижных звезд». 6*. Вычислите пространственную скорость Альдебарана, зная, что параллакс этой звезды $0,05''$, собственное движение $0,2''$ в год, а лучевая скорость $+54 \text{ км/с}$.

§ 24. ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ЗВЕЗД

Вы уже знаете, что звезды — это далекие солнца, поэтому, изучая природу звезд, мы будем сравнивать их физические характеристики с физическими характеристиками Солнца.

1. **Цвет и температура звезд.** Во время наблюдений звездного неба вы могли заметить, что *цвет звезд различен*. Подобно тому как по цвету раскаленного металла можно судить о его температуре, так цвет звезды свидетельствует о температуре ее фотосферы. Вы знаете, что между максимальной длиной волны излучения и температурой существует определенная зависимость (29). У различных звезд максимум излучения приходится на разные длины волн. Например, наше *Солнце* — *желтая звезда*. Такого же цвета *Капелла*, температура которой около 6000 К . Звезды, имею-

щие температуру 3500—4000 К, *красноватого цвета* (Альдебаран). Температура *красных звезд* (Бетельгейзе) примерно 3000 К. Самые холодные из известных в настоящее время звезд имеют температуру менее 2000 К. Такие звезды доступны наблюдениям в инфракрасной части спектра.

Известно много звезд более горячих, чем Солнце. К ним относятся, например, *белые звезды* (Спика, Сириус, Вега). Их температура порядка 10^4 — $2 \cdot 10^4$ К. Реже встречаются *голубовато-белые*, температура фотосферы которых $3 \cdot 10^4$ — $5 \cdot 10^4$ К. В недрах звезд температура не менее 10^7 К.

2. Спектры и химический состав звезд. Важнейшие сведения о природе звезд астрономы получают, расшифровывая их спектры. Спектры большинства звезд, как и спектр Солнца, представляют собой *спектры поглощения*: на фоне непрерывного спектра видны темные линии.

Сходные между собой спектры звезд сгруппированы в семь основных *спектральных классов*. Они обозначаются прописными буквами латинского алфавита:

O — B — A — F — G — K — M

и располагаются в такой последовательности, что при переходе слева направо цвет звезды меняется от близкого к голубому (класс O), белому (класс A), желтому (класс G), красному (класс M). Следовательно, в этом же направлении от класса к классу происходит убывание температуры звезд.

Таким образом, последовательность спектральных классов отражает различие цвета и температуры звезд. Внутри каждого класса существует деление еще на десять подклассов. Например, спектральный класс F имеет такие подклассы:

F0 — F1 — F2 — F3 — F4 — F5 — F6 — F7 — F8 — F9.

Солнце относится к спектральному классу G2.

В основном атмосферы звезд имеют сходный химический состав: самыми распространенными элементами в них, как и на Солнце, оказались *водород* и *гелий*. *Разнообразие звездных спектров объясняется прежде всего тем, что звезды имеют разную температуру*. От температуры зависит физическое состояние, в котором находятся атомы вещества в звездных атмосферах, и вид спектра. При невысоких температурах (красные звезды) в атмосферах звезд могут существовать нейтральные атомы и даже простейшие молекулярные соединения (C_2 , CN, TiO, ZrO и др.). В атмосферах очень горячих звезд преобладают ионизованные атомы.

Кроме температуры, вид спектра звезды определяется давлением и плотностью газа ее фотосферы, наличием магнитного поля, особенностями химического состава.

3. Светимости звезд. Звезды, как и Солнце, излучают энергию в диапазоне всех длин волн электромагнитных колебаний. Вы знаете, что светимость (L) характеризует общую мощность излучения звезды и представляет одну из важнейших ее характеристик. Светимость пропорциональна площади поверхности (фотосферы) звезды (или квадрату радиуса R) и четвертой степени эффективной температуры фотосферы (T) (см. формулы 26, 27), т. е.

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4. \quad (45)$$

Формула, связывающая абсолютные звездные величины и светимости звезд, аналогична известному вам соотношению между блеском звезды и ее видимой звездной величиной (39), т. е.

$$\frac{L_1}{L_2} = 2,512^{(M_2 - M_1)}, \quad (46)$$

где L_1 и L_2 — светимости двух звезд, а M_1 и M_2 — их абсолютные звездные величины.

Если в качестве одной из звезд выбрать Солнце, то

$$\frac{L}{L_{\odot}} = 2,512^{(M_{\odot} - M)}, \quad (46')$$

где буквы без индексов относятся к любой звезде, а со значком \odot — к Солнцу.

Принимая светимость Солнца за единицу ($L_{\odot} = 1$), получим:

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

или

$$\lg L = 0,4(M_{\odot} - M). \quad (47)$$

По формуле (47) можно вычислить светимость любой звезды, у которой известна абсолютная звездная величина.

Пример 11. Вычислить светимость Сириуса, если известно, что его видимая звездная величина $-1,6^m$, а свет от него идет до Земли 8,7 лет.

Д а н о :

$$m = -1,6^m$$

$$r = \frac{8,7}{3,26} \text{ пк} =$$

$$= 2,7 \text{ пк}$$

$$M_{\odot} = 4,8^m$$

$$L - ?$$

Р е ш е н и е :

$$\lg L = 0,4 (M_{\odot} - M),$$

$$M = m + 5 - 5 \lg r,$$

$$M = -1,6 + 5 - 5 \lg 2,7 = 3,4 - 5 \cdot 0,4 =$$

$$= 1,4; \quad M = 1,4^m.$$

$$\lg L = 0,4 (4,8 - 1,4) \approx 1,4, \quad L = 25.$$

$$\text{О т в е т : } L = 25 L_{\odot}.$$

Звезды имеют различную светимость. Известны звезды, светимости которых в сотни и тысячи раз превосходят светимость Солнца. Например, светимость α Тельца (Альдебаран) почти в 160 раз больше светимости Солнца ($L \approx 160 L_{\odot}$); светимость Ригеля (β Ориона) $L = 80\,000 L_{\odot}$.

У подавляющего большинства звезд светимости сравнимы со светимостью Солнца или меньше ее; например, светимость звезды, известной под названием Крюгер 60А, $L \approx 0,006 L_{\odot}$.

4. Радиусы звезд. Используя самую современную технику астрономических наблюдений, удалось в настоящее время непосредственно измерить угловые диаметры (а по ним, зная расстояние, и линейные размеры) лишь нескольких звезд. В основном астрономы определяют радиусы звезд другими методами. Один из них дает формула (45). Если известна светимость L и эффективная температура T звезды, то, используя формулу (45), можно вычислить *радиус звезды* R , ее *объем* и *площадь фотосферы*.

Определив радиусы многих звезд, астрономы убедились в том, что существуют звезды, размеры которых резко отличаются от размеров Солнца. Наибольшие размеры у *сверхгигантов*. Их радиусы в сотни раз превосходят радиус Солнца. Например, радиус звезды α Скорпиона (Антарес) не менее чем в 750 раз превосходит солнечный. Звезды, радиусы которых в десятки раз превосходят радиус Солнца, называются *гигантами*. Звезды, по размерам близкие к Солнцу или меньшие, чем Солнце, относятся к *карликам*. Среди карликов есть звезды, которые меньше Земли или даже Луны. Открыты звезды и еще меньших размеров (см. § 26).

5. Массы звезд. *Масса звезды — одна из важнейших ее характеристик.* Массы звезд различны. Однако, в отличие от светимостей и размеров, массы звезд заключены в сравнительно узких пределах: самые массивные звезды обычно лишь в десятки раз превосходят Солнце, а наименьшие массы звезд порядка $0,06 M_{\odot}$. Основной метод определения масс звезд дает исследование *двойных звезд* (§ 26);

обнаружена зависимость между светимостью и массой звезды (§ 25).

6. Средние плотности звезд. Так как размеры звезд различаются значительно больше, чем их массы, то и средние плотности звезд сильно отличаются друг от друга. У гигантов и сверхгигантов плотность очень мала. Например, плотность Бетельгейзе около 10^{-3} кг/м³. Вместе с тем существуют чрезвычайно плотные звезды. К ним относятся небольшие по размерам белые карлики (их цвет обусловлен высокой температурой). Например, плотность белого карлика Сириус В более $4 \cdot 10^7$ кг/м³. В настоящее время известны значительно более плотные белые карлики (10^{10} — 10^{11} кг/м³). Огромные плотности белых карликов объясняются особыми свойствами вещества этих звезд, которое представляет собой атомные ядра и оторванные от них электроны. Расстояния между атомными ядрами в веществе белых карликов должны быть в десятки и даже сотни раз меньше, чем в обычных твердых и жидких телах, с которыми мы встречаемся в земных условиях. Агрегатное состояние, в котором находится это вещество, нельзя назвать ни жидким, ни твердым, так как атомы белых карликов разрушены. Мало похоже это вещество на газ или плазму. И все-таки его принято считать «газом», учитывая, что расстояние между частицами даже в плотных белых карликах во много раз больше, чем сами ядра атомов или электроны.

Вопросы-задания для самоконтроля

1. В каких пределах заключены радиусы, массы, светимости и температуры звезд? 2. Из каких химических элементов в основном состоят звезды? 3. Чем объясняется наблюдаемое различие спектров звезд? 4. Обоснуйте вывод о том, что наше Солнце — обычная звезда. 5. Какова светимость звезды, принадлежащей к тому же спектральному классу, что и Солнце, но радиус которой в 25 раз больше, чем у Солнца?

§ 25. СВЯЗЬ МЕЖДУ ФИЗИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ЗВЕЗД

1. Диаграмма «спектр — светимость». В начале нынешнего века голландский астроном Э. Герцшпрунг (1873—1967) и американский астроном Г. Рессел (1877—1957) независимо друг от друга обнаружили, что существует связь между спектрами звезд и их светимостями. Эта зависимость, полученная путем сопоставления данных наблюдений, представ-

лена диаграммой (рис. 83): по горизонтальной оси отложены *спектральные классы* (или *температуры*) *звезд*, а по вертикальной — *светимости* (или *абсолютные звездные величины звезд*).

Каждой звезде соответствует точка диаграммы, получившей название диаграммы «с п е к т р — с в е т и м о с т ь» или диаграммы Герцшпрунга — Рессела (Г — Р). Если бы спектральные классы и светимости звезд оказались независимыми физическими характеристиками, то в расположении точек на диаграмме не было бы закономерностей. Но точки на диаграмме группируются в пределах нескольких областей, названных *последовательностями*. Подавляющее большинство звезд принадлежит *главной последовательности*, простирающейся от горячих сверхгигантов до холодных красных карликов. Рассматривая главную последовательность, можно заметить, что, чем горячее относящиеся к ней звезды, тем большую светимость они имеют. Обособленно от главной последовательности в разных частях

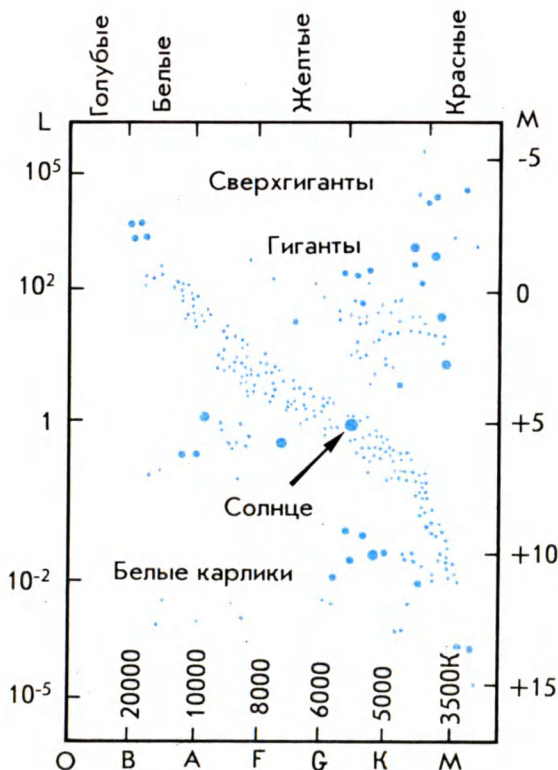


Рис. 83. Диаграмма «спектр-светимость».

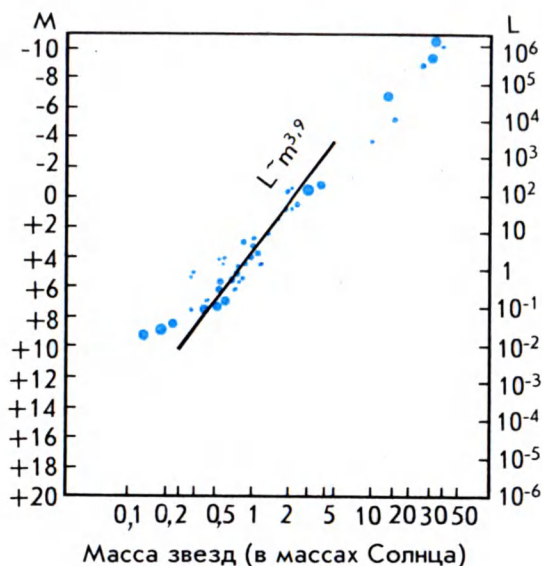


Рис. 84. Диаграмма
«масса — светимость».

диаграммы сгруппированы *гиганты*, *сверхгиганты* и *белые карлики*.

Диаграмма «спектр — светимость» показывает, что звезды данного спектрального класса не могут иметь произвольную светимость и, наоборот, звезды с определенной светимостью не могут иметь любую температуру. Диаграмма «спектр — светимость» отражает важную *закономерность в мире звезд*, основываясь на которой астрономы исследуют эволюцию звезд (§ 31).

2. Соотношение «масса — светимость». Существует связь между массой звезды и ее светимостью. Наглядное представление об этом дает диаграмма (рис. 84), по одной оси которой отложены *массы звезд*, а по другой — их *светимости* (или *абсолютные звездные величины*). Из диаграммы видно, что, чем больше масса звезды, тем больше ее светимость. Светимость пропорциональна примерно четвертой степени массы звезды ($L \sim m^4$).

3*. Вращение звезд различных спектральных классов. Вы знаете, что наше Солнце вращается вокруг оси, причем его вращение легко обнаружить по перемещению деталей фотосферы (например, пятен). Рассмотреть какие-либо детали хотя бы на ближайших звездах почти невозможно даже в самые крупные современные телескопы. Однако, анализируя спектры звезд, удалось на основе эффекта Доплера доказать, что звезды тоже вращаются вокруг осей, и определить скорости вращения. Некоторые звезды (преимуще-

ственно относящиеся к спектральным классам О и В) вращаются с очень большой скоростью, достигающей на экваторе 200—400 км/с, т. е. в 100—200 раз быстрее Солнца.

Вопросы-задания для самоконтроля

1. Как строится диаграмма «спектр — светимость»? 2. Чем интересна диаграмма «спектр — светимость»? Пользуясь диаграммой «спектр — светимость», ответьте: а) существуют ли звезды спектрального класса А с абсолютной звездной величиной, равной $+4^m$? б) Может ли светимость звезды спектрального класса В превышать светимость Солнца в 10 000 раз? в) Существуют ли звезды, светимость которых в 100 раз меньше светимости Солнца, а температура около 30 000 К? 3. Пользуясь диаграммой «спектр — светимость», оцените абсолютную звездную величину Солнца (G2), Бетельгейзе (M2), Денеба (A2). 4. Как связана светимость с размерами звезды? 5. Как строится диаграмма «масса — светимость»? 6. Звезды каких спектральных классов наиболее массивны? 7. Звезды каких спектральных классов имеют наибольшие скорости вращения вокруг своих осей? 8. Какие созвездия и наиболее яркие звезды в них видны сегодня вечером?

§ 26. ДВОЙНЫЕ ЗВЕЗДЫ

1. **Оптические двойные и физические двойные звезды.** Невооруженным глазом вблизи Мицара (средней звезды в ручке ковша *Большой Медведицы*) видна более слабая звезда (5^m) — *Алькор*. Угловое расстояние между Мицаром и Алькором около $12'$, а линейное расстояние между этими звездами примерно $1,7 \cdot 10^4$ а. е. Это пример *оптической двойной звезды*: Мицар и Алькор рядом проецируются на небесную сферу, т. е. видны в одном направлении, но *физически* между собой не связаны. Если предположить, что Мицар и Алькор движутся вокруг общего центра масс, образуя *физическую двойную систему звезд*, то период обращения составил бы около $2 \cdot 10^6$ лет! Обычно же звезды, связанные силами тяготения (*компоненты двойной системы*), образуют более тесные пары, а периоды обращения их компонентов не превышают сотен лет, а иногда бывают значительно меньше.

Двойственность — распространенное явление среди звезд: почти половина звезд входит в состав *двойных* или более сложных (*кратных*) систем. В качестве примера рассмотрим звезду α *Близнецов* (*Кастор*). Расстояние между компонентами (А и В) этой системы примерно

равно 100 а. е., а период обращения — около 600 лет. Звезды А и В Кастора, в свою очередь, тоже двойные. Но их двойственность невозможно обнаружить при визуальных или фотографических наблюдениях, потому что компоненты находятся на расстоянии всего лишь нескольких сотых долей астрономических единиц (соответственно малы и периоды обращения). Двойственность таких тесных пар (их называют *спектрально-двойными звездами*) выявляется лишь в результате исследования их спектров, в которых наблюдается периодическое раздвоение спектральных линий. Эффект Доплера позволяет объяснить раздвоение линий тем, что мы видим суммарный спектр, получающийся от наложения спектров звезд, которые движутся в разных направлениях (одна из них в данный момент удаляется от нас, а другая приближается).

Нередко двойственность тесных пар звезд можно выявить, изучая периодические изменения их блеска. Если направление от наблюдателя на центр масс двойной звезды проходит вблизи плоскости орбиты, то наблюдатель видит затмения, при которых одна звезда на время заслоняет другую. Такие звезды называются *затменными двойными* или *затменными переменными*.

По многократным наблюдениям затменной переменной звезды можно построить *кривую блеска*. Если сравнить звездные величины в минимуме и максимуме блеска, то мы получим *амплитуду* изменения блеска. Измерив промежуток времени между двумя последовательными максимумами (или минимумами), найдем *период* изменения блеска. На рисунке 85 изображена кривая блеска типичной затменной переменной звезды β Персея, названной арабами *Алгол* (глаз Дьявола), а рядом показано взаимное расположение компонентов.

Из анализа кривых блеска затменных переменных звезд можно определить ряд важных физических характеристик звезд, например их *радиусы*.

2. Определение масс звезд из наблюдений двойных звезд. К системам двойных звезд применимы закон всемирного тяготения и обобщенные Ньютоном законы Кеплера. Остановимся на этом подробнее. Пусть массы главной звезды и ее спутника будут M_1 и M_2 , P — период обращения спутника, A — большая полуось его орбиты. Тогда, обозначив через M_\odot и M_\oplus массы Солнца и Земли, T_\oplus — сидерический период обращения Земли, a — большую полуось земной орбиты, можно написать:

$$\frac{(M_1 + M_2) P^2}{(M_\odot + M_\oplus) T_\oplus^2} = \frac{A^3}{a^3}. \quad (48)$$

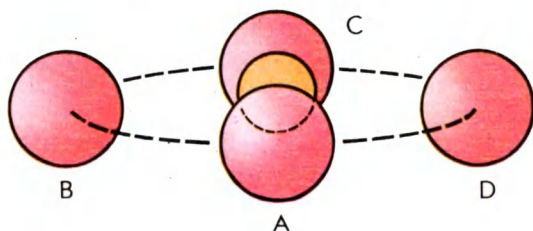
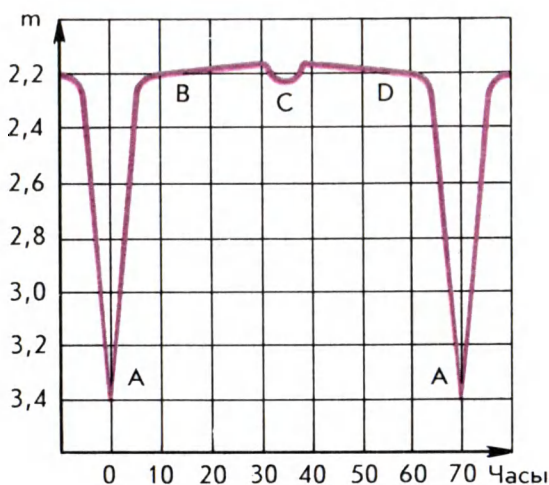


Рис. 85. Кривая блеска β Персея.

Если принять массу Солнца за единицу ($M_{\odot} = 1$) и учесть, что

$$M_{\oplus} \ll M_{\odot}, \quad T = 1 \text{ год}, \quad a = 1 \text{ а. е.}, \text{ то}$$

$$M_1 + M_2 = \frac{A^3}{P^2}. \quad (48')$$

Величина A связана с годичным параллаксом звезды (π) и угловым расстоянием между компонентами (α) простым соотношением:

$$A = \frac{\alpha}{\pi}, \quad (49)$$

где α и π выражены в секундах дуги, а расстояние A — в астрономических единицах.

Учитывая равенство (48'), формулу (49) запишем в виде:

$$M_1 + M_2 = \frac{\alpha^3}{\pi^3 P^2}. \quad (50)$$

Пример 12. Прорцион (α Малого Пса) — двойная звезда, у которой период обращения спутника около 39 лет, а большая полуось орбиты 13 а. е. Какова сумма масс компонентов этой системы?

Д а н о :

$$P = 39 \text{ лет}$$

$$A = 13 \text{ а. е.}$$

$$(M_1 + M_2) = ?$$

Р е ш е н и е :

$$M_1 + M_2 = \frac{A^3}{P^2}.$$

$$M_1 + M_2 = \frac{13^3}{39^2} \approx 1,5.$$

$$\text{О т в е т : } M_1 + M_2 \approx 1,5 M_{\odot}.$$

3*. Невидимые спутники звезд. Самая яркая звезда, украшающая наше зимнее небо, — С и р и у с — представляет собой двойную систему, состоящую из звезды С и р и у с А и массивного невидимого спутника (белого карлика) С и р и у с В. Спутник Сириуса был открыт в результате анализа отклонений в наблюдаемом движении Сириуса.

Однако не только плотные звезды-карлики могут влиять на движение главной звезды. Не исключено, что другие звезды, подобно Солнцу, имеют планеты. Например, у звезды 61 Лебеда, возможно, есть невидимый спутник (или спутники?), масса которого составляет $0,01 M_{\odot}$, т. е. всего в 10 раз больше массы Юпитера. У звезды Барнарда, вероятно, есть спутник, масса которого лишь в полтора раза больше массы Юпитера (впрочем, необязательно один, эта звезда может иметь два-три спутника). Интересно, что обе звезды (61 Лебеда и звезда Барнарда) — близкие соседи Солнца. И если дальнейшие исследования покажут, что хотя бы одна из ближайших к нам звезд имеет планетоподобный спутник или даже, может быть, планетную систему, то это будет важным подтверждением идеи о множественности планетных систем.

Вопросы-задания для самоконтроля

1. Пусть из наблюдений двойной звезды удалось определить угловое расстояние между компонентами (α) и годичный параллакс (π) в секундах дуги. Докажите, что большую полуось орбиты двойной звезды

можно вычислить по формуле (49). 2. Рассмотрев рисунок 85, объясните, почему и как изменяется блеск β Персея, а также определите амплитуду и период изменения блеска этой звезды. 3. Радиус звезды Бетельгейзе (α Ориона) примерно в 900 раз больше радиуса Солнца. Изобразите (в масштабе) три пары небесных тел: Бетельгейзе и Солнце, Солнце и Землю, Землю и Луну. 4. Вычислите сумму масс двойной звезды α Кентавра ($\pi \approx 0,76''$), если спутник, находящийся от главной звезды на расстоянии $17,65''$, имеет период обращения около 80 лет. Что нужно знать, чтобы вычислить массу каждого из компонентов в отдельности? 5. Какой интерес представляет поиск невидимых спутников звезд?

§ 27. ФИЗИЧЕСКИЕ ПЕРЕМЕННЫЕ, НОВЫЕ И СВЕРХНОВЫЕ ЗВЕЗДЫ

1. **Введение.** *Переменные звезды* — это звезды, блеск которых изменяется. У одних переменных звезд *блеск изменяется периодически*, у других наблюдается *беспорядочное изменение блеска*. К периодическим переменным звездам относятся, например, затменные переменные звезды, которые, как вы знаете, представляют собой двойные системы. Однако, в отличие от них, известны десятки тысяч одиночных звезд, блеск которых меняется вследствие происходящих на них физических процессов. Такие звезды называются *физическими переменными*. Их открытие и исследование показали, что многообразие звезд проявляется не только в том, что звезды отличаются друг от друга массами, размерами, температурами, светимостями и спектрами, но и в том, что некоторые из этих физических характеристик не *остаются неизменными* у одних и тех же звезд.

2. **Цефеиды.** *Цефеиды* — это весьма распространенный и очень важный тип физических переменных звезд. Им присущи особенности звезды δ Цефея. Чем же замечательна эта звезда? Рассмотрим рисунок 86. На нем изображена *кривая блеска* δ Цефея, т. е. той звезды, которая стала «родоначальницей» цефеид. Из графика видно, что блеск δ Цефея непрерывно изменяется с *периодом* $5,4^a$ и амплитудой 1^m . Блеск возрастает быстрее, чем ослабевает после максимума. Форма кривой все время в точности повторяется. Значит, δ Цефея — *периодическая переменная звезда*. Существуют цефеиды с меньшими периодами (до нескольких часов) и большими (до нескольких десятков суток).

Исследование спектров цефеид показывает, что вблизи максимума блеска фотосферы этих звезд приближаются к нам с наибольшей скоростью, а вблизи минимума — с наи-

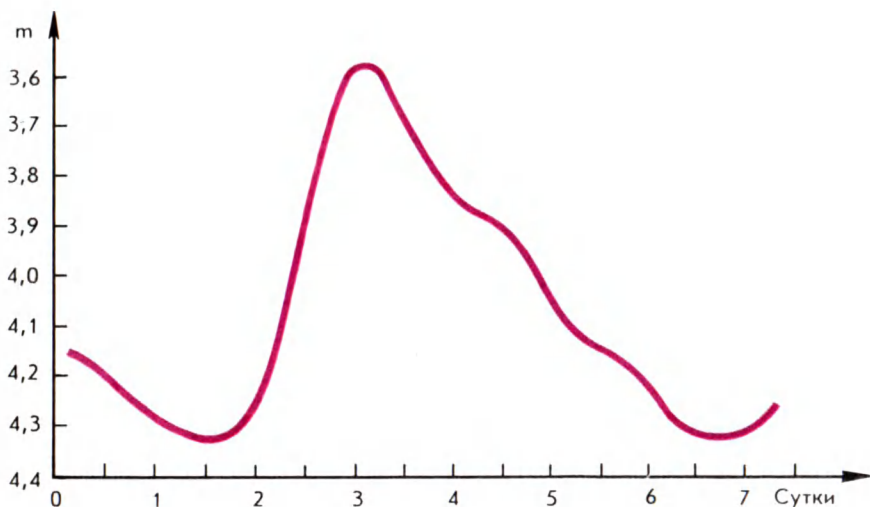


Рис. 86. Кривая блеска δ Цефея.

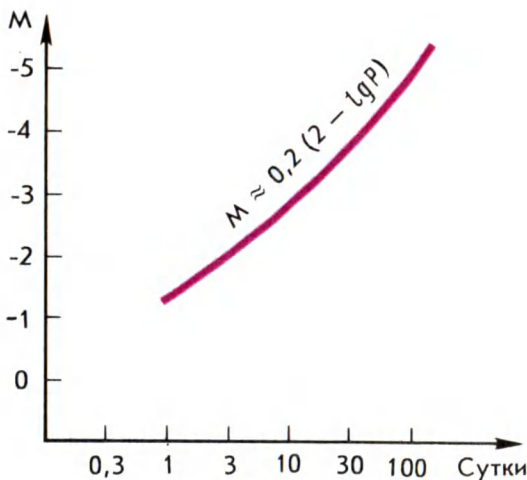


Рис. 87. Зависимость
«период — светимость»
для цефеид.

большей скоростью удаляются от нас. Это следует из анализа смещений линий в спектрах цефеид на основе эффекта Доплера.

С движением фотосферы звезды, а значит, и с изменением ее размеров мы встречаемся впервые. В самом деле, у Солнца и других подобных ему звезд размеры практически не меняются. Следовательно, в отличие от таких *стационар-*

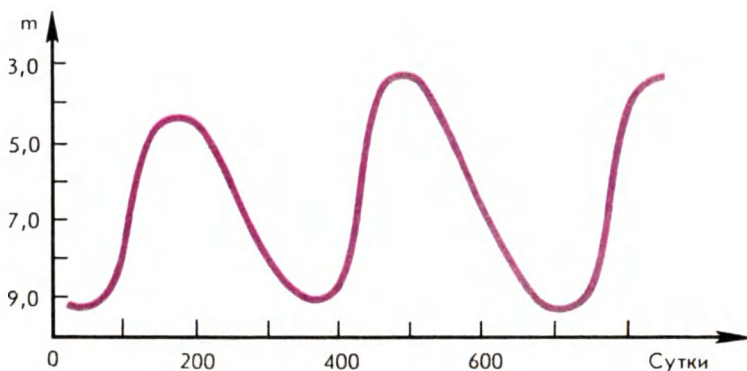


Рис. 88. Кривая блеска Миры Кита.

ных звезд, цефеиды — нестационарные звезды. *Цефеиды — это пульсирующие звезды, которые периодически раздуваются и сжимаются.* В процессе пульсации цефеиды изменяется и температура ее фотосферы. Самую высокую температуру звезда имеет в максимуме блеска.

Между периодом пульсации долгопериодических цефеид и светимостью этих звезд существует зависимость, получившая название «период — светимость» (рис. 87). Если из наблюдений известен период изменения блеска цефеиды, то, пользуясь зависимостью «период — светимость», можно определить ее абсолютную звездную величину, а тогда по формуле (41) легко вычислить расстояние до цефеиды, зная из наблюдений ее видимую звездную величину. Так как цефеиды относятся к звездам-гигантам и сверхгигантам (т. е. тем, которые имеют огромные размеры и светимости), то они видны с больших расстояний. Обнаруживая цефеиды в далеких звездных системах, можно определять расстояние до этих систем.

Цефеиды не принадлежат к числу редко встречающихся звезд. Вероятно, многие звезды на протяжении своей жизни некоторое время бывают цефеидами. Поэтому изучение цефеид важно для понимания эволюции звезд.

3*. Другие физические переменные звезды. Цефеиды — это лишь один из многочисленных типов физических переменных звезд. Первая переменная звезда была открыта в 1596 г. в созвездии Кита (Мира Кита, или Удивительная Кита). Это не цефеида. Ее колебания блеска происходят с периодом около 350^д, причем блеск в максимуме достигает 3^м, а в минимуме 9^м (рис. 88). Впоследствии было открыто много других *долгопериодических звезд* типа Миры Кита.

Преимущественно это «холодные» звезды-гиганты спектрального класса М. Изменение блеска таких звезд, по-видимому, связано с пульсацией и периодическими извержениями горячих газов из недр звезды в более высокие слои атмосферы.

Далеко не у всех физических переменных звезд наблюдаются *периодические изменения*. Известно множество звезд, которые относятся к *полуправильным* или даже *неправильным переменным*. У таких звезд трудно или вообще невозможно заметить закономерность в изменении блеска.

4. Новые и сверхновые звезды. Мы уже видели, что, в отличие от Солнца и других стационарных звезд, у физических переменных звезд изменяются размеры, температура фотосферы, светимость. Среди различных видов нестационарных звезд особый интерес представляют *новые и сверхновые* звезды. На самом деле это не вновь появившиеся звезды, а ранее существовавшие, которые привлекли к себе внимание резким возрастанием блеска.

При *вспышках новых звезд* блеск возрастает в тысячи и миллионы раз за время от нескольких суток до нескольких месяцев. Известны звезды, которые повторно вспыхивали как новые. Согласно современным данным, новые звезды обычно входят в состав двойных систем, а вспышки одной из звезд происходят в результате обмена веществом между звездами, образующими двойную систему. Например, в системе «белый карлик — обычная звезда (малой светимости)»

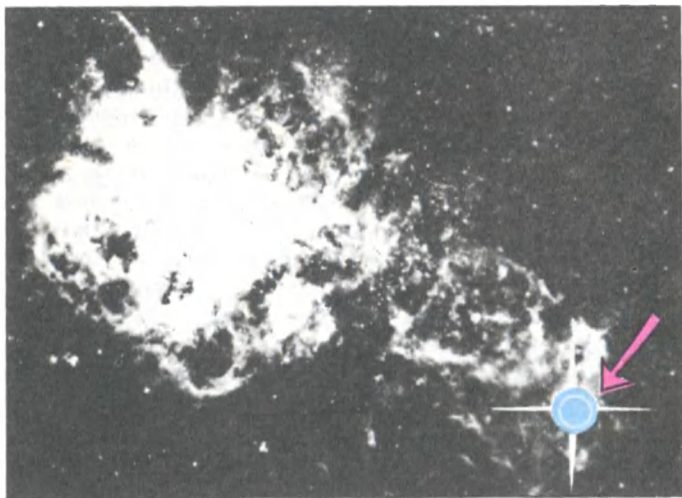


Рис. 89. Сверхновая в Большом Магеллановом Облаке.

взрывы, вызывающие явление новой звезды, могут возникать при падении газа с обычной звезды на белый карлик.

Еще более грандиозны *вспышки сверхновых звезд*, блеск которых внезапно возрастает примерно на 19^m ! В максимуме блеска излучающая поверхность звезды приближается к наблюдателю со скоростью в несколько тысяч километров в секунду. Картина вспышки сверхновых звезд свидетельствует о том, что *сверхновые — это взрывающиеся звезды*.

При взрывах сверхновых в течение нескольких суток выделяется огромная энергия — порядка 10^{41} Дж. Такие колоссальные взрывы происходят на заключительных этапах эволюции звезд, масса которых в несколько раз больше массы Солнца (§ 31).

В максимуме блеска одна сверхновая звезда может светить ярче миллиарда звезд, подобных нашему Солнцу. При наиболее мощных взрывах некоторых сверхновых звезд может выбрасываться вещество со скоростью 5000—7000 км/с, масса которого достигает нескольких солнечных масс. *Остатки оболочек*, сброшенных сверхновыми звездами, видны долгое время как расширяющиеся газовые туманности (см. § 28).

Обнаружены не только остатки оболочек сверхновых звезд, но и то, что осталось от центральной части некогда взорвавшейся звезды. Такими «звездными остатками» оказались удивительные источники радиоизлучения, которые получили название *пульсаров*. Первые пульсары были открыты в 1967 г.

У некоторых пульсаров поразительно стабильна частота повторения импульсов радиоизлучения: импульсы повторяются через строго одинаковые промежутки времени, измеренные с точностью, превышающей 10^{-9} с! Открытые пульсары находятся от нас на расстояниях, не превышающих сотни парсек. Предполагается, что *пульсары — это быстро-вращающиеся сверхплотные звезды, радиусы которых около 10 км, а массы близки к массе Солнца*. Такие звезды состоят из плотно упакованных нейтронов и называются *нейтронными*. Лишь часть времени своего существования нейтронные звезды проявляют себя как пульсары.

Вспышки сверхновых звезд относятся к редким явлениям. За последнее тысячелетие в нашей звездной системе наблюдалось всего лишь несколько вспышек сверхновых. Из них наиболее достоверно установлены следующие три: вспышка 1054 г. в созвездии Тельца, в 1572 г. — в созвездии Кассиопеи, в 1604 г. — в созвездии Змееносца. Первая из этих сверхновых описана как «звезда-гостья» китайскими и японскими астрономами, вторая — Тихо Браге, а третью наблюдал Иоганн Кеплер. Блеск сверхновых 1054 г. и

1572 г. превосходил блеск Венеры, и эти звезды были видны днем. Со времени изобретения телескопа (1609 г.) в нашей звездной системе не наблюдалось ни одной сверхновой звезды (возможно, что некоторые вспышки остались незамеченными). Когда же появилась возможность исследовать другие звездные системы, в них стали часто открывать новые и сверхновые звезды.

23 февраля 1987 г. сверхновая звезда вспыхнула в Большом Магеллановом Облаке (созвездие Золотой Рыбы) — самом большом спутнике нашей Галактики (рис. 89). Впервые после 1604 г. сверхновую звезду можно было видеть даже невооруженным глазом. До вспышки на месте сверхновой находилась звезда 12-й звездной величины. Максимального блеска 4^m звезда достигла в начале марта, а затем стала медленно угасать. Ученым, наблюдавшим сверхновую с помощью телескопов крупнейших наземных обсерваторий, орбитальной обсерватории «Астрон» и рентгеновских телескопов на модуле «Квант» орбитальной станции «Мир», удалось впервые проследить весь процесс вспышки. Наблюдения проводились в разных диапазонах спектра, включая видимый оптический диапазон, ультрафиолетовый, рентгеновский и радиодиапазоны. В научной печати появлялись сенсационные сообщения о регистрации *нейтринного* и, возможно, *гравитационного* излучения от взорвавшейся звезды. Были уточнены и обогащены новыми результатами модели строения звезды в фазе, предшествующей взрыву.

Расстояние до сверхновой (SN 1987 A) — не менее 160 тыс. св. лет (5 кпк). Поэтому на самом деле звезда вспыхнула не в 1987 г., а на 180 тыс. лет раньше! Если бы вспышка произошла на расстоянии 10 пк от нас, то сверхновая освещала бы Землю лучше, чем Луна в полнолуние.

Вопросы-задания для самоконтроля

1. В чем принципиальное отличие физических переменных звезд от обычных? 2. Почему изменяется блеск цефеид? 3. Нередко цефеиды называют «маяками Вселенной». Почему? 4. Каково расстояние до цефеиды, видимая звездная величина которой +12^m, а период колебания блеска примерно 4^h? 5*. Как должны периодически смещаться линии в спектре цефеиды? 6. Во сколько раз возрастает блеск звезд, вспыхивающих как сверхновые? 7. Что такое пульсары? 8. Какова связь между вспышками сверхновых звезд и появлением нейтронных звезд и пульсаров? 9. Почему Солнце не может вспыхнуть как сверхновая звезда?

Что желательно знать, изучив тему «Солнце и звезды»

1. Солнце — единственная звезда в Солнечной системе, источник энергии на Земле. Это довольно обычная звезда Вселенной, которая не является уникальной по своим физическим характеристикам (массе, светимости, размерам, температуре, химическому составу).

2. Основные детали фотосферы — гранулы, пятна, факелы. Они, как вспышки и протуберанцы, наблюдаемые в хромосфере и короне, представляют собой проявление солнечной активности (ее цикл в среднем длится 11 лет).

3. Во всех проявлениях солнечной активности исключительно важную роль играет магнитное поле активной области.

4. Зная солнечную постоянную, можно вычислить светимость Солнца.

5. Солнце излучает энергию в различных диапазонах электромагнитных волн; расширяющаяся солнечная корона — источник солнечного ветра.

6. Существует ряд геофизических проявлений солнечной активности, интенсивно исследуется влияние солнечной активности на тропосферу и биосферу Земли.

7. Звезды находятся от нас на различных расстояниях и движутся в пространстве. Среди них есть сверхгиганты, гиганты и карлики.

8. Многие звезды образуют двойные (и кратные) системы. К системам физических двойных звезд применим закон всемирного тяготения.

9. Источник энергии Солнца и звезд — термоядерные реакции, происходящие в их недрах.

10. Основываясь на знании физических характеристик Солнца и звезд и законах физики, установленных на Земле, можно построить модели внутреннего строения Солнца и звезд.

11. Видимые звездные величины характеризуют не размеры и светимости звезд, а только освещенность, создаваемую звездами на Земле.

12. Звезды — раскаленные плазменные шары. Равновесие обычных звезд обеспечивается равенством сил тяготения и сил внутреннего давления плазмы.

13. Между различными физическими характеристиками звезд существует связь (например, «спектр — светимость», «масса — светимость»).

14. В отличие от практически стационарных звезд, сходных с Солнцем, существуют пульсирующие звезды (например, цефеиды) и взрывающиеся (сверхновые).

**Что желательно уметь, изучив тему
«Солнце и звезды»**

1. Наблюдать Солнце на экране школьного телескопа.

2*. Вычислять светимость Солнца по солнечной постоянной.

3. Анализировать причинно-следственные связи при объяснении влияния солнечной активности на околоземное пространство и явления в атмосфере Земли.

4. Сравнивать блеск звезд по их видимым звездным величинам (39).

5. Вычислять расстояния до звезд по: а) их годовому параллаксу (38); б) видимой и абсолютной звездной величине (41).

6. Вычислять сумму масс компонентов двойных звезд (48').

7. Анализировать диаграммы «спектр — светимость» и «масса — светимость».

8. Находить на небе звезды: α Малой Медведицы, α Лиры, α Лебедя, α Орла, α и β Ориона, α и β Близнецов, α Возничего, α Малого Пса, α Большого Пса, α Тельца.

V. СТРОЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ

§ 28. НАША ГАЛАКТИКА

1. **Млечный Путь.** В безлунную осеннюю ночь хорошо заметна тянущаяся через все небо светлая полоса. Это *Млечный Путь*, названный так в древности за присущий ему оттенок. Направив на него бинокль или телескоп, вы убедитесь в том, что свет Млечного Пути исходит от множества не различимых невооруженным глазом звезд (о чем догадывался еще Демокрит в IV в. до н. э. и что впервые обнаружил Галилей).

Млечный Путь опоясывает все небо; у него нет резких границ, а разные участки имеют неодинаковую ширину и яркость. В Млечном Пути сосредоточено подавляющее число звезд *Галактики* — *огромной звездной системы сплюснутой формы* (галактики — от греческого слова, означающего «молочный»). Солнце, являющееся одной из звезд Галактики, находится вблизи ее плоскости симметрии — *галактической плоскости*. Поэтому большинство звезд Галактики проецируется на небесную сферу не хаотично, а в пределах той полосы, которую мы и называем Млечным Путем.

2. **Состав Галактики.** *Звезды и звездные скопления.* Число звезд в Галактике порядка 10^{12} (триллиона). Самые многочисленные звезды — это карлики с массами примерно в 10 раз меньше массы Солнца. Кроме одиночных звезд и их *спутников* (планет), в состав Галактики входят *двойные и кратные звезды*, а также группы звезд, связанные силами тяготения и движущиеся в пространстве как единое целое, называемые *звездными скоплениями*. Некоторые из них можно отыскать на небе в телескоп, а иногда и невооруженным глазом, например звездное скопление *Плеяды* в созвездии *Тельца* (рис. 90). Это *рассеянное звездное скопление*. Такие скопления не имеют правильной формы; их в настоящее время известно более тысячи. На рисунке 91 изображено звездное скопление, совершенно непохожее на рассеянное. Это *шаровое звездное скопление* в созвездии Геркулеса. Если в рассеянных скоп-

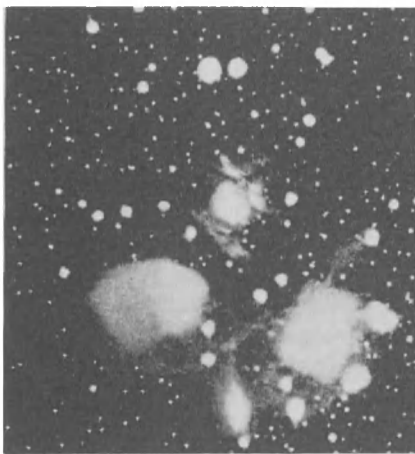


Рис. 90. Рассеянное звездное скопление Плеяды в созвездии Тельца.



Рис. 91. Шаровое звездное скопление в созвездии Геркулеса.

лениях содержатся сотни или тысячи звезд, то в шаровых их сотни тысяч. Силы тяготения удерживают звезды в таких скоплениях миллиарды лет. Известно около 150 шаровых скоплений. В отличие от рассеянных звездных скоплений, состоящих в основном из звезд, которые принадлежат *главной последовательности*, шаровые скопления содержат красные и желтые гиганты и сверхгиганты. Обзоры неба, выполненные рентгеновскими телескопами, установленными на специальных искусственных спутниках Земли, привели к открытию рентгеновского излучения многих шаровых скоплений.

Туманности. В различных созвездиях можно увидеть в телескоп туманные пятна, которые (в основном) состоят из газа и пыли, — это *туманности*, они тоже входят в состав нашей Галактики. Туманности неправильной, клочковатой формы называют *диффузными*, а те, которые имеют правильную форму и в небольшие телескопы напоминают по виду планеты, — *планетарными*. Если вблизи большого газопылевого облака находится яркая звезда, то туманность, отражая или переизлучая излучение этой звезды, становится видимой как *светлая диффузная туманность* (рис. 92). Пример светлой диффузной туманности — *большая газопылевая туманность в созвездии Ориона*. Расстояние до нее около 500 пк, диаметр центральной части туманности — 6 пк, масса примерно в 100 раз больше массы Солнца.

Интересна небольшая диффузная туманность, названная *Крабовидной туманностью* (рис. 93) за свою необычную сетку из ажурных газовых волокон. Установлено, что эта туманность — остаток сверхновой звезды, вспыхнувшей в 1054 г. в созвездии Тельца. Значит, возраст Крабовидной туманности меньше 950 лет. Крабовидная туманность удалена от нас на расстояние не менее 1,5 клк. Ее диаметр около 1 пк, масса всех волокон около 0,1 массы Солнца. Туманность расширяется со скоростью более 1000 км/с.

Крабовидная туманность — один из уникальных космических объектов. Это не только источник оптического излучения, но и источник радиоизлучения, рентгеновских и гамма-квантов. Наконец, в центре Крабовидной туманности находится пульсар, замечательный тем, что у него в 1969 г. впервые были обнаружены наряду с пульсациями радиоизлучения оптические пульсации блеска и пульсации рентгеновского излучения. Пульсар, обладающий мощным переменным магнитным полем, ускоряет электроны и вызывает свечение туманности в различных участках спектра электромагнитных волн.

Пример планетарной туманности — туманность в созвездии Лиры (рис. 94). В центре планетарной туманности находится горячая звезда. Газ, из которого состоит планетарная туманность, входил когда-то в состав атмосферы этой звезды. Коротковолновое излучение звезды переизлучается



Рис. 92. Диффузная туманность.

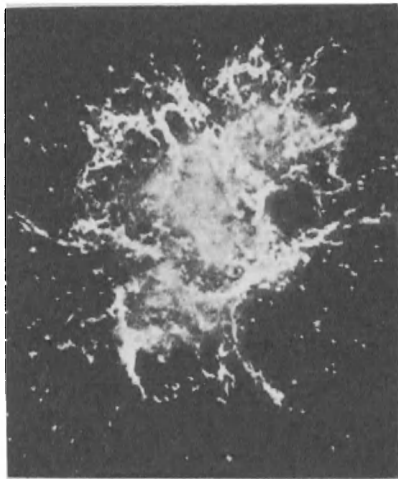
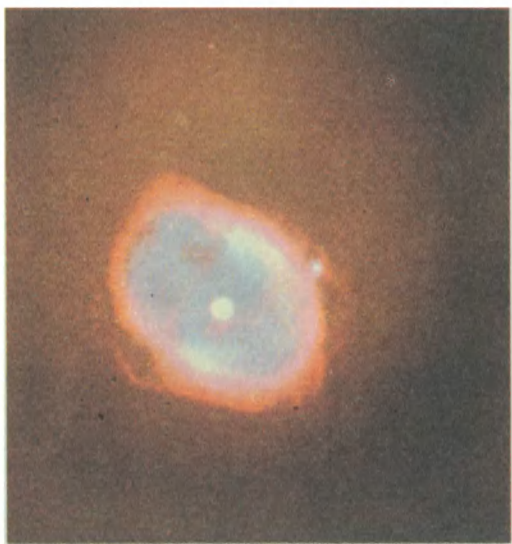


Рис. 93. Крабовидная туманность.



**Рис. 94. Планетарная
туманность
в созвездии Лирь.**

газом планетарной туманности в видимое излучение. Таким процессом (флуоресценцией), а не простым отражением объясняется свечение планетарных туманностей.

Туманности, в основном состоящие из пыли, выделяются на фотографиях звездного неба в виде темных участков (рис. 95). Многие темные туманности расположены сравнительно близко от нас и сильно поглощают свет находящихся за ними звезд.

Космические лучи и магнитные поля. Но даже там, где не видно ни звезд, ни туманностей, пространство не пусто. Оно заполнено очень *разреженным межзвездным газом и межзвездной пылью*. В межзвездном пространстве существуют и различные поля (*гравитационное и магнитное*). Пронизывают межзвездное пространство и *космические лучи*, представляющие собой потоки электрически заряженных частиц, которые при движении в магнитных полях разогнались до скоростей, близких к скорости света, и приобрели огромную энергию.

3. Строение Галактики (рис. 96). Подавляющая часть звезд и диффузной материи Галактики занимает линзообразный объем (диск с утолщением). Диаметр диска около $3 \cdot 10^4$ пк. Солнце находится на расстоянии около 10^4 пк от центра Галактики, скрытого от нас облаками межзвездной пыли. В центре Галактики расположено ее *ядро*, которое в последнее время тщательно исследуется в инфракрасном, радио- и рентгеновском диапазонах длин волн. Непрозрачные облака пыли застилают от нас ядро, препятствуя визу-

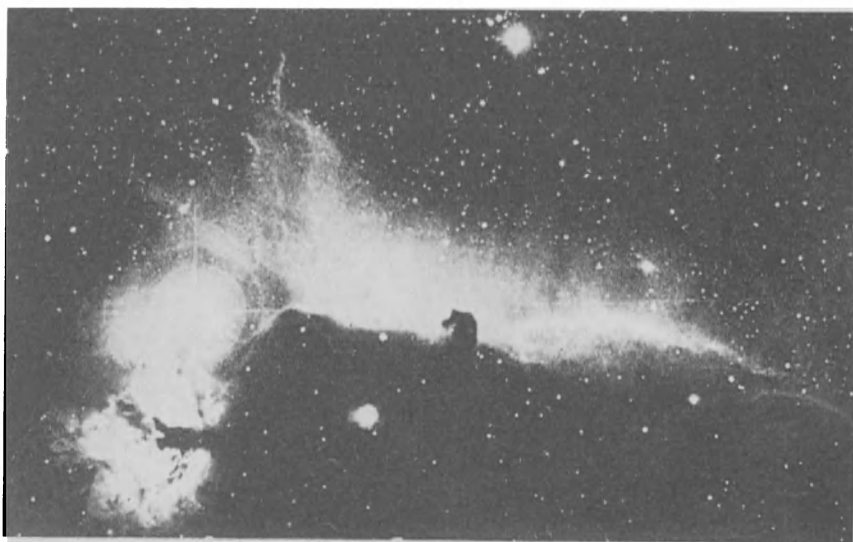


Рис. 95. Туманность «Конская голова» в созвездии Ориона.

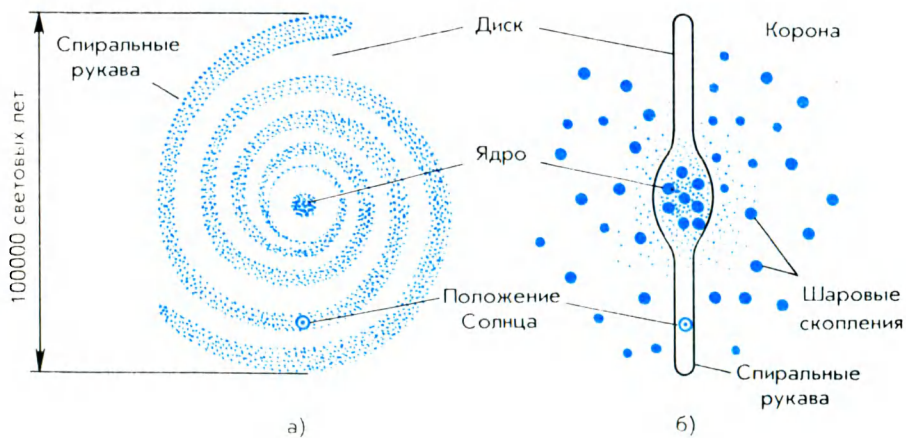


Рис. 96. Строение Галактики.

альным и обычным фотографическим наблюдениям этого интереснейшего объекта Галактики.

Если бы мы могли взглянуть на галактический диск «сверху», то обнаружили бы огромные спиральные ветви, в основном содержащие наиболее горячие и яркие звезды, а также массивные газовые облака. Диск со спиральными ветвями образует основу *плоской подсистемы Галактики*. А объекты, концентрирующиеся к ядру Галактики и лишь частично проникающие в диск (например, шаровые звездные скопления), относятся к *сферической подсистеме*. Такова лишь очень упрощенная схема строения Галактики. В Галактике известны и другие подсистемы, причем существование различных подсистем неразрывно связано с образованием и эволюцией звезд, изменением химического состава (химическая эволюция) и, наконец, с эволюцией структуры Галактики (Галактика не всегда была такой, какой мы ее застали!).

4*. Вращение Галактики и движение звезд в ней. Галактика вращается вокруг своей центральной области. В отличие от Солнечной системы, в которой почти вся масса вещества сосредоточена в Солнце, в центре Галактики сосредоточена лишь сравнительно небольшая часть звезд. Поэтому вращение Галактики имеет свои особенности: с увеличением расстояния от центра изменяются и угловая, и линейная скорости вращения Галактики (угловая скорость убывает, а линейная сначала возрастает, а затем, достигнув максимума, начинает убывать). Солнце как раз находится на том расстоянии от центра Галактики, где линейная скорость звезд максимальна. Солнце и ближайшие к нему звезды движутся вокруг центра Галактики со скоростью 250 км/с, совершая полный оборот примерно за 200 млн. лет.

Вращение Галактики обнаруживается при измерении лучевых скоростей звезд (т. е. по эффекту Доплера). Действительно, если все звезды вместе с Солнцем движутся вокруг центра Галактики, то по изменению лучевых скоростей различных звезд это можно определить. Так, для наблюдателя, движущегося вместе с Солнцем, будут равны нулю лучевые скорости тех звезд, которые, например, движутся в перпендикулярном к нему направлении. Лучевые скорости равны нулю и в направлении на центр Галактики (*он находится в созвездии Стрельца*), антицентр и в тех случаях, когда звезды находятся справа и слева от направления центр — антицентр, т. е. под углом 90° к этому направлению. В других направлениях обнаруживаются лучевые скорости, различные по модулю и знаку. Такая картина движения звезд вырисовывается из наблюдений далеких от Солнца звезд, а близкие не только участвуют в общем вращении Галактики, но и совершают небольшие хаотические

движения. Например, Солнце (а вместе с ним и вся Солнечная система) движется со скоростью около 20 км/с по направлению к точке, которая называется *а п е к с о м* (от лат. «вершина») и положение которой на небесной сфере известно ($\alpha = 18^\circ$, $\delta = +30^\circ$). Определяя из наблюдений пространственную скорость звезды (§ 23), мы находим ее *относительно Солнца*.

5*. Радиоизлучение Галактики. В начале 30-х гг. при изучении шумов, мешавших радиосвязи, был открыт источник необычных радиопомех, расположенный в направлении центра Галактики и находящийся за пределами Солнечной системы. Радиоизлучение приходит к нам не только из центра Галактики или от остатков когда-то вспыхнувших сверхновых звезд, но и из межзвездного пространства.

Радиоизлучение межзвездной среды вызвано различными причинами. Например, радиоволны излучает находящийся в межзвездном пространстве ионизованный горячий газ, нагретый до 10^4 К. Нагрев и ионизация газа (преимущественно водорода) вызывают горячие звезды и космические лучи. Другой источник радиоизлучения (на волне 21 см) — *н е й т р а л ь н ы й в о д о р о д*, которого в межзвездном пространстве значительно больше, чем ионизованного. Исследование радиоизлучения Галактики непрерывно пополняет наши сведения о ней. Так, например, наблюдения на волне 21 см распределения нейтрального водорода помогают выявить расположение спиральных ветвей, в которых сосредоточено особенно много межзвездного газа. Такие наблюдения доказывают, что газ, как и звезды, участвует во вращении Галактики. Это позволяет по радионаблюдениям уточнить закономерности вращения Галактики.

Вопросы-задания для самоконтроля

1. Пользуясь звездной картой, проследите, через какие созвездия проходит Млечный Путь, и выясните, в каких созвездиях его пересекает небесный экватор. 2. Что входит в состав Галактики? 3. Каково строение Галактики? 4. Правильно ли называть Галактику «наша звездная система»? 5. В каких видах материя встречается в Галактике? 6. Сколько лет требуется лучу света, чтобы пересечь Галактику по диаметру? 7. Где расположено Солнце в Галактике? 8. В каком созвездии находится солнечный апекс? 9. Сравните следующие скорости космических движений: скорость движения Земли вокруг Солнца, скорость движения Солнца относительно ближайших звезд и скорость движения Солнца вокруг центра Галактики. 10*. Солнце находится внутри облака нейтрального водорода с плотностью около 0,1 атома в 1 см^3 . Сравните это число с числом частиц в воздухе при нормальном атмосферном давлении и в лучших вакуумных камерах, где 10^{10} атомов приходится на 1 см^3 .

11*. Определите расстояние до шарового скопления и размеры скопления, если известно, что: а) в нем находится цефеида, видимый блеск которой $15,1^m$, а абсолютная звездная величина 0^m ; б) угловой диаметр скопления $12'$. 12. Во сколько раз число звезд, входящих в Галактику, больше числа звезд, которые одновременно доступны наблюдению невооруженным глазом ($3 \cdot 10^3$)? 13. Считая, что население земного шара составляет $5,5 \cdot 10^9$ человек, определите, сколько звезд Галактики «приходится» на каждого жителя нашей планеты.

§ 29. ДРУГИЕ ГАЛАКТИКИ

1. Открытие других галактик. В начале XX в. было доказано, что некоторые туманные пятна, видимые в телескоп в разных участках неба, находятся вне нашей Галактики и представляют собой *другие галактики*, каждая из которых, подобно нашей, состоит из многих миллиардов звезд. Огромные расстояния, отделяющие Солнечную систему от этих миров, почти лишают нас возможности видеть их невооруженным глазом. Зато телескоп раскрывает перед человеком поистине глубины Вселенной: крупнейшим современным телескопам доступна область Вселенной, в которой находятся *миллиарды галактик*. Исследованием мира галактик занимается *внегалактическая астрономия*. Подобно физике элементарных частиц, проникающей в тайны невидимого микромира, внегалактическая астрономия изучает разнообразные, очень далекие от нас, не видимые невооруженным глазом космические объекты безграничного мегамира, непрерывно расширяя наши представления о Вселенной.

2*. Определение размеров, расстояний и масс галактик. Обозначив расстояние до галактики через r , линейный диаметр — D , угловой диаметр — d'' , легко вывести следующую формулу для определения *диаметра галактики*:

$$D = \frac{rd''}{206\ 265''}, \quad (51)$$

где D и r выражены в парсеках, а d'' — в секундах дуги.

Линейный диаметр ближайшей к нам галактики (*Туманности Андромеды*) не менее 40 кпк, т. е. превышает диаметр нашей Галактики.

Один из методов определения *расстояния до галактик* основан на определении видимых и абсолютных звездных величин цефеид, новых и сверхновых звезд, открываемых в других галактиках. По формуле (41) можно вычислить рас-

стояние до тех галактик, в которых обнаружены цефеиды, новые и сверхновые звезды.

Смещение спектральных линий, наблюдаемое в различных частях какой-нибудь близкой к нам галактики, свидетельствует о том, что галактики вращаются. Если область галактики, расположенная на окраине (на расстоянии R от ее центра), имеет линейную скорость вращения v , то центростремительное ускорение этой области будет $\frac{v^2}{R}$. Приравняем его к гравитационному ускорению, получаемому из закона всемирного тяготения $\frac{GM}{R^2}$, где M — масса ядра галактики:

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

отсюда найдем массу ядра галактики:

$$M = \frac{Rv^2}{G}. \quad (52)$$

Масса всей галактики на один-два порядка больше массы ее ядра. Например, масса ядра галактики в созвездии Андромеды порядка 10^{40} кг (примерно 10^{10} масс Солнца), а всей галактики — примерно в 100 раз больше (такова же примерно и масса нашей Галактики).

3. Многообразие галактик. Мир галактик поражает своим разнообразием. Галактики резко отличаются *размерами, числом входящих в них звезд, светимостями, внешним видом*. Они обозначаются номерами, под которыми их вносят в каталоги. Одни и те же галактики фигурируют в разных каталогах под разными номерами. Например, М 31, М 82 (каталог Мессье) или NGC 224, NGC 3034 («Новый общий каталог» — New General Catalogue).

По внешнему виду галактики условно разделены на три основных типа: *эллиптические, спиральные и неправильные*.

Пространственная форма эллиптических галактик — эллипсоиды с разной степенью сжатия. Среди эллиптических галактик встречаются гигантские и карликовые. Почти четверть всех изученных галактик относится к эллиптическим. Это наиболее простые по структуре галактики. Распределение звезд в них равномерно убывает от центра, пыли и газа почти нет. Самые яркие звезды — красные гиганты.

Спиральные галактики — самый многочисленный тип галактик (рис. 97, 98). К нему относятся наша Га-



Рис. 97. Спиральная галактика NGC 224.

лактика и гигантская Туманность Андромеды (М 31 или NGC 224, рис. 97), удаленная от нас примерно на 2,5 млн. св. лет. Это одна из немногих галактик, видимых невооруженным глазом. Массы спиральных галактик — порядка 10^9 — 10^{12} масс Солнца. О строении и составе этих галактик вы узнаете, познакомившись с нашей Галактикой.

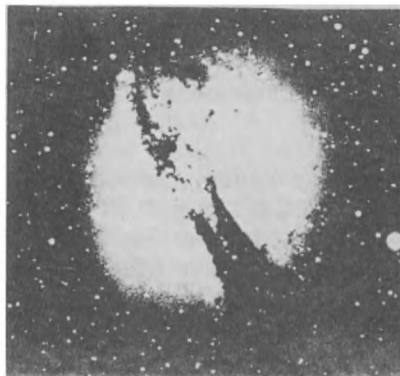


**Рис. 98. Двойная галактика
в созвездии Гончих Псов.**



Рис. 99. Неправильные галактики: Большое (а) и Малое (б) Магеллановы Облака.

Рис. 100. Радиогалактика Центавр А (Кентавр А).



Н е п р а в и л ь н ы е галактики не имеют центральных ядер и не обнаруживают закономерностей в своем строении. Жители Южного полушария Земли могут невооруженным глазом видеть две неправильные галактики — *Большое и Малое Магеллановы Облака*, являющиеся спутниками нашей Галактики (рис. 99). Они находятся сравнительно недалеко от нас, на расстоянии всего лишь в полтора раза большим диаметра Галактики. Магеллановы Облака значительно меньше нашей Галактики по массе и размерам. Изучение Магеллановых Облаков позволяет получить ценнейшие сведения о звездах, звездных скоплениях и диффузной материи. Вспомните, например, об открытии сверхновой звезды в Большом Магеллановом Облаке (с. 151).

Нередко встречаются и другие виды галактик, которые по своим свойствам отличаются от эллиптических, спиральных и неправильных. Таковы, например, в з а и м о д е й с т в у ю щ и е галактики. Они обычно находятся на небольших расстояниях друг от друга, связаны «мостами» из светящейся материи, иногда как бы пронизывают одна другую.

4. Радиогалактики и активность ядер галактик. Некоторые галактики обладают исключительно мощным радиоизлучением, превосходящим видимое излучение. Это радиогалактики. Одна из них находится в созвездии *Лебедя* (Лебедь А). Ее видимая звездная величина — примерно 18^m (будучи столь слабым объектом в оптическом диапазоне, эта галактика даже не была внесена в каталог NGC). Но абсолютная звездная величина галактики Лебедь А, находящейся от нас на расстоянии около 200 Мпк, достигает $-20,5^m$. Это такая же гигантская система, как и наша Галактика. Но, в отличие от нашей и других «нормальных» галактик, Лебедь А излучает в радиодиапазоне больше энергии, чем в оптическом диапазоне. В Лебеде А видно два ядра, образование которых скорее всего связано с мощным взрывом в центре этой галактики (хотя, возможно, это результат столкновения двух галактик).

Другой известный источник радиоизлучения — шаровая галактика NGC 5128 в созвездии *Центавра* (рис. 100). На фотографии этой галактики четко выделяются огромные облака темной пылевой материи, которые как бы разделяют галактику на две части.

В одной из ближайших к нам радиогалактик (Дева А; М 87 или NGC 4486) хорошо видна газовая струя, устремленная из ядра (рис. 101). Длина струи достигает нескольких тысяч световых лет, внутри нее заметны отдельные сгущения.

Еще недавно считалось, что самые грандиозные проявления взрывных процессов — вспышки сверхновых. Однако

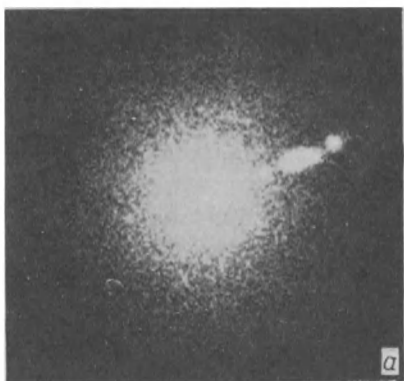


Рис. 101. Радиогалактика Дева А: а) общий вид галактики с выбросом вещества; б) структура выброса.

при взрывах в ядрах галактик выделяется во много раз больше энергии. Наблюдаемая *активность ядер галактик* проявляется в следующих основных формах: непрерывное истечение потоков вещества; выбросы сгустков газа и облаков газа с массой в миллионы солнечных масс; нетепловое (т. е. не связанное с нагреванием) радиоизлучение из околоядерной области; взрывы, превращающие галактику в радиогалактику. Причина активности ядер галактик пока не выяснена. На протяжении многих лет активность ядер галактик в нашей стране исследовали академик В. А. Амбарцумян и его ученики.

5. Квазары. Радионаблюдения привели в 1963 г. к открытию удивительных звездоподобных источников радиоизлучения. Они были названы *к в а з а р а м и*. Сейчас их открыто более тысячи. Самый яркий квазар, имеющий обозначение 3С 273 (3С — сокращенное название третьего Кембриджского каталога радиоисточников), виден как звезда $12,6^m$. В действительности этот квазар, находящийся от нас на расстоянии около 3 млрд. св. лет, излучает больше энергии в оптическом диапазоне, чем самые яркие галактики. Светимость этого квазара в 500 раз превосходит светимость галактики в Андромеде. В радиодиапазоне мощность излучения 3С 273 сравнима с радиоизлучением Лебедя А. Кроме того, этот квазар оказался одним из самых мощных источников рентгеновского излучения. Сравнивая между собой старые фотографии участка звездного неба, полученные в то время, когда эта «слабая звезда» ничем не привлекала к себе внимание, обнаружили, что *блеск квазара не оставался постоянным*. Это позволило оценить размеры квазара. Они не превышают одного светового года. Следовательно, квазар, по крайней мере, больше обычных звезд, но гораздо меньше, например, нашей Галактики.

Квazarы не похожи на обычные звезды и своими массами. Вычисления показывают, что массы квазаров достигают многих миллионов солнечных масс. Чтобы вызвать и длительное время поддерживать сверхмощное излучение квазаров, требуется энергия, которую не может обеспечить ни один из известных ныне источников, включая термоядерный синтез. Свет и радиоизлучение от самых далеких из известных ныне квазаров идет к нам более 10 млрд. лет. Скорее всего *квазары — это исключительно активные ядра очень далеких галактик.*

Вопросы-задания для самоконтроля

1. Какие объекты открыты за пределами нашей Галактики? 2. Какие вы знаете спиральные галактики? 3. Чем отличаются от спиральных эллиптические и неправильные галактики? 4. Чем замечательны радиогалактики? 5. Какие вам известны проявления активности ядер галактик? 6. Что вам известно о квазарах? 7. Можно ли сегодня вечером (в случае безоблачной погоды) отыскать на небе M31? 8. Какие из упомянутых в тексте галактик недоступны наблюдению в средних широтах? 9. Как, наблюдая цефеиды в близких спиральных галактиках, определить расстояние до этих галактик? (*Как изменится результат, если учесть поглощение света, идущего к нам от галактик? Повлияет ли учет поглощения света на вычисленные диаметры галактик?) 10. Каково расстояние (в кпк) до ближайшей к нам галактики? Каковы ее размеры и масса?

§ 30. МЕТАГАЛАКТИКА

1. Системы галактик и крупномасштабная структура Вселенной. Галактики, подобно звездам, наблюдаются группами. Например, нашу Галактику, Магеллановы Облака и еще около 20 небольших спутников нашей Галактики можно рассматривать как **к р а т н у ю с и с т е м у**. Кратной оказалась и Туманность Андромеды, окруженная несколькими эллиптическими галактиками-спутниками.

Наша Галактика и Туманность Андромеды входят в **М е с т н у ю г р у п п у** (систему) г а л а к т и к, размеры которой достигают сотен тысяч парсек. Местная группа представляет собой сравнительно небольшую систему, так как существуют **с к о п л е н и я**, содержащие сотни и тысячи галактик.

Ближайшее к нам скопление галактик находится в созвездии Девы и насчитывает сотни крупных галактик. Расстояние до него порядка 20 Мпк, это система диаметром бо-



Рис. 102. Центральная часть скопления галактик в созвездии Волосы Вероники.

более 6 Мпк. Крупные скопления галактик находятся в созвездиях Волосы Вероники, Северная Корона, Геркулес и др. (рис. 102).

Не входят ли скопления в состав еще больших систем? Данные внегалактической астрономии указывают на то, что, возможно, существует Местное сверхскопление галактик, насчитывающее примерно 10 тыс. галактик и имеющее диаметр около 50 Мпк. В его центре расположено скопление галактик в созвездии Девы. Открыто несколько десятков других сверхскоплений (два ближайших находятся от нас на расстоянии 100 Мпк). Таким образом, *Вселенной на самых разных уровнях присуща структурность: от ядер атомов до гигантских сверхскоплений галактик.*

В конце 70-х гг. XX в. астрономы обнаружили, что галактики в сверхскоплениях распределены не равномерно, а сосредоточены вблизи границ ячеек, внутри которых галактик почти нет. Теоретики предвидели возможность такого распределения галактик, а потому открытие не было неожиданным. Следовательно, согласно современным представлениям, для Вселенной характерна *ячеистая* (иногда говорят *сетчатая*, или *пористая*) *структура*, которую можно видеть на специально обработанных photographиях участков звездного неба. Она напоминает «паутинную сетку» (рис. 103).

Вообразим себе достаточно большую «сеть», содержащую множество ячеек. Если не обращать внимания на индивидуальные особенности каждой отдельно взятой ячейки, то в больших масштабах ее различные части выглядят сходным образом.

Мы рассматривали картину распределений сверхскоплений галактик в проекции на небесную сферу. А каково их **пространственное** распределение? Оказывается, «пустоты» существуют не только внутри ячеек. Недавно они обнаружены (и названы «черными областями») при исследовании распределения галактик в пространстве: найдены огромные объемы пространства (порядка миллиона кубических мегапарсек), в которых галактик пока не обнаружено.

В свете этих открытий пространственной моделью струк-

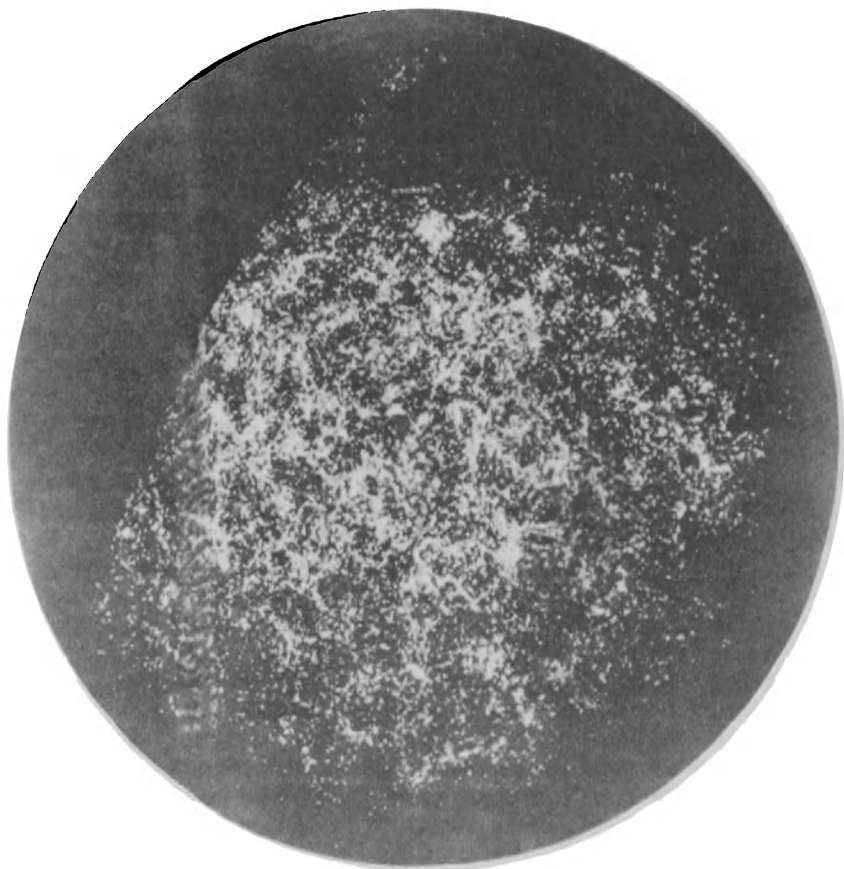


Рис. 103. Крупномасштабная структура Вселенной.

туры Вселенной может служить кусок пемзы. В целом она однородна, хотя в небольших выделенных объемах пемза неоднородна (в ней есть вещество и пузырьки воздуха). Так и во Вселенной: в небольших масштабах, например в масштабах Солнечной системы или Галактики, вещество распределено явно неравномерно, но в *масштабах сверхскоплений галактик вещество распределено практически равномерно*. Итак, в крупномасштабной структуре Вселенной не существует каких-либо особых, чем-то выделяющихся мест или направлений, поэтому в больших масштабах Вселенную можно считать не только *однородной*, но и *изотропной*.

2. Метагалактика и ее расширение. Вся охваченная современными методами астрономических наблюдений часть Вселенной называется *Метагалактикой* (или нашей Вселенной). В Метагалактике пространство между галактиками заполнено чрезвычайно разреженным *межгалактическим газом*, пронизывается *космическими лучами*, в нем существуют *гравитационные и электромагнитные поля*, а возможно, и *невидимые массы вещества* (не только «обычного», но и, например, состоящего из нейтрино).

От наиболее удаленных метагалактических объектов свет идет до нас миллиарды лет. И все-таки нет оснований отождествлять Метагалактику со «всей Вселенной». *В принципе возможно существование других, пока неизвестных нам метагалактик.*

В 1929 г. американский астроном Э. Хаббл открыл замечательную закономерность: линии в спектрах подавляющего большинства галактик смещены к красному концу, причем смещение тем больше, чем дальше от нас находится галактика. Это интересное явление называется *красным смещением*.

Объяснив красное смещение эффектом Доплера, ученые пришли к выводу о том, что *расстояние между нашей и другими галактиками непрерывно увеличивается*. Конечно, галактики не разлетаются во все стороны от нашей Галактики, которая не занимает никакого особого положения в Метагалактике, а *происходит взаимное удаление всех галактик*. Это означает, что наблюдатель, находящийся в любой галактике, мог бы, подобно нам, обнаружить красное смещение, ему казалось бы, что от него удаляются все галактики.

Таким образом, *Метагалактика нестационарна*.

Открытие расширения Метагалактики свидетельствует о том, что Метагалактика в прошлом была не такой, как сейчас, и иной станет в будущем, т. е. *Метагалактика эволюционирует*.

По красному смещению определены скорости удаления галактик. У многих галактик они очень велики, соизме-

римы со скоростью света. Самыми большими скоростями, иногда превышающими 250 000 км/с, обладают некоторые квазары, считающиеся самыми удаленными от нас объектами Метагалактики.

Закон, согласно которому красное смещение (а значит, и скорость удаления галактик!) возрастает пропорционально расстоянию от галактик (з а к о н Х а б б л а), можно записать в виде:

$$v = Hr, \quad (53)$$

где v — лучевая скорость галактики; r — расстояние до нее; H — постоянная Хаббла (Hubble).

По современным оценкам, значение H заключено в пределах $50 \text{ км/(с} \cdot \text{Мпк)} < H < 100 \text{ км/(с} \cdot \text{Мпк)}$. Следовательно, наблюдаемый темп расширения Метагалактики таков, что галактики, разделенные расстоянием 1 Мпк ($3,08 \cdot 10^{19} \text{ км}$), удаляются друг от друга со скоростью от 50 до 100 км/с. Если скорость удаления галактики определена по формуле (44), то формула (53) дает возможность вычислить расстояние до далеких галактик.

Пример 13. На каком расстоянии от нас находится галактика, имеющая скорость удаления $1,5 \cdot 10^4 \text{ км/с}$?

Д а н о :

$$v = 1,5 \cdot 10^4 \text{ км/с}$$

$$H = 50 \text{ км/(с} \cdot \text{Мпк)}$$

$r = ?$

Р е ш е н и е :

$$v = Hr,$$

$$r = \frac{v}{H},$$

$$r = \frac{1,5 \cdot 10^4 \text{ км/с}}{5 \cdot 10 \text{ км/(с} \cdot \text{Мпк)}} =$$

$$= 0,3 \cdot 10^3 \text{ Мпк} \approx 300 \text{ Мпк.}$$

О т в е т : $r \approx 300 \text{ Мпк.}$

Закон Хаббла наиболее точно выполняется для далеких галактик (и их скоплений), разделенных расстояниями 100—300 Мпк. Отклонения от этого закона наблюдаются прежде всего у относительно близких к нам галактик, у которых, как и у наиболее близких к нам звезд, весьма ощутимы индивидуальные движения внутри скоплений галактик. Кроме того, закон Хаббла нельзя считать точным для очень далеких внегалактических объектов, например квазаров, у которых $v > 100 \text{ 000 км/с}$.

Итак, мы живем в расширяющейся Метагалактике (рис. 104). Это явление имеет свои особенности. Например, системы, подобные нашей Солнечной системе, кратным системам звезд или даже отдельным галактикам, в расширении Метагалактики не участвуют (этому препятствуют силы тяготения, действующие между Солнцем и планетами, звездами в кратных системах или между звездами, входящими в состав галактик). Следовательно, *расширение Метагалактики проявляется только на уровне скоплений и сверхскоплений галактик*, т. е. систем, элементами которых являются галактики. Галактики в скоплениях иногда сравнивают с атомами нагретого вещества. При нагревании объем вещества увеличивается, возрастает расстояние между атомами, что, конечно, не отражается на размерах самих атомов.

О другой особенности расширения Метагалактики вы уже знаете. Она заключается в том, что *не существует центра, от которого разбегаются галактики*.

Наконец, постоянная H , строго говоря, убывает со временем. Это происходило бы даже в том случае, если бы в формуле (54) при возрастании r скорость v оставалась постоянной, т. е. в случае движения по инерции. Но в действительности скорость уменьшается из-за тормозящего действия гравитации. Таким образом, в общем случае $H = H(t)$. Расширения Метагалактики не только подтверждают наблюдения (оптические и радиоастрономические), но и были предсказаны теорией. В России в 1922 г., за несколько лет до открытия Хаббла, А.А. Фридман (1888—1925), основываясь на теории относительности А. Эйнштейна (1879—1955), показал, что геометрические свойства Вселенной должны изме-

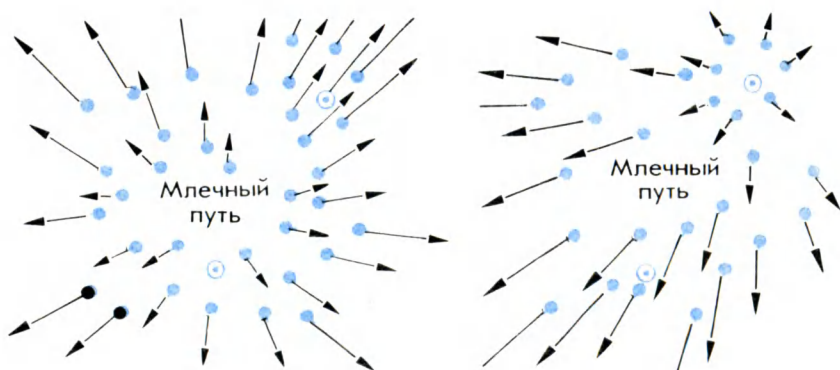


Рис. 104. «Разбегание» галактик.



Альберт Эйнштейн (1879—1955).

няться, т. е. расстояния между галактиками не могут оставаться постоянными. Открытие Хаббла, как вы знаете, свидетельствует о расширении Метагалактики.

Если допустить, что в прошлом расширение Метагалактики происходило таким же темпом, что и сейчас, то можно рассчитать, когда началось расширение. Так как любые две галактики, отстоящие друг от друга на 1 Мпк, удаляются со скоростью $50\text{—}100\text{ км/с}$, то $\frac{1}{H}$ — величина, обратная постоянной Хаббла, — дает нам представление о промежутке времени от начала расширения Метагалактики. Этот промежуток времени, по разным оценкам, составляет $20\text{—}13$ млрд. лет.

Расширение Метагалактики — самое грандиозное из известных в настоящее время явлений природы. Правильное его истолкование имеет исключительно большое мировоззренческое значение. Не случайно в объяснении причины этого явления резко проявилось коренное отличие философских взглядов ученых. Некоторые из них, отождествляя Метагалактику со всей Вселенной, пытаются доказать, что расширение Метагалактики подтверждает религиозное представление о сверхъестественном, божественном происхождении Вселенной. Однако во Вселенной известны естественные процессы, которые в прошлом могли вызвать наблюдаемое расширение. По всей вероятности, это *взрывы*. Их масштабы поражают нас уже при изучении отдельных видов галактик. Можно представить, что *расширение Метагалактики также началось с явления, напоминающего колоссальный взрыв вещества, обладавшего огромной температурой и плотностью.*

3*. Гипотеза «горячей Вселенной». Расчеты, выполненные астрофизиками, свидетельствуют о том, что вскоре после начала расширения вещество Метагалактики имело очень высокую температуру и состояло из элементарных частиц (например, нуклонов) и их античастиц. По мере расширения изменялись не только температура и плотность вещества, но и состав входящих в него частиц, так как многие частицы и античастицы *аннигилировали*, порождая электромагнитные кванты излучения. Последних в современной нам Метагалактике оказалось неизмеримо больше, чем атомов, из которых состоят звезды, планеты, диффузная материя. Согласно этой гипотезе, нередко именуемой теорией *«горячей Вселенной»*, потребовалось всего лишь несколько минут, чтобы сверхплотное вещество превратилось в вещество с плотностью, близкой к плотности воды. Через несколько часов плотность стала сравнимой с плотностью нашего воздуха, а сейчас, по истечении миллиардов лет, оценка средней плотности вещества в Метагалактике приводит к значению порядка 10^{-28} кг/м³.

Выполненные расчеты основаны на законах физики (механики, термодинамики, ядерной физики). Оказывается, что знание этих законов и некоторые предположения о распределении вещества в пространстве позволяют получить представление о процессах, которые происходили миллиарды лет тому назад.

Существуют ли экспериментальные подтверждения гипотезы «горячей Вселенной»? Вероятно, сейчас мы можем ответить на этот вопрос положительно, так как в 1965 г. было сделано открытие, которое считается подтверждением идеи о том, что в прошлом вещество Метагалактики было очень плотным и горячим. Оказалось, что космическое пространство заполнено электромагнитными волнами, являющимися посланцами той древней эпохи развития Метагалактики, когда еще не было никаких звезд, галактик, туманностей. Это электромагнитное излучение (его температура всего лишь 2,7 К) называется *р е л и к т о в ы м*. Реликтовое излучение пронизывает все пространство, все галактики, оно участвует в расширении Метагалактики.

Реликтовое излучение впервые было случайно открыто американскими учеными, изучавшими радиопомехи на волне 7,3 см. Очень важно, что, хотя это открытие сделано случайно, существование реликтового излучения было предсказано теоретиками. Одним из первых предсказал это излучение Дж. Гамов (1904—1968), разрабатывая теорию происхождения химических элементов, возникших в первые минуты после Большого Взрыва. Предсказание существования реликтового излучения и обнаружение его в космическом пространстве (А. Пензиас и Р. Вильсон, США) — еще один

убедительный пример познаваемости мира и его закономерностей.

Исследование Вселенной основывается на открытых в земных условиях законах физики. Эти законы позволили создать современные методы исследования Вселенной и объяснить подавляющее большинство известных в настоящее время космических явлений. Однако не исключено, что в процессе познания Вселенной будут открыты пока неизвестные нам новые явления, новые типы космических объектов, новые источники энергии, а может быть, и новые законы природы.

4*. Космологические модели Вселенной. На стыке астрофизики, внегалактической астрономии, теоретической физики и новейших областей математики находится раздел астрономии, который называется космологией. Космология изучает не отдельные небесные тела и их системы, а строение Вселенной в целом и происходящие в ней процессы. С одним из таких процессов — расширением Метагалактики — мы уже познакомились и знаем, что, по существу, открытие этого явления было предсказано А. А. Фридманом. Он использовал упрощенную математическую модель Вселенной, которая называется однородной и изотропной. Современные представления о крупномасштабной структуре Вселенной не противоречат такой модели. Однако нужно помнить, что речь идет об известном упрощении картины строения Вселенной. Такое упрощение необходимо для математического исследования сложных процессов, происходящих в реальном мире. Структура и эволюция Вселенной наверняка гораздо сложнее упрощенных математических схем и моделей.

Сейчас Метагалактика расширяется, а что будет с ней в дальнейшем? Теория А. А. Фридмана допускает различные возможности в зависимости от средней плотности материи во Вселенной (рис. 105). Например, если плотность материи меньше, чем величина, порядок которой 10^{-26} кг/м³, то мы живем в «открытом» мире, т. е. в бесконечной Вселенной, в которой галактики всегда будут удаляться друг от друга. Данные о средней плотности ($\approx 10^{-28}$ кг/м³) как будто бы указывают на этот случай. Но если, например, будет показано, что в галактиках и скоплениях галактик существуют какие-либо *скрытые массы вещества*, то иной окажется средняя плотность. Тогда в отдаленном будущем расширение Метагалактики сменится сжатием. Однако даже в случае «закрытого» мира Вселенная не имеет никаких границ — она конечна, но и безгранична. Дело в том, что гигантские массы вещества искривляют пространство, оно перестает быть евклидовым, в нем лучи света не распространяются прямолинейно, а прямая линия уже не будет кратчайшим

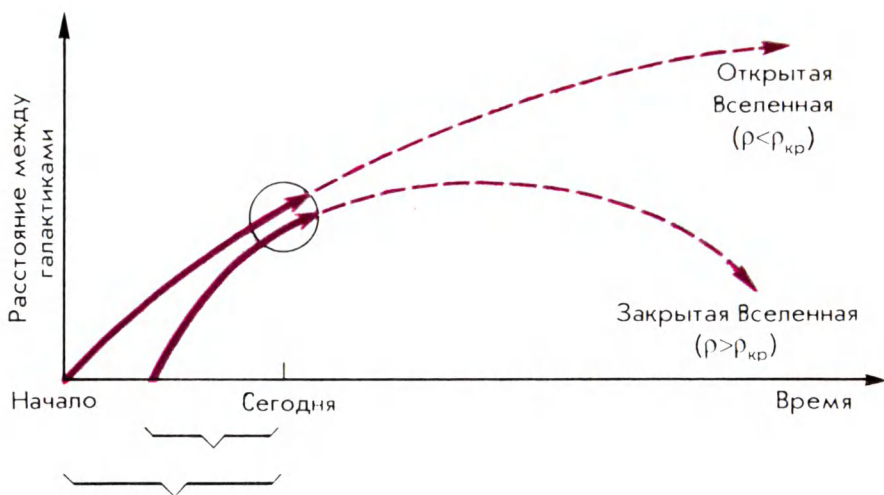


Рис. 105. Две основные космологические модели.

расстоянием между двумя точками. В евклидовом пространстве бесконечность и безграничность совпадают, например плоскость (двухмерное евклидово пространство) бесконечна и безгранична. Пример двухмерного неевклидова, искривленного пространства — сфера. Сфера не имеет границ, она безгранична, но конечна, и ее площадь мы умеем вычислять. Трудно наглядно представить себе искривленное трехмерное пространство, но и оно, подобно двухмерному неевклидову пространству, может быть безграничным и конечным.

Вопросы-задания для самоконтроля

1. Что такое Метагалактика? 2. С какими свойствами крупномасштабной структуры Вселенной вы познакомились? 3. В чем заключается закон Хаббла? Каков смысл входящей в него константы? 4*. Нанесите мелом несколько точек на поверхность футбольной камеры. Надувая камеру, проследите, как будут изменяться расстояния между точками. Выберите какую-нибудь одну точку («нашу Галактику»). Одинаково ли будут изменяться расстояния между ней и: а) соседними точками; б) далекими точками? 5. Сколько лет свет идет к нам от галактики, скорость удаления которой $6 \cdot 10^4$ км/с? 6*. Вычислите, какими примерно будут: расстояние от Земли до Солнца, размеры Солнечной системы, расстояние до ближайшей звезды, размеры Галактики и расстояния до далеких квазаров, если представить себе Солнце в виде шарика диаметром 1 см. 7. Какие взрывные процессы во Вселенной вам известны? 8*. В чем сущность гипотезы «горячей Вселенной» и на каких данных наблюдений

основана эта гипотеза? 9*. Зачем понадобилось теоретикам представление об однородной и изотропной Вселенной и в какой степени оно согласуется с данными наблюдений? 10. Приведите примеры из астрономии, показывающие познаваемость мира и его закономерностей. 11*. Какое мировоззренческое значение имеет правильное истолкование факта расширения Метагалактики?

§ 31. ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ГАЛАКТИК И ЗВЕЗД

1. Введение. Небесные тела находятся в непрерывном движении и изменении. Десятки тысяч лет назад небо Земли украшали фигуры других созвездий, миллиарды лет назад вообще еще не было Земли, Луны, планет, Солнца, многих звезд и галактик. Когда и как именно они произошли, наука стремится выяснить, изучая небесные тела и их системы. Раздел астрономии, занимающийся проблемами происхождения и эволюции небесных тел, называется **космогонией**.

Современные научные космогонические гипотезы — результат физического, математического и философского обобщения многочисленных наблюдательных данных. В космогонических гипотезах, присущих данной эпохе, в значительной мере находит свое отражение общий уровень развития естествознания. Дальнейшее развитие науки, обязательно включающее в себя астрономические наблюдения, подтверждает или опровергает эти гипотезы. *Подтверждаются те гипотезы, которые не только могут объяснить известные из наблюдений факты, но и предсказать новые открытия.*

2. Возраст галактик и звезд. Возраст Метагалактики оценивается $1,5 \cdot 10^{10}$ лет. По-видимому, близок к нему и возраст галактик, которые сформировались на одной из начальных стадий расширения Метагалактики. Каждая звезда тоже образовалась в какой-то определенный момент времени. От него и отсчитывается ее возраст. Звезды образовались не одновременно, а следовательно, должны встречаться «старые» и «молодые» звезды.

Возраст звезд определяется различными методами. Естественно предположить, что звезды, входящие в скопление, возникли одновременно и имеют одинаковый возраст. Поэтому один из методов определения возраста звезд основан на определении возраста звездных скоплений.

Самые «старые» звезды должны входить в длительно существующие скопления. Это шаровые скопления, возраст которых порядка 10^{10} лет. В шаровых скоплениях много

красных и желтых звезд. (Их возраст достигает нескольких миллиардов лет.) Рассеянные скопления «моложе». Возраст белых и голубых сверхгигантов, которые есть в этих скоплениях, — порядка нескольких миллионов лет. Эти самые общие соображения подтверждаются данными спектральных наблюдений. В частности, в составе звезд, входящих в шаровые скопления, во много раз меньше элементов тяжелее гелия, чем, например, у Солнца. Теория эволюции звезд объясняет указанное явление тем, что «старые» звезды образовались из вещества, не содержащего тяжелых элементов (такие элементы просто еще не существовали, когда формировались самые «старые» звезды!).

3. Происхождение и эволюция звезд. Звезды возникали в ходе эволюции галактик. Большинство астрономов считают, что *это происходило в результате сгущения (конденсации) облаков диффузной материи*, которые постепенно формировались внутри галактик. Одна из исходных предпосылок такой гипотезы состоит в том, что, как показывают наблюдения, «молодые» звезды всегда тесно связаны с газом и пылью. Эти звезды и диффузная материя концентрируются в спиральных ветвях галактик. Местами наиболее интенсивного звездообразования считаются массы холодного межзвездного вещества, которые называются *газово-пылевыми* комплексами. Наиболее изученный газово-пылевой комплекс нашей Галактики находится в созвездии Ориона, он включает в себя туманность в Орионе, более плотные газово-пылевые облака и другие объекты.

Представим себе холодное газово-пылевое облако. Силы тяготения сжимают его, оно принимает шарообразную форму. При сжатии будут возрастать плотность и температура облака. Возникнет будущая, рождающаяся звезда (*протозвезда*). Температура ее поверхности пока еще мала, но протозвезда уже излучает в инфракрасном диапазоне, а поэтому рождающиеся звезды можно попытаться обнаружить среди довольно многочисленных источников инфракрасного излучения. Поиски протозвезд (и протогалактик!) сейчас ведутся на многих обсерваториях.

Одно из основных отличий протозвезды от звезды заключается в том, что в протозвезде еще не происходят термоядерные реакции, т. е. в ней нет еще основного источника энергии обычных звезд. Термоядерные реакции начинаются, когда в процессе сжатия протозвезды температура в ее недрах станет порядка 10^7 К. С этого времени стадия сжатия звезды прекращается: сила внутреннего давления газа теперь уже может уравновесить силу тяготения внешних частей звезды.

Стадия сжатия звезд, массы которых значительно больше массы Солнца, продолжается всего лишь сотни ты-

сяч лет, а звезды, массы которых меньше солнечной, сжимаются сотни миллионов лет. Чем больше масса звезды, тем при большей температуре достигается равновесие. Поэтому, как вы знаете, у массивных звезд самые большие светимости.

Стадию сжатия сменяет *стационарная стадия*, сопровождающаяся постепенным «выгоранием» водорода. В стационарной стадии звезда проводит большую часть своей жизни. Именно в этой стадии эволюции находятся звезды, которые располагаются на главной последовательности диаграммы «спектр — светимость». Таких звезд, как мы знаем, больше всего. Время пребывания звезды на главной последовательности пропорционально массе звезды, так как от этого зависит запас ядерного горючего, и обратно пропорционально светимости, которая определяет темп расхода ядерного горючего. А поскольку светимость звезды пропорциональна примерно четвертой степени ее массы (с. 141), то массивные звезды, массы которых в несколько раз больше массы Солнца, эволюционируют быстрее. Они находятся в стационарной стадии только несколько миллионов лет, а звезды, подобные Солнцу, — миллиарды лет.

Когда весь водород в центральной области звезды превратится в гелий, внутри звезды образуется *гелиевое ядро*. Теперь уже водород будет превращаться в гелий не в центре звезды, а в слое, прилегающем к очень горячему гелиевому ядру. Пока внутри гелиевого ядра нет источников энергии, оно будет постепенно сжиматься и при этом еще более разогреваться. Когда температура внутри звезды превысит $1,5 \cdot 10^7$ К, гелий начнет превращаться в углерод (с последующим образованием все более тяжелых химических элементов). Как показывают расчеты, светимость и размеры звезд будут возрастать. В результате обычная звезда постепенно превратится в красного гиганта или сверхгиганта. Такие звезды, как вы знаете, занимают особое положение на диаграмме «спектр — светимость» (с. 140). Многие звезды, по-видимому, не сразу становятся стационарными гигантами, а некоторое время пульсируют, как бы проходя в своем развитии стадию цефеид (с. 148).

Заключительный этап жизни звезды, как и вся ее эволюция, решающим образом зависит от *массы* звезды. Внешние слои звезд, подобных нашему Солнцу (но с массами, не большими 1,2 массы Солнца), постепенно расширяются и в конце концов совсем покидают ядро звезды. На месте гиганта остается маленький и горячий белый карлик. Белых карликов в мире звезд много. Это значит, что, по-видимому, многие звезды превращаются в белых карликов, которые затем постепенно остывают, становясь «потухшими звездами».

Иная судьба у более массивных звезд. Если масса звезды примерно вдвое превышает массу Солнца, то такие звезды на последних этапах своей эволюции теряют устойчивость. В частности, они могут взорваться как сверхновые, *обогащая межзвездную среду тяжелыми химическими элементами* (которые образовались внутри звезды и во время ее взрыва), а затем катастрофически сжаться до размеров шаров радиусом в несколько километров, т. е. превратиться в нейтронные звезды.

Внутри звезд в ходе термоядерных реакций может образоваться до 30 химических элементов, а во время взрыва сверхновых — остальные элементы периодической системы. Из обогащенной тяжелыми элементами межзвездной среды образуются звезды *следующих поколений*. Вот почему о возрасте звезд можно судить по их химическому составу, определяемому методом спектрального анализа.

А какова судьба звезды, масса которой более чем вдвое превышает массу Солнца? Такая звезда, потеряв равновесие и начав сжиматься, либо превратится в нейтронную звезду (с. 150), либо вообще не сможет достигнуть устойчивого состояния. В процессе неограниченного сжатия (*к о л л а п с а*) она, вероятно, способна превратиться в удивительный объект — *черную дыру*. Такое странное название связано с тем, что могучее поле тяготения сжавшейся звезды не выпускает за ее пределы никакое излучение (свет, рентгеновские лучи и т. д.). Поэтому черную дыру нельзя увидеть ни в каком диапазоне электромагнитных волн. Но, как показали наши ученые, есть возможность обнаружить черные дыры. Дело в том, что черные дыры должны оказывать гравитационное воздействие на окружающие их тела. Не исключено, например, что черная дыра может быть в составе двойной звезды. Газ с поверхности обычной звезды будет непрерывно падать на черную дыру, образуя вокруг нее диск (рис. 106). Температура газа в этом вращающемся диске может достичь 10^7 К. При температуре в миллионы кельвинов газ будет излучать в рентгеновском диапазоне (см. формулу (29)). Поэтому с точки зрения поиска черных дыр интересны компактные источники рентгеновского излучения. Если такой источник обнаружен (с помощью рентгеновских телескопов на ИСЗ) и если он имеет достаточно большую массу (для выяснения этого в конечном счете используются формулы (48) и (50)), то этот источник может оказаться нейтронной звездой или даже черной дырой. Наиболее вероятным «кандидатом» считается рентгеновский источник Лебедь X-1. Открытие этих интереснейших объектов, безусловно, станет одним из важных достижений науки.

Дальнейшее развитие науки покажет, какие из сегодняшних представлений о происхождении галактик и звезд

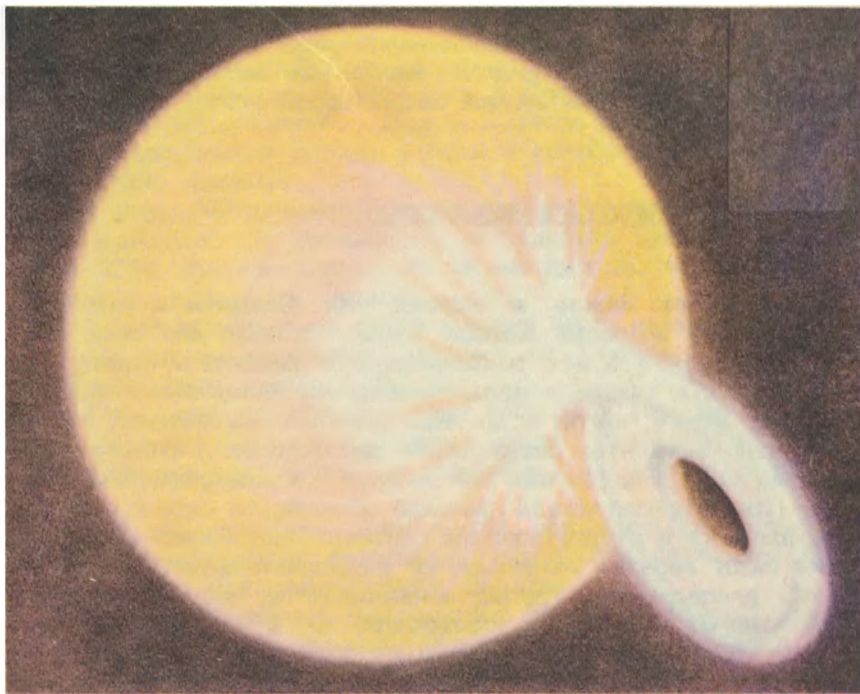


Рис. 106. Тесная двойная система звезд. Образование газового диска вокруг черной дыры.

окажутся правильными. Но уже теперь нет сомнения в том, что звезды, во-первых, подчиняясь законам природы, рождаются, живут и умирают, а не есть однажды созданные и вечно неизменные объекты Вселенной, и, во-вторых, звезды рождаются группами, причем процесс звездообразования продолжается в настоящее время.

Вопросы-задания для самоконтроля

1. Сравните круг вопросов, рассматриваемых космогонией, с тем, что составляет предмет космологии. 2*. Некоторым людям кажется, что очень просто придумать свою космогоническую гипотезу. Можете ли вы опровергнуть такое представление? 3. Всегда ли окружающий нас мегамир был таким, как сейчас? 4. Каков возраст галактик и звезд? 5. Из какого вещества образовались звезды и галактики? 6. Каковы основные этапы эволюции звезды? 7. Как влияет масса звезды на заключительные этапы ее эволюции? 7*. Проследите по диаграмме «спектр — светимость»

основные этапы эволюции звезды, подобной нашему Солнцу. 8*. Какова плотность белого карлика, масса которого равна массе Солнца, а диаметр порядка диаметра Земли? Во сколько раз она меньше плотности нейтронной звезды, масса которой $2M_{\odot}$, а радиус 10 км?

§ 32. ПРОИСХОЖДЕНИЕ ПЛАНЕТ

1. Возраст Земли и других тел Солнечной системы. Определение возраста земной коры основано на исследовании содержания в ней радиоактивных элементов (урана, тория и др.), а также радиоактивных изотопов таких элементов, как калий, аргон и др. Как известно из физики, радиоактивные элементы непрерывно распадаются, причем процесс распада совершенно не зависит от внешних воздействий. При радиоактивном распаде образуются изотопы соседних элементов периодической системы Менделеева. Эти изотопы сами нередко оказываются радиоактивными, а значит, и они распадаются. Распад заканчивается, когда атомы радиоактивных элементов превращаются в нерадиоактивные атомы химических элементов и их изотопы. Например, распад урана (^{238}U) завершается образованием нерадиоактивного изотопа свинца (^{206}Pb).

Промежуток времени (T), по истечении которого остается половина начального количества радиоактивных атомов, характеризует скорость распада и называется периодом полураспада. Для определения возраста земной коры используются медленно распадающиеся изотопы, например ^{238}U ($T \approx 4,5 \cdot 10^9$ лет), радиоактивный изотоп калия ^{40}K ($T \approx 1,3 \cdot 10^9$ лет) и др. Чтобы определить возраст земной коры, сравнивают содержание радиоактивных элементов и продуктов их распада в многочисленных пробах, взятых для анализа. Такое сравнение показывает, что возраст земной коры около 4,5 млрд. лет. Примерно таков же возраст Земли как оформившейся планеты. К 3,5—4,5 млрд. лет близок также возраст лунных пород и метеоритов. Солнце, конечно, не может быть моложе Земли и Луны. Скорее всего возраст Солнца (желтой звезды, находящейся в средней части главной последовательности диаграммы «спектр — светимость») — 5 млрд. лет. Сопоставление возраста Солнечной системы с возрастом Метагалактики (будем считать его равным 15 млрд. лет) показывает, что Солнце нельзя отнести к звездам «первого поколения». Скорее всего, в состав его и планет вошел газ, дважды побывавший в недрах более старых звезд. На ранних стадиях расширения Метагалактики, как вы уже знаете, вообще не было тяжелых химических элементов, ко-

торые впоследствии стали центрами конденсации твердых частиц, необходимых для формирования планет.

2. Основные закономерности в Солнечной системе. Космогоническая гипотеза о происхождении планет должна объяснить следующие *основные закономерности*, наблюдаемые в Солнечной системе:

а) углы наклона плоскостей орбит планет к плоскости эклиптики не превышают нескольких градусов (у Плутона 17°), причем плоскость эклиптики почти совпадает с плоскостью экватора Солнца;

б) эксцентриситеты орбит планет очень малы;

в) средние расстояния планет от Солнца подчиняются определенному закону (25);

г) планеты движутся вокруг Солнца в том же направлении, в каком Солнце вращается вокруг своей оси (в том же направлении вокруг планет обращается большинство спутников);

д) у большинства планет (за исключением Венеры и Урана) направление вращения вокруг оси совпадает с направлением обращения вокруг Солнца;

е) на долю планет приходится 98% момента количества движения всей Солнечной системы; Солнце обладает лишь 2% момента количества движения;

ж) почти 99,9% массы вещества Солнечной системы приходится на долю Солнца;

з) по своим физическим характеристикам планеты резко делятся на две группы: планеты-гиганты и планеты земной группы.

3*. Первые космогонические гипотезы. Эти гипотезы появились значительно раньше, чем стали известны многие важные закономерности Солнечной системы. Значение первых космогонических гипотез состояло прежде всего в том, что они пытались объяснить происхождение небесных тел как результат *естественного* процесса, а не одновременного акта божественного творения. Кроме этого, некоторые ранние гипотезы содержали правильные идеи о происхождении небесных тел. Такой, например, оказалась гипотеза, предложенная немецким философом *И. Кантом* в середине XVIII в. Кант высказал догадку о том, что Солнечная система образовалась из облака пыли.

Подробнее картина образования Солнечной системы вырисовывалась в гипотезе, предложенной в конце XVIII в. французским ученым *П. Лапласом*. Лаплас рассматривал большую, медленно вращающуюся туманность, состоящую из разреженного горячего газа. При сжатии туманности скорость ее вращения возрастала, туманность сплющивалась. Из ее центральной части образовалось Солнце. По мере сжатия первичного Солнца угловая скорость его вращения во-

круг оси увеличивалась (в силу закона сохранения момента количества движения) и в плоскости экватора Солнца стали отделяться газовые кольца. Из концентрической системы этих колец возникли планеты.

Картина получалась настолько наглядной, что очень долгое время гипотеза Лапласа была самой популярной. Однако в XX в. от гипотезы Лапласа пришлось отказаться, так как выяснилось, что она не может объяснить, например, распределение момента количества движения в Солнечной системе.

4. Современные представления о происхождении планет. На первый взгляд может показаться, что по сравнению с грандиозными проблемами космологии и звездной космогонии проблема происхождения Солнечной системы не очень трудна. На самом деле это не так. Проблема происхождения планет — очень сложная и далеко еще не решенная проблема, во многом зависящая от развития не только астрономии, но и многих других естественных наук (прежде всего наук о Земле). Дело в том, что пока можно исследовать только *единственную планетную систему*, окружающую наше Солнце. Как выглядят более молодые и более старые системы, вероятно, существующие вокруг других звезд, неизвестно. Чтобы правильно объяснить происхождение планет, необходимо также знать, как образовались Солнце и другие звезды, потому что планетные системы возникают вокруг звезд в результате закономерных процессов развития материи. И все-таки, несмотря на трудности, ученые убеждены в том, что правильное объяснение будет найдено. Знать, как произошла наша планета, очень важно для дальнейшего развития геофизики, геохимии, геологии и других наук о Земле.

Проблемами планетной космогонии в настоящее время занимаются ученые разных стран. В формирование современной планетной космогонии значительный вклад внесли отечественные ученые. Так, например, на протяжении полувека проблемами планетной космогонии занимался академик *В. Г. Фесенков* (1889—1972), всегда подчеркивавший, что должна существовать тесная связь между процессом формирования Солнца и процессом формирования планет. В начале 40-х гг. с космогонической гипотезой выступил академик *О. Ю. Шмидт* (1891—1956).

Наиболее важные выводы планетной космогонии сводятся к следующему:

а) Планеты сформировались в результате объединения твердых (холодных) тел и частиц, входивших в состав туманности, которая когда-то окружала Солнце (рис. 107). Эту туманность часто называют «*допланетным*» или «*протопланетным*» облаком. Считается, что Солнце и протопланетное облако сформировались *одновременно* в едином процессе,

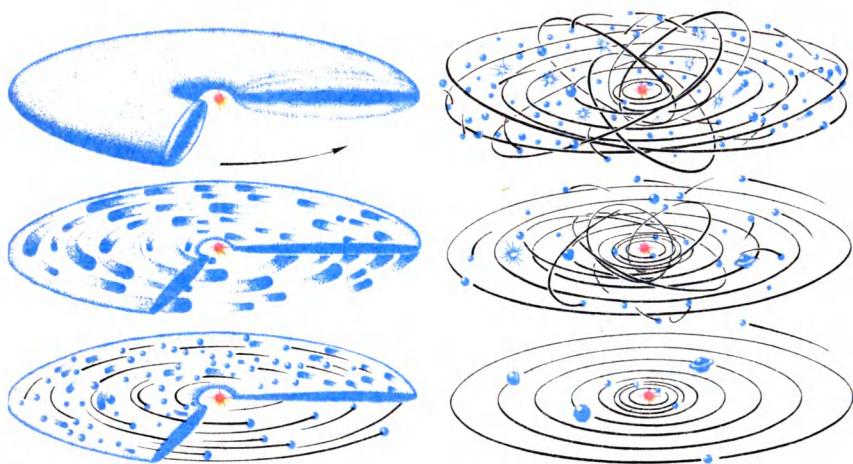


Рис. 107. Важнейшие этапы формирования планет.

хотя пока неясно, как произошло отделение части туманности, из которой возникли планеты, от «протосолнца».

б) Формирование планет происходило под воздействием различных физических процессов. Следствием *механических* процессов стало сжатие (уплощение) вращающейся туманности, ее удаление от «протосолнца», столкновение частиц, их укрупнение и т. д. Изменялась температура вещества туманности и состояние, в котором находилось вещество. Замедление вращения будущего Солнца могло быть обусловлено *магнитным полем*, связывающим туманность с «протосолнцем». Взаимодействие солнечного излучения с веществом протопланетного облака привело к тому, что наиболее *легкие и многочисленные частицы* оказались вдали от Солнца (там, где сейчас планеты-гиганты). Теория, учитывающая все эти процессы, позволяет объяснить многие закономерности в Солнечной системе.

в) Спутники планет (а значит, и наша Луна) возникли, по-видимому, из роя частиц, окружающих планеты, т. е. в конечном итоге тоже из вещества протопланетной туманности. Пояс астероидов возник там, где притяжение Юпитера препятствовало формированию крупной планеты.

Таким образом, *основная идея современной планетной космогонии сводится к тому, что планеты и их спутники образовались из холодных твердых тел и частиц.*

Земля как планета в основном сформировалась за время порядка 100 млн. лет и вначале тоже была холодной. Последующий разогрев Земли происходил в результате ударов крупных тел (размером с астероиды), гравитационного сжа-

тия, распада радиоактивных элементов и некоторых других физических процессов. Постепенно в процессе *гравитационной дифференциации вещества* (т. е. в процессе разделения вещества, состоящего из тяжелых и легких химических элементов) в центре Земли сосредоточивались тяжелые химические элементы (железо, никель и др.), из которых образовалось ядро нашей планеты. Из более легких химических элементов и их соединений возникла мантия Земли.

Кремний и другие химические элементы стали основой формирования континентов, а самые легкие химические соединения образовали океаны и атмосферу Земли. В земной атмосфере первоначально было много водорода, гелия и таких водородсодержащих соединений, как метан, аммиак, водяной пар. Со временем водород и гелий улетучились, а с появлением растений, способных «выдыхать» кислород, земная атмосфера начала обогащаться кислородом, наличие которого представляет одно из необходимых условий существования животного мира.

Вопросы-задания для самоконтроля

1. Как определяют возраст земной коры, лунных пород, метеоритов?
2. Какие закономерности в Солнечной системе должна объяснить космогоническая гипотеза?
3. Существует ли связь между проблемами звездной и планетной космогонии?
- 4*. В чем суть гипотез Канта и Лапласа?
5. В чем сложность проблем планетной космогонии?
6. Как, согласно современным представлениям, образовались Земля и другие планеты?
7. Прекратилась ли эволюция Земли и планет после завершения формирования этих небесных тел как планет Солнечной системы?

§ 33. ЖИЗНЬ И РАЗУМ ВО ВСЕЛЕННОЙ (заключительный обзор)

1*. Эволюция Вселенной и жизнь. В курсе физики вы познакомились с *физической картиной мира*. Заканчивая изучение курса астрономии, вы должны иметь представление об *астрономической картине мира*, в основе которой лежат не только данные астрономических наблюдений, теории и гипотезы, но и важнейшие понятия и законы современной физики.

Революционными вехами на пути развития астрономии были: обоснование идеи о шарообразности Земли, открытие Коперником гелиоцентрической системы мира, изобретение телескопа, открытие основных законов небесной механики, применение в астрономии спектрального анализа и фотографии, изучение структуры нашей Галактики, открытие Мета-

галактики и ее расширения, начало радиоастрономических исследований и, наконец, начало космической эры и эпохи непосредственных астрономических экспериментов в космическом пространстве. Благодаря этим открытиям постепенно вырисовывалась величественная картина мироздания, по сравнению с которой наивными сказками кажутся теперь старинные легенды о плоской Земле, неподвижно покоящейся в центре мира, и о небесной тверди с воткнутыми в нее серебряными звездами-булавками. В наши дни астрономия находится на переднем крае современного естествознания и развивается необычайно быстрыми темпами.

Астрономическая картина мира — это картина эволюционирующей Вселенной. Современная астрономия не только открыла грандиозный мир галактик, но и обнаружила явления (расширение Метагалактики, космическая распространенность химических элементов, реликтовое излучение), свидетельствующие о том, что Вселенная непрерывно эволюционирует. Эволюция Вселенной включает в себя *эволюцию вещества и эволюцию структуры*. Эволюция вещества сопровождалась понижением его температуры, плотности, образованием химических элементов. С эволюцией структуры связано возникновение сверхскоплений галактик, обособление и формирование звезд и галактик, образование планет и их спутников.

С течением времени менялась и роль физических взаимодействий в процессе эволюции Вселенной. В мире планет, звезд и галактик основную роль играет *гравитационное взаимодействие*: им обусловлено движение и в значительной степени эволюция небесных тел и их систем. Но, кроме гравитационного, существуют еще три других вида взаимодействий — *слабое*, с которым связан, например, радиоактивный распад, *сильное*, с которым связан, например, синтез ядер атомов, и *электромагнитное*, с которым связано, например, взаимодействие квантов электромагнитного излучения с электронами и другими заряженными частицами. В «горячей Вселенной», представлявшей своеобразную «лабораторию высоких энергий», при фантастических температурах (10^{28} — 10^{32} К!) различные виды физических взаимодействий ныне могут быть представлены единым взаимодействием. Исследование такой возможности представляет огромный интерес для физики и космологии, потому что *свойства Вселенной оказываются неразрывно связаны со свойствами микромира*. При температуре 10^{13} К и плотности 10^{20} кг/м³ (такими параметрами характеризовалась плазма через 10^{-6} с после «начала» расширения Метагалактики) вещество обладало свойствами, которые пока еще мало изучены. Еще меньше известно об особенностях процессов, происходивших еще раньше (при $t = 10^{-35}$ с температура в Метагалактике была $T \approx 10^{28}$ К).

Ученые предполагают, что следствием именно этих процессов стали такие фундаментальные свойства Метагалактики, как, например, ее расширение, или тот факт, что в Метагалактике небесные тела состоят из вещества, а не из антивещества.

Таким образом, *Вселенная предстает перед нами как бесконечно развертывающийся во времени и пространстве процесс эволюции материи.* В этом процессе взаимосвязанными оказываются самые разнообразные объекты и явления микромира и мегамира.

На определенном этапе эволюции материи при появлении подходящих условий во Вселенной *возникает жизнь.* Ее возникновение, существование и развитие также обусловлены рядом фундаментальных свойств Вселенной, выражающихся, например, в константах, характеризующих гравитационное, электромагнитное, слабое и сильное взаимодействия. Ученые считают, что при значениях этих констант, например гравитационной постоянной, отличающихся от наблюдаемых, жизнь во Вселенной существовать просто бы не могла. Ясно, что жизнь не могла возникнуть и на ранних стадиях расширения Метагалактики. Но именно в первые минуты расширения при температурах более 10^9 К вещество уже имело «стандартный химический состав» (около 70% ядер атомов водорода и 30% ядер гелия). Если бы состав вещества был иным, то трудно сказать, какой стала бы дальнейшая химическая эволюция вещества Метагалактики. Вы знаете, что образовавшиеся в поздних стадиях расширения Метагалактики звезды оказались не только источниками энергии, но и теми объектами Вселенной, в недрах которых синтезировались необходимые для возникновения жизни химические элементы. Для существования жизни не безразлично и то, что Метагалактика расширяется. Если бы по каким-либо причинам несколько миллиардов лет назад началось сжатие Метагалактики, то постепенное повышение температуры превысило бы значение, при котором возможно существование жизни. Уже из приведенных примеров следует, что человек может величать себя не только сыном Солнца (по образному выражению К. А. Тимирязева), но и сыном Вселенной.

2. Проблема внеземных цивилизаций. Мы живем на небольшой планете, движущейся вокруг одной из бесчисленного множества звезд Вселенной. И поэтому трудно примириться с мыслью о том, что мы одиноки в беспредельной Вселенной. Большинство современных астрономов и философов считают, что жизнь — распространенное явление во Вселенной и существует множество миров, на которых обитают цивилизации. Уровень развития некоторых внеземных цивилизаций может быть неизмеримо выше уровня развития

земной цивилизации. Именно с такими цивилизациями землянам особенно интересно установить контакт.

Подобная точка зрения основывается на следующих фактах и предположениях:

а) В Метагалактике есть огромное число звезд, похожих на наше Солнце (хотя «двойников» Солнца отыскать трудно).

б) Планеты, согласно современным представлениям, могли возникнуть не только у нашего Солнца, но и у многих других звезд.

в) Медленное вращение вокруг осей звезд определенных спектральных классов может быть связано с тем, что вокруг этих звезд существуют планетные системы.

г) Планетные системы есть, возможно, даже у некоторых из немногих ближайших к Солнцу звезд.

д) Жизнь на Земле, как вы знаете из курса биологии, появилась в результате сложной и длительной эволюции неживой материи. При соответствующих условиях жизнь могла возникнуть и на планетах других звезд. Молекулярные соединения, необходимые для начальной стадии эволюции неживой материи, достаточно распространены во Вселенной и открыты даже в межзвездной среде.

е) Не исключается возможность существования небелковых форм жизни, принципиально отличных от тех, которые распространены на Земле.

Не все ученые столь оптимистически относятся к проблеме внеземных цивилизаций. Сторонники противоположной точки зрения считают, что жизнь, и особенно разумная жизнь, — исключительно редкое, а может быть, и уникальное явление во Вселенной. При этом обращается внимание на следующее:

а) Вероятность того, что в процессе эволюции неживой материи возникает жизнь (а тем более разумная жизнь!), очень мала, так как в ходе такой эволюции появляется огромное число препятствий на пути образования и последующего усложнения живых клеток.

б) Ничего конкретного о небелковых формах жизни науке не известно.

в) В Солнечной системе высокоорганизованные формы жизни есть только на Земле. На Луне и, возможно, на Марсе, вопреки ожиданиям, не оказалось даже микроорганизмов, обладающих большой приспособляемостью к условиям обитания. Ушли в прошлое представления о каких-либо высших формах жизни на Венере и Марсе.

г) Нет ни одного неопровержимого доказательства, что Землю когда-либо посещали посланцы других миров.

д) Радиопоиски сигналов внеземных цивилизаций пока не увенчались успехом.

е) До сих пор не обнаружено никаких признаков инженерной (или какой-либо другой) деятельности внеземных цивилизаций, а это очень странно, если полагать, что внеземных цивилизаций много и некоторые из них вполне могли достигнуть высокого уровня развития.

Нередко с деятельностью внеземных цивилизаций пытаются отождествить некоторые неопознанные летающие объекты (НЛО). Появление каких-то странных объектов на небе люди наблюдали со времен египетских фараонов, но первые официальные наблюдения НЛО обычно связывают с сообщениями о появлении НЛО в конце 50-х гг. нашего века. В США и в ряде других стран, включая нашу, стали активно работать различные группы и комиссии, которые занимались сбором информации и исследованием феномена, иногда именуемого АЯ (аномальные явления). Накоплены многие тысячи наблюдений НЛО.

Эти объекты, по свидетельствам очевидцев, перемещаются по изломанным траекториям, быстро изменяют скорость движения, оказывают влияние на двигатели автомобилей, электроприборы и другие технические устройства.

Большинство аномальных явлений оказались связанными с запусками ИСЗ и различными техническими экспериментами в атмосфере, астрономическими явлениями (яркие планеты), естественными атмосферными эффектами (необычное свечение неба, редкие формы облаков и др.). Неразгаданные НЛО вызывают оживленные споры и самые экзотические гипотезы. Например, допускают, что некоторые НЛО сходны с миражами, которые могут одновременно видеть множество людей. Выдвинута гипотеза и о существовании в космосе и на Земле «параллельных миров», с которыми при определенных условиях якобы способна контактировать психика людей (что и происходит во время появления НЛО). Наконец, есть сторонники гипотезы о том, что НЛО связаны с деятельностью внеземных цивилизаций (и даже появлением на Земле различных типов «гуманоидов»). Еще раз подчеркнем, что до сих пор внеземные цивилизации относятся к числу *гипотетических объектов*, поиск которых представляет большой интерес. Причем ученые не только ищут внеземные цивилизации, но и в теоретическом плане исследуют их возможные модели. Несомненно, что внеземные цивилизации и НЛО — это не одно и то же: большинство НЛО вообще не имеет никакого отношения к внеземным цивилизациям, а настоящие внеземные цивилизации (если они существуют!) могут проявлять себя и не в виде НЛО.

Таким образом, проблема внеземных цивилизаций на самом деле сложнее, чем может показаться с первого взгляда. Можно спорить и приводить новые доводы в пользу или против реальности внеземных цивилизаций, но лишь дальней-

шие наблюдения и эксперименты позволят выяснить, существуют ли где-нибудь обитаемые миры или мы одиноки, по крайней мере, в пределах нашей Галактики. Поэтому ученые с интересом ожидают результатов начавшегося в 1992 г. американского эксперимента — «прослушивание» Вселенной с помощью нескольких телескопов, принимающих сигналы в большом диапазоне частот.

Вопросы-задания для самоконтроля

1. Какие системы небесных тел вы теперь знаете? 2. В каких формах материя встречается во Вселенной? 3. Каково наиболее распространенное состояние вещества во Вселенной? 4. Какие химические элементы наиболее распространены во Вселенной? 5. В веществе начавшейся расширяться Метагалактики не было химических элементов тяжелее гелия. В результате каких процессов возникали тяжелые элементы, из которых состоит наша планета и мы сами? 6. Основываясь на данных астрономии, приведите подтверждение того, что материя находится в непрерывном движении и изменении. 7. Докажите, что Земля и Луна продолжают эволюционировать и в настоящее время. 8. Опираясь на знания по астрономии и биологии, сформулируйте доводы в пользу (и против!) существования жизни и разума во Вселенной. 9*. В 1974 г. было отправлено в сторону шарового скопления в созвездии Геркулеса (расстояние 7000 пк) радиопослание нашим братьям по разуму. Когда земляне в лучшем случае получат ответ? 10*. Сколько времени будут лететь до ближайших звезд АМС, которые в конце XX в. покинут Солнечную систему, имея скорость около 20 км/с? 11. Сравните прошлые представления о строении Вселенной (геоцентрическая система мира, гелиоцентрическая система мира) с современными.

Что полезно знать, изучив тему «Строение и эволюция Вселенной»

1. В состав Галактики входят звезды, звездные скопления, туманности. В пространстве между звездами есть очень разреженная диффузная материя (преимущественно водород), магнитные и гравитационные поля. Межзвездное пространство пронизывают потоки космических лучей и электромагнитное излучение.

2. Солнце расположено вблизи галактической плоскости на расстоянии 10 кпк от центра Галактики, оборот вокруг которого оно совершает примерно за $2 \cdot 10^8$ лет (при скорости 250 км/с).

3. Галактика с ее спутниками, галактика в Андромеде и еще несколько ближайших к нам галактик входят в Местную группу (систему) галактик.

4. В охваченной астрономическими наблюдениями части Вселенной (Метагалактике) существуют миллиарды галактик.

5. Мир галактик чрезвычайно разнообразен: он далеко не исчерпывается спиральными, эллиптическими и неправильными галактиками.

6. Многим галактикам, например радиогалактикам, свойственны различные проявления активности (включая взрывные процессы в ядрах галактик).

7. Самые далекие объекты Вселенной — квазары, которые, вероятно, представляют собой активные ядра галактик, находящихся от нас на расстоянии в несколько миллиардов световых лет.

8. Метагалактика расширяется. Чем дальше от нас внегалактические объекты (галактики, квазары), тем с большей скоростью они удаляются (закон Хаббла).

9. Величина, обратная постоянной Хаббла, позволяет оценить промежуток времени от начала расширения Метагалактики ($\frac{1}{H} \approx 15$ млрд. лет).

10*. Согласно гипотезе «горячей Вселенной», расширение Метагалактики началось от состояния материи, характеризующегося чрезвычайно высокой плотностью и температурой. В пользу этой гипотезы свидетельствует открытие реликтового излучения и данные о распространенности химических элементов во Вселенной.

11*. На ранних стадиях расширения Метагалактики в ходе реакций, происходивших между элементарными частицами, образовались ядра атомов водорода и гелия. Более тяжелые химические элементы появлялись как продукты ядерных реакций, происходивших в недрах звезд. Эти элементы рассеивались в пространстве (например, в результате взрывов сверхновых), и из них постепенно возникали новые небесные тела (звезды, планеты).

12. Строение и эволюцию Вселенной изучает космология.

13. Используемая в космологии модель однородной и изотропной Вселенной в известной мере подтверждается наблюдениями, из которых следует, что в больших масштабах, например превышающих размеры скопления галактик, Метагалактику можно считать однородной.

14. Согласно современным представлениям, звезды образуются путем сгущения и последующей эволюции облаков газа.

15. В зависимости от массы, которой звезда обладает на конечной стадии своей эволюции, могут образовываться белые карлики, нейтронные звезды или, возможно, черные дыры.

16. Земля, Луна, а также планеты с их спутниками образовались из холодных тел и частиц, входивших в состав протопланетного облака.

17. Во Вселенной существуют и эволюционируют системы различной сложности, самые крупные из них — сверхскопления галактик.

18. Эволюционирует и Метагалактика, дальнейшая судьба которой (вечное расширение или сменяющее ее сжатие) во многом зависит от того, есть ли в ней на самом деле огромные массы какого-либо «скрытого вещества».

19. В XX в. впервые в истории человеческой цивилизации был достигнут такой уровень развития науки и техники, что появилась возможность с позиций науки подойти к исследованию проблемы жизни и разума во Вселенной. Но пока никаких признаков внеземной жизни не обнаружено.

20. Внегалактическая астрономия и космология убедительно свидетельствуют о всеобщей связи явлений и процессов в природе, о познаваемости мира и его закономерностей, о мощи разума, способного проникнуть в извечные тайны мироздания.

Что желательно уметь, изучив тему «Строение и эволюция Вселенной»

1. Вычислять по формуле (53) расстояние до галактики, скорость удаления которой известна.

2. Оценивать возраст Метагалактики по постоянной Хаббла.

3. Анализировать различные возможности эволюции Метагалактики в зависимости от средней плотности материи во Вселенной.

4. Обосновывать свою точку зрения о возможности существования внеземных цивилизаций и их контактов с нами.

5. Находить на небе звезды α Волопаса, α Девы, α Льва.

ПРИЛОЖЕНИЯ

І. Важнейшие даты в освоении космического пространства

Запуск первого в мире искусственного спутника Земли (начало космической эры)	4 октября 1957 г.
Фотографирование обратной стороны Луны («Луна-3»)	7 октября 1959 г.
Первый в мире орбитальный полет космического корабля «Восток», пилотируемого Ю. А. Гагариным, — первый полет человека в космос	12 апреля 1961 г.
Первый космический полет женщины (В. В. Терешкова; корабль «Восток-6»)	16—19 июня 1963 г.
Первый выход человека из корабля в космическое пространство (А. А. Леонов; корабль «Восход-2»)	18 марта 1965 г.
Первое фотографирование Марса с близкого расстояния (АМС «Маринер-4», США)	15 июля 1965 г.
Первая мягкая посадка на поверхность Луны («Луна-9»). Впервые с помощью телевизионной системы на Землю были переданы панорамы лунного ландшафта	3 февраля 1966 г.
Первый межпланетный перелет (Земля — Венера, АМС «Венера-3»)	16 ноября 1965 г.— 1 марта 1966 г.
Запуск первого искусственного спутника Луны («Луна-10»)	31 марта 1966 г.
Первый облет Луны с возвращением АМС на Землю («Зонд-5»)	15—21 сентября 1968 г.

Первая экспедиция на Луну (астронавты Н. Армстронг, Э. Олдрин, М. Коллинз; корабль «Аполлон-11»)	16—24 июля 1969 г.
Первая доставка лунного грунта с помощью автоматического аппарата («Луна-16»)	12—24 сентября 1970 г.
Первая доставка на Луну самоходной лаборатории «Луноход-1» («Луна-17»)	17 ноября 1970 г.
Первая мягкая посадка космического аппарата на поверхность Венеры («Венера-7»)	15 декабря 1970 г.
Первая долговременная орбитальная научная станция («Салют»)	19 апреля— 12 октября 1971 г.
Первая мягкая посадка на поверхность Марса («Марс-3»)	2 декабря 1971 г.
Первое фотографирование Юпитера с близкого расстояния (АМС «Пионер-10», США)	Ноябрь—декабрь 1973 г.
Первое фотографирование Меркурия с близкого расстояния (АМС «Маринер-10», США)	30 марта 1974 г.
Первый международный космический полет — «Союз-19» (космонавты А. Леонов и В. Кубасов) и «Аполлон» (астронавты США — Т. Стаффорд, В. Бранд, Д. Слейтон)	15—21 июля 1975 г.
Передача первых телевизионных изображений поверхности Венеры (АМС «Венера-9» и «Венера-10»)	22 и 25 октября 1975 г.
Создание первого пилотируемого орбитального научно-исследовательского комплекса «Союз-27» — «Салют-6» — «Союз-26»	11 января 1978 г.
Первая американская научная орбитальная пилотируемая станция («Скайлэб»)	14 мая 1973 г.— 11 июля 1979 г.
Передача первых серий радиолокационных изображений поверхности Венеры (АМС «Венера-15», «Венера-16»)	1983—1984 гг.
Получение первых фотографий ядра кометы (комета Галлея, «Вега-1»)	9 марта 1986 г.

Рекордный по длительности космический полет (1 год) В. Г. Титова и М. Х. Манарова (научная станция «Мир», выведенная на околоземную орбиту 20 февраля 1986 г.) (рис. 108).

21 декабря 1987 г.—

21 декабря 1988 г.

Сближение АМС «Вояджер-2» (США), запущенной к Юпитеру 20 августа 1977 г., с Юпитером — июль 1979 г., Сатурном — август 1981 г., Ураном — январь 1986 г., Нептуном — август 1989 г. (фотографирование

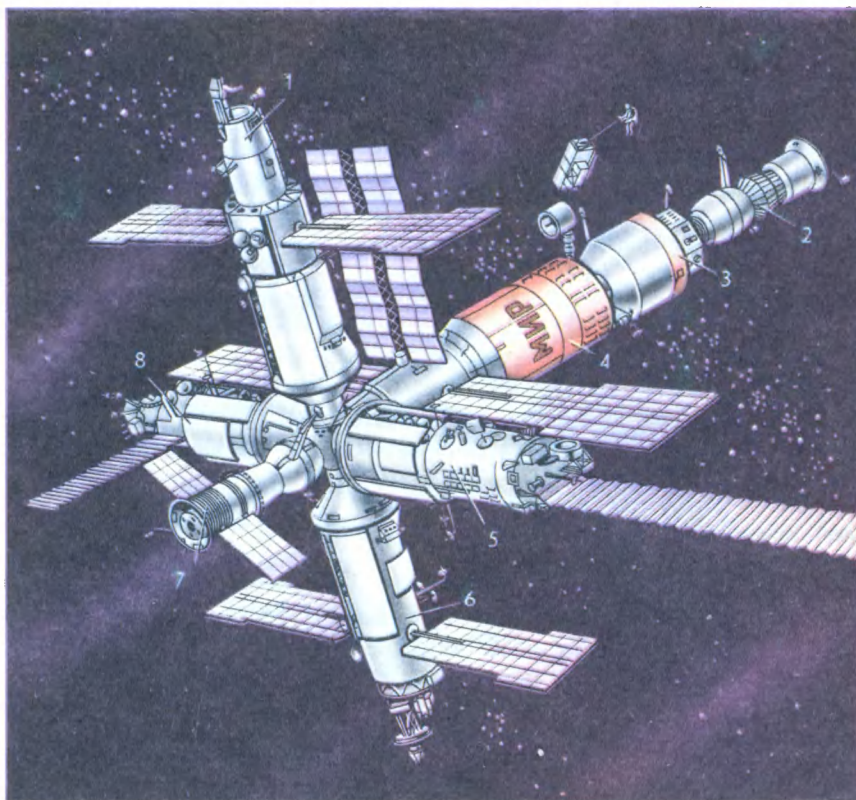


Рис. 108. «Мир» — долговременная орбитальная станция (Россия):

1 — модуль «Квант-2»; 2 — КК «Союз»; 3 — модуль «Квант»; 4 — станция «Мир»; 5 — модуль «Природа»; 6 — модуль «Спектр»; 7 — корабль «Прогресс»; 8 — модуль «Кристалл».

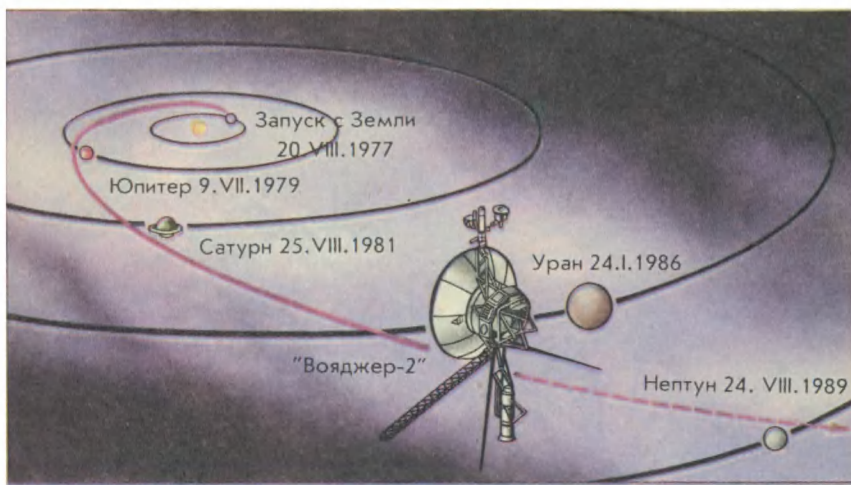


Рис. 109. Траектория движения «Вояджера-2».

этих планет, их спутников и колец) (рис. 109)

1979—1989 гг.

Выведение с помощью «Спейс Шаттла» на околоземную орбиту американского телескопа имени Хаббла (рис. 110)

25 апреля 1990 г.

Получение первых фотографий поверхности астероида (Гаспра, АМС «Галилео», США)

29 октября 1991 г.

Новая радиолокационная съемка поверхности Венеры (АМС «Магеллан», старт с помощью корабля «Спейс Шаттл» 4 мая 1989 г.)

1990—1995 гг.(?)

II. Подвижная карта звездного неба (ПКЗН)

Эта карта (она есть в «Школьном астрономическом календаре») поможет вам изучить звездное небо. Карту и накладной круг наклейте на картон. Вырез в накладном круге сделайте в соответствии с географической широтой места наблюдения. Например, для Москвы (ее широта $55^{\circ}45'$) вырез можно сделать по линии с отметками 55° . Если отмеченный на накладном круге час наблюдения расположить против даты, указанной на звездной карте, то в вырезе накладного круга окажутся созвездия, которые в данное время видны на

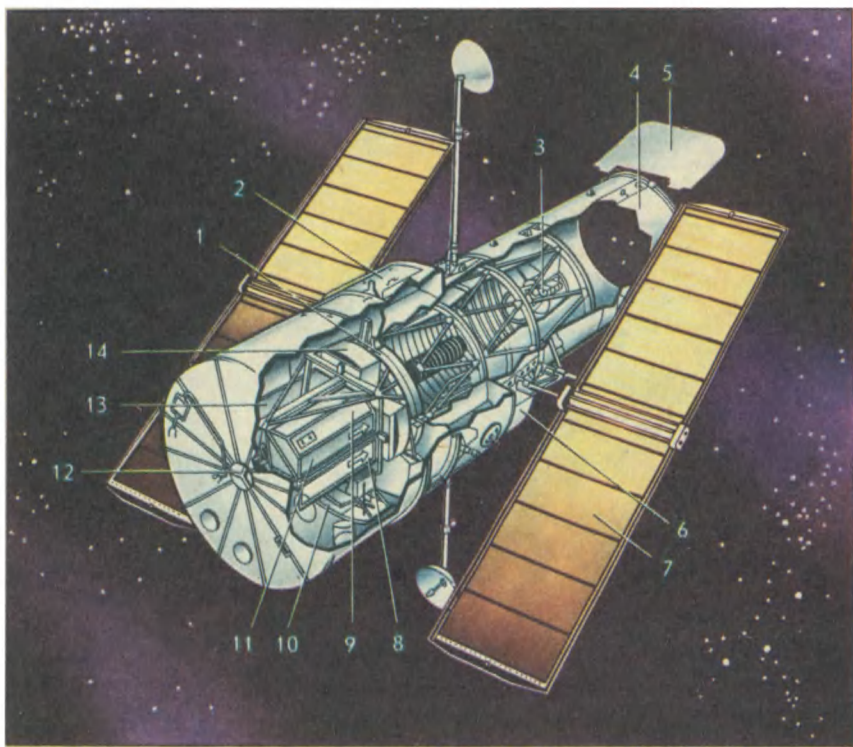


Рис. 110. Космический телескоп имени Хаббла — КТХ (США):

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 тонкого гидирования.

небе. Края выреза накладного круга отмечают горизонт (на нем обозначены точки севера, юга, востока и запада). Центр выреза соответствует точке над головой наблюдателя — зениту. Более подробное описание ПКЗН и рекомендации по работе с ней есть в «Школьном астрономическом календаре».

III. «Школьный астрономический календарь» (ШАК)

Такой календарь выпускается на каждый учебный год. В нем вы найдете сведения о различных астрономических яв-

лениях, которые можно наблюдать в интересующее вас время. Приобретите ШАК и познакомьтесь с его содержанием. Особое внимание уделите информации, содержащейся в первом разделе «Календаря-справочника наблюдателя», где сообщается о различных предстоящих астрономических явлениях в данном учебном году. Например, узнав, что сегодня вечером видна планета Марс, вы можете уточнить, в каком созвездии нужно искать эту планету. А подвижная карта звездного неба поможет вам отыскать это созвездие на небе и определить условия его видимости. ШАК содержит и другие разделы, которые наверняка заинтересуют многих из вас.

IV. Основные сведения о Земле

Экваториальный радиус	6378,16 км
Полярный радиус	6356,78 км
Средний радиус	6371 км
Сжатие	1 : 298,25
Масса	$6 \cdot 10^{24}$ кг
Средняя плотность	$5,5 \cdot 10^3$ кг/м ³
Средняя скорость орбитального движения	29,8 км/с
Ускорение свободного падения (для $\varphi = 45^\circ$)	9,8 м/с ²
Первая космическая скорость	7,9 км/с
Вторая космическая скорость	11,2 км/с
Третья космическая скорость (минимальная скорость, необходимая для полета за пределы Солнечной системы)	16,7 км/с
Наклон плоскости экватора к плоскости орбиты	23° 26′
Период вращения (по отношению к звездам)	23 ^ч 56 ^м
Продолжительность солнечных суток	24 ^ч

V. Основные сведения о Луне

Среднее расстояние от Земли	384 400 км
Сидерический период обращения	27,3 ^д
Период вращения вокруг оси	27,3 ^д
Синодический период обращения	29,5 ^д
Эксцентриситет орбиты	0,05
Наклонение орбиты к плоскости эклиптики	5,1°
Средняя орбитальная скорость	1,03 км/с
Наибольший видимый угловой диаметр	33′40″
Линейный диаметр	3476 км
Масса (масса Земли — $M_\oplus = 1,0$)	$7,35 \cdot 10^{22}$ кг (0,012 M_\oplus)

Средняя плотность	$3,3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$
Ускорение свободного падения на поверхности	$1,62 \text{ м/с}^2 \text{ (} 0,16 g_{\oplus} \text{)}$
Вторая космическая скорость (параболическая)	$2,4 \text{ км/с}$

VI. Основные сведения о Солнце

Горизонтальный параллакс	$8,794''$
Среднее расстояние от Земли	$1,496 \cdot 10^8 \text{ км}$
Наибольший видимый угловой диаметр	$32'31''$
Линейный диаметр	$1,39 \cdot 10^6 \text{ км (} 109 D_{\oplus} \text{)}$
Масса	$2 \cdot 10^{30} \text{ кг (} 333\,000 M_{\oplus} \text{)}$
Средняя плотность	$1,4 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$
Ускорение свободного падения	$274 \text{ м/с}^2 \text{ (} 27,9 g_{\oplus} \text{)}$
Вторая космическая скорость на поверхности	620 км/с
Линейная скорость точек на экваторе Солнца	2 км/с
Период вращения точек экватора (сидерический период вращения экваториальной зоны)	$25,4^{\text{д}}$
Синодический (наблюдаемый с Земли) период вращения точек экватора	$27,3^{\text{д}}$
Температура фотосферы	$6 \cdot 10^3 \text{ К}$
Температура солнечной короны	$1,5 \cdot 10^6 \text{ К}$
Температура в центральных областях	$1,5 \cdot 10^7 \text{ К}$
Солнечная постоянная	$1,4 \text{ кВт/м}^2$
Светимость	$3,8 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$
Видимая звездная величина Солнца	$-26,8^{\text{m}}$
Абсолютная звездная величина Солнца	$+4,8^{\text{m}}$
Спектральный класс	$G2$
Средняя продолжительность цикла солнечной активности	11 лет
Расстояние от Солнца до центра Галактики	$10^4 \text{ пк} \approx 3,3 \cdot 10^4 \text{ св. лет}$
Скорость движения Солнца вокруг центра Галактики	250 км/с
Период обращения Солнца вокруг центра Галактики	$2 \cdot 10^8 \text{ лет}$

VII. Основные сведения о планетах

Название планет и ее обозначение	Среднее расстояние от Солнца, а. е.	Сидерический период, годы	Эксцентриситет орбиты	Орбитальная скорость, км/с	Средний радиус, км	Наклон оси к плоскости орбиты, °	Период вращения	Средняя плотность, 10^3 кг/м^3	Ускорение свободного падения, м/с^2	Вторая космическая скорость, км/с	Масса, в массах Земли ($M_{\oplus}=6 \cdot 10^{24} \text{ кг}$)	Число спутников	Наличие атмосферы
Меркурий ☿	0,39	0,24	0,206	47,9	2 440	89	58,7 ^д	5,5	3,7	4,2	0,06	—	Следы
Венера ♀	0,72	0,61	0,007	35,0	6 050	−86,6	243,1 ^д	5,2	8,9	10,4	0,82	—	Очень плотная
Земля ⊕, ♂	1,00	1,00	0,017	29,8	6 371	66,5	23 ^ч 56 ^м 4 ^с	5,5	9,8	11,2	1,0	1	Плотная
Марс ♂	1,52	1,88	0,093	24,1	3 397	65,5	24 ^ч 37 ^м 22 ^с	3,9	3,7	5,0	0,11	2	Разреженная
Юпитер ♃	5,20	11,86	0,048	13,1	69 900	87	9 ^ч 50 ^м	1,3	25,8	60,4	318	16	Очень плотная
Сатурн ♄	9,54	29,46	0,054	9,6	58 000	63,5	10 ^ч 14 ^м	0,7	11,3	36,2	95,2	17	♦
Уран ♅	19,19	84,02	0,046	6,8	25 400	−8	10 ^ч 49 ^м	1,4	9,0	21,4	14,6	16	♦
Нептун ♆	30,07	164,78	0,008	5,4	24 300	61	15 ^ч 48 ^м	1,6	11,6	23,8	17,2	8	♦
Плутон ♇ PL	39,52	247,7	0,253	4,7	1 140	15(?)	6,4 ^д	2,0	0,6?	1,2?	0,002	1	Обнаружена в 1988 г.

VIII. Важнейшие параметры атмосфер планет земной группы

Планета	Земля	Венера	Марс
Основной химический состав (в % ко всему объему газовой оболочки)	N_2 78 O_2 21 Ar 0,93 H_2O 0,1—1 CO_2 0,03	CO_2 95 N_2 3—5 Ar 0,01 H_2O 0,01—0,1 $O_2 < 5 \cdot 10^{-4}$	CO_2 95 N_2 2—3 Ar 1—2 H_2O 10^{-3} — 10^{-1} O_2 0,1—0,4
Давление у поверхности (давление у поверхности Земли принято за единицу)	1	90	$6 \cdot 10^{-3}$
Температура у поверхности (в средних широтах) T_{max} К T_{min} К	310 240	735 735	270 200

IX. Названия наиболее ярких звезд

Альдебаран	α Тельца	Кастор	α Близнецов
Альтаир	α Орла	Поллукс	β Близнецов
Антарес	α Скорпиона	Полярная	α М. Медведицы
Арктур	α Волопаса	Процион	α М. Пса
Бетельгейзе	α Ориона	Регул	α Льва
Вега	α Лиры	Ригель	β Ориона
Денеб	α Лебедя	Сириус	α Б. Пса
Капелла	α Возничего	Спика	α Девы

Х. Основные сведения о наиболее ярких звездах, видимых в России

№ п/п	Наименование звезды	Экваториальные координаты		Видимая звездная величина, <i>m</i>	Спектральный класс	Температура, <i>K</i>	Светимость ($L_{\odot}=1$)	Масса ($M_{\odot}=1$)	Радиус ($R_{\odot}=1$)	Расстояние, св. год
		прямое восхождение, α	склонение, δ							
1	Альдебаран	04 ^h 34 ^m	+16°28'	1,06	K5	3 500	160	5	45	68
2	Альтаир	19 ^h 49 ^m	+08°48'	0,9	A5	8 400	10	2	1,6	16
3	Антарес	16 ^h 28 ^m	-26°23'	1,2	M0	3 100	9 100	19	750	360
4	Арктур	14 ^h 14 ^m	+19°19'	0,2	K0	4 100	105	4	26	36
5	Ветельгейзе	05 ^h 53 ^m	+07°24'	0,9	M0	3 100	22 100	20	900	650
6	Вега	18 ^h 36 ^m	+38°47'	0,1	A0	10 600	52	3	3	27
7	Денеб	20 ^h 40 ^m	+45°10'	1,3	A2	9 800	16 000	15	50	820
8	Капелла	05 ^h 14 ^m	+45°58'	0,2	G0	5 200	142	3	16	45
9	Кастор	07 ^h 33 ^m	+31°57'	2,0	A0	10 400	26	3	2,5	45
10	Поллукс	07 ^h 43 ^m	+28°05'	1,2	K0	4 600	33	3,5	11	35
11	Полярная	02 ^h 07 ^m	+89°09'	2,1	F8	6 200	5 100	10	70	650
12	Процион	07 ^h 38 ^m	+05°17'	0,5	F5	6 900	11	1,5	2	11
13	Регул	10 ^h 07 ^m	+12°05'	1,3	B8	13 200	154	5	4	84
14	Ригель	05 ^h 13 ^m	-08°14'	0,3	B8	12 800	79 000	20	90	1 100
15	Сириус	06 ^h 44 ^m	-16°41'	-1,6	A0	10 400	22	3	1,7	8,7
16	Спика	13 ^h 23 ^m	-11°02'	1,25	B2	16 800	750	15	7	160

XI. Примерные темы рефератов

1. Развитие представлений о Вселенной.
2. Важнейшие достижения в освоении космоса.
3. Земля — планета Солнечной системы.
4. Природа Венеры и Марса.
5. Кометы и их природа.
6. Солнце и жизнь Земли.
7. Что такое звезды.
8. Мир галактик.
9. Как и зачем человек познает Вселенную.
10. Одиноки ли мы во Вселенной?

XII. Список рекомендуемой литературы

А. Свои знания по разным вопросам астрономии и космонавтики, а также по истории этих наук вы сумеете пополнить, прочитав книги:

В о р о н ц о в - В е л ь я м и н о в Б. А. Очерки о Вселенной. — М.: Наука, 1980.

В о р о н ц о в - В е л ь я м и н о в Б. А. Галактики, туманности и взрывы во Вселенной. — М.: Просвещение, 1967.

Б р о н ш т э н В. А. Гипотезы о звездах и Вселенной. — М.: Наука, 1974.

Г у р ш т е й н А. А. Извечные тайны неба. — М.: Просвещение, 1991.

Г у р е в и ч Л. Э., Ч е р н и н А. Д. Происхождение галактик и звезд. — М.: Наука, 1983.

Д а г а е в М. М. Книга для чтения по астрономии. — М.: Просвещение, 1980.

Е ф р е м о в Ю. Н. В глубины Вселенной. — М.: Наука, 1984.

З и г е л ь Ф. Ю. Лунные горизонты. — М.: Просвещение, 1976.

К о н о н о в и ч Э. В. Солнце — дневная звезда. — М.: Просвещение, 1982.

К л и м и ш и н И. А. Элементарная астрономия. — М.: Наука, 1991.

Л е в а н т о в с к и й В. И. Механика космического полета в элементарном изложении. — М.: Наука, 1980.

Л е в и т а н Е. П. Астрофизика — школьникам. — М.: Просвещение, 1977.

Л е в и т а н Е. П. Физика Вселенной. — М.: Наука, 1976.

Л е в и т а н Е. П. Эволюционирующая Вселенная. — М.: Просвещение, 1993.

Марленский А. Д. Основы космонавтики. — М.: Просвещение, 1985.

Навашин М. С. Телескоп астронома-любителя. — М.: Наука, 1979.

Новиков И. Д. Как взорвалась Вселенная. — М.: Наука, 1988.

Шкловский И. С. Вселенная, жизнь, разум. — М.: Наука, 1980.

Б. Советы и рекомендации по поводу выполнения астрономических наблюдений, а также необходимый справочный материал и карты вы найдете в следующих книгах и пособиях:

Школьный астрономический календарь на 1994/95 учебный год. — М.: Просвещение, 1994.

Куликовский П. Г. Справочник любителя астрономии. — М.: Наука, 1971.

Максимачев Б. А., Комаров В. Н. В звездных лабиринтах. — М.: Наука, 1978.

Дагаев М. М. Наблюдения звездного неба. — М.: Наука, 1988.

Зигель Ф. Ю. Сокровища звездного неба. — М.: Наука, 1980.

Цесевич В. П. Что и как наблюдать на небе. — М.: Наука, 1984.

Марленский А. Д. Учебный звездный атлас. — М.: Просвещение, 1970.

Энциклопедический словарь юного астронома. — М.: Педагогика, 1986.

Раздел «Любителям астрономии» в журнале «Наука и жизнь».

В. Сведения о новейших достижениях в области астрономии, космонавтики и наук о Земле регулярно публикуются в научно-популярном журнале Российской Академии наук «Земля и Вселенная». Эти сведения пригодятся вам и при работе над рефератами.

Г. Тем, кто любит решать задачи, рекомендуем «Сборник задач по астрономии» Б. А. Воронцова-Вельяминова (М.: Просвещение, 1980).

СОДЕРЖАНИЕ

Как работать с учебником	3
------------------------------------	---

I. ВВЕДЕНИЕ В АСТРОНОМИЮ

§ 1. Предмет астрономии	5
§ 2. Звездное небо	12
§ 3. Изменение вида звездного неба в течение суток	15
§ 4. Изменение вида звездного неба в течение года	19
§ 5. Способы определения географической широты	22
§ 6. Основы измерения времени	26

II. СТРОЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

§ 7. Видимое движение планет	31
§ 8. Развитие представлений о Солнечной системе	35
§ 9. Законы Кеплера — законы движения небесных тел	40
§ 10. Обобщение и уточнение Ньютоном законов Кеплера	43
§ 11. Определение расстояний до тел Солнечной системы и размеров этих небесных тел	47

III. ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

§ 12. Система «Земля — Луна»	54
§ 13. Природа Луны	60
§ 14. Планеты земной группы	67
§ 15. Планеты-гиганты	80
§ 16. Астероиды и метеориты	91
§ 17. Кометы и метеоры	95

IV. СОЛНЦЕ И ЗВЕЗДЫ

§ 18. Общие сведения о Солнце	103
§ 19. Строение атмосферы Солнца	109
§ 20. Источники энергии и внутреннее строение Солнца	118
§ 21. Солнце и жизнь Земли	122
§ 22. Расстояния до звезд	127
§ 23. Пространственные скорости звезд	132
§ 24. Физическая природа звезд	135
§ 25. Связь между физическими характеристиками звезд	139
§ 26. Двойные звезды	142
§ 27. Физические переменные, новые и сверхновые звезды	146

V. СТРОЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ

§ 28. Наша Галактика	154
§ 29. Другие галактики	161
§ 30. Метагалактика	167
§ 31. Происхождение и эволюция галактик и звезд	177
§ 32. Происхождение планет	182
§ 33. Жизнь и разум во Вселенной (заключительный обзор)	186

<i>Приложения</i>	194
I. Важнейшие даты в освоении космического пространства	—
II. Подвижная карта звездного неба (ПКЗН)	197
III. Школьный астрономический календарь (ШАК)	198
IV. Основные сведения о Земле	199
V. Основные сведения о Луне	—
VI. Основные сведения о Солнце	200
VII. Основные сведения о планетах	201
VIII. Важнейшие параметры атмосфер планет земной группы . . .	202
IX. Названия наиболее ярких звезд	—
X. Основные сведения о наиболее ярких звездах, видимых в Рос- сии	203
XI. Примерные темы рефератов	204
XII. Список рекомендуемой литературы	—



Учебно — научный центр
заочного обучения

**"МОСКОВСКИЙ
ЛИЦЕЙ"**
— почтой

- серьезное и современное образование;
- обучение по любому предмету по вашему выбору — увлекательные пособия и разнообразные тесты;
- информативные справочники для любого экзамена;
- заочный бизнес-курс для тех, кто хочет стать коммерсантом.

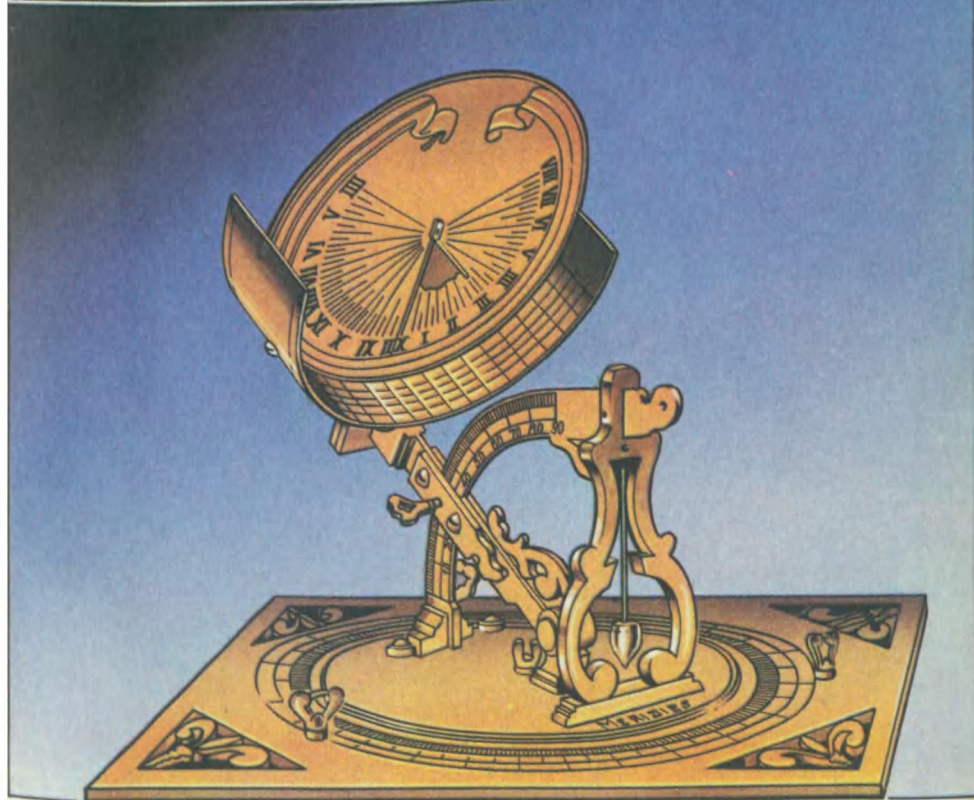
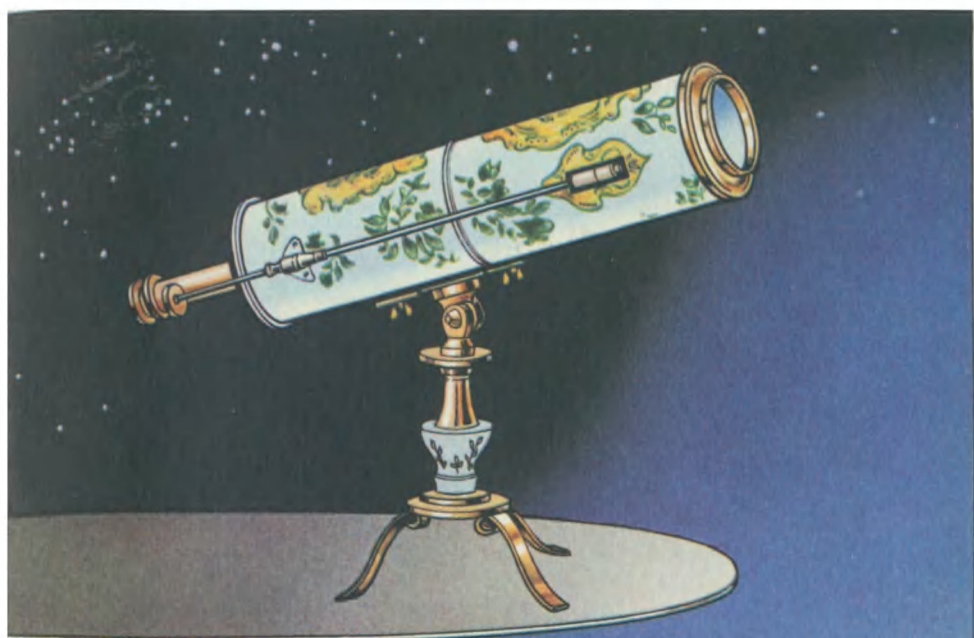
Начните учиться прямо сейчас!

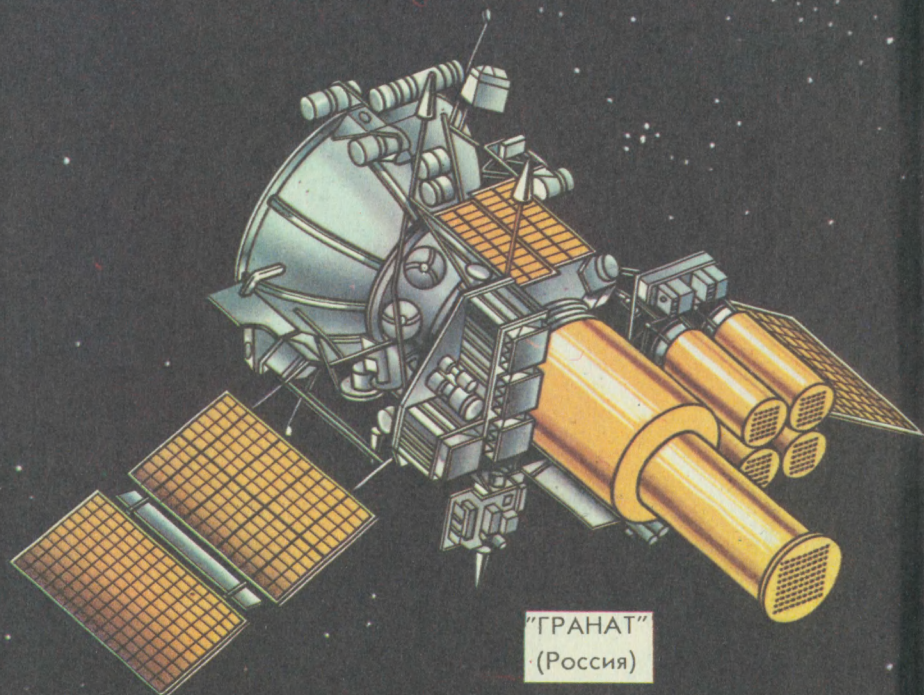
Обратитесь по адресу:

**125190, Москва, а/я 140,
"Московский Лицей".**

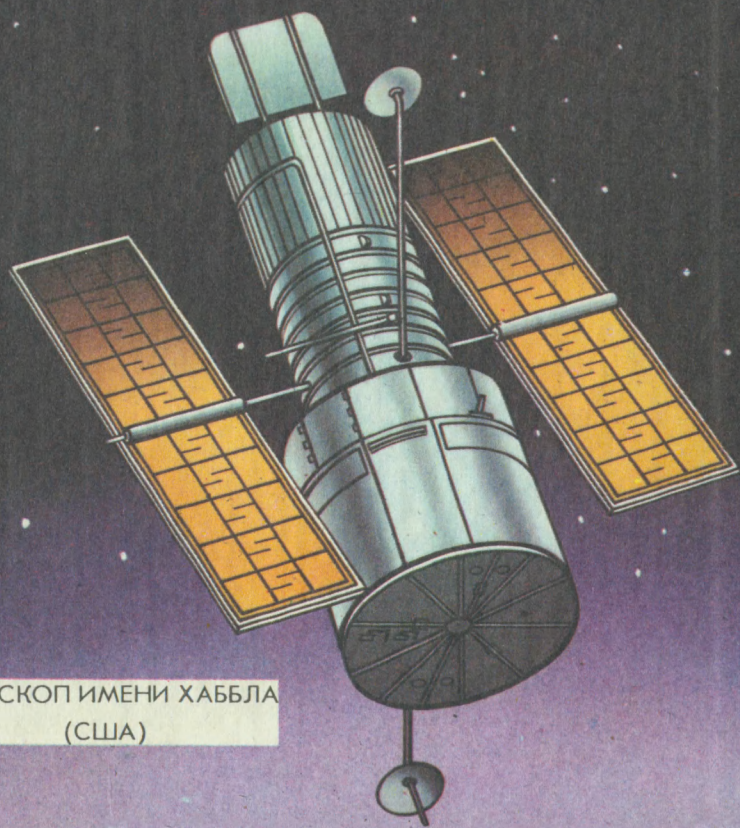
Не забудьте вложить конверт с Вашим обратным адресом. Подробная информация об учебных программах, порядке и условиях заочного обучения в "Московском Лицее" высылается **БЕСПЛАТНО** в течение всего учебного года.

Тел. 188-59-71





"ГРАНАТ"
(Россия)



ТЕЛЕСКОП ИМЕНИ ХАББЛА
(США)

