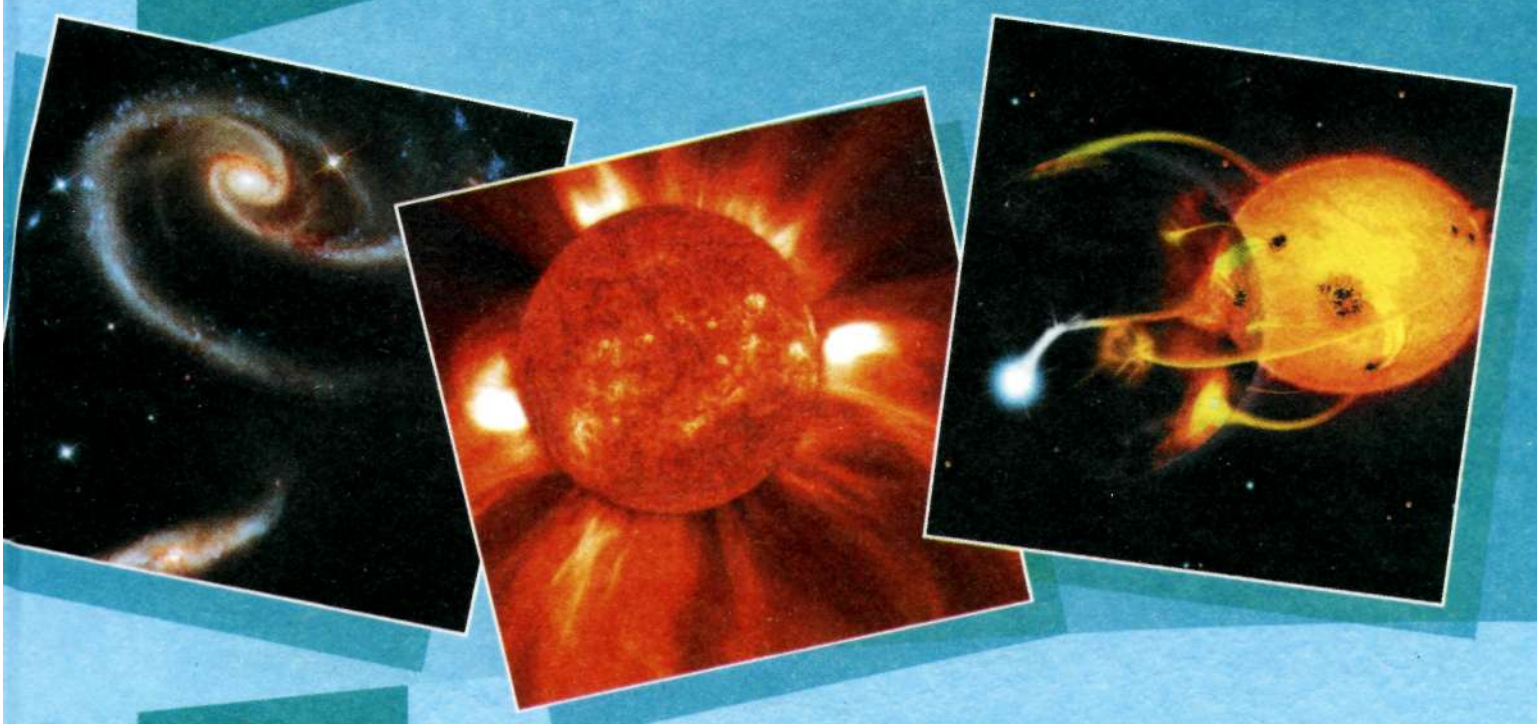
Н. П. Пришляк

АСТРОНОМИЯ

11

Уровень стандарта
Академический уровень



ИЗДАТЕЛЬСТВО
РАНОК

ББК 74.262.26я721
П75

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(Наказ № 236 від 16.03.2011 р.)

Автор:
М. П. Пришляк — професор кафедри фізики Харківського національного педагогічного університету ім. Григорія Сковороди

Наукову експертизу проводила
Головна астрономічна обсерваторія НАН України.

Психолого-педагогічну експертизу проводив
Інститут педагогіки НАПН України

Пришляк М. П.
П75 Астрономія: 11 кл.: підручник для загальноосвіт. навч. закл.: рівень стандарту, академічний рівень / М. П. Пришляк; за заг. ред. Я. С. Яцківа. — Х.: Вид-во «Ранок», 2011.— 160 с: іл. — Рос. мовою.
ISBN 978—617—540—423—2.

Підручник відповідає вимогам «Державного стандарту базової і повної середньої освіти» та навчальній програмі з астрономії для 11-річної ніколи.

Основна мета підручника — сприяти формуванню базових астрономічних знань, показати їх необхідність для розуміння навколишнього світу.

ББК 74.262.26я721

ISBN 978—617—540—423—2

© М. П. Пришляк, 2011
© ТОВВидавництво «Ранок», 2011

Предисловие

Юные друзья!

Вы начинаете изучение одной из наиболее давних и интересных наук — астрономии, которая исследует природу, происхождение и эволюцию как отдельных небесных тел, так и Вселенной в целом. В учебнике вы осуществите своеобразные космические путешествия сквозь пространство и время. В каждом из разделов вас ждут новые открытия.

Раздел «Что изучает астрономия?» рассматривает историю зарождения науки астрономии и эволюцию представлений человека о Вселенной.

В разделах «Основы практической астрономии» и «Измерение времени и календарь» вы научитесь распознавать созвездия на ночном небе, при помощи небесных светил ориентироваться на местности и измерять время.

В ходе изучения «Законов движения планет» и «Основ космонавтики» вы выучите основные законы «небесной механики», ведь все космические тела, спутники и космические корабли двигаются согласно *закону всемирного тяготения,* который вы изучали в курсе физики. Вы узнаете, какой весомый вклад в освоение космоса сделали выдающиеся украинские ученые.

Из астрофизических разделов вы узнаете, какие физические условия существуют на поверхности планет Солнечной системы, почему вокруг планет существуют кольца, как рождаются новые звезды и превращаются в пыль планетные системы.

Кроме того, в учебнике вы найдете ответы на такие интересные вопросы:

- Существовала ли между Юпитером и Марсом планета Фаэтон?
- Почему 65 млн лет тому назад погибли динозавры?
- Что влияет на изменения климата на Земле?
- Сколько времени еще будет светить Солнце?
- Можем ли мы долететь до черной дыры?
- Что угрожает существованию земной цивилизации?

  Существуют ли во Вселенной «тёмная энергия» и «темная материя»?

К каждому разделу прилагаются тесты, проверочные вопросы и астрономические задачи.

В учебнике вы найдете сведения о телескопах, при помощи которых ученые исследуют поверхность Луны, спутники Юпитера, кольца Сатурна, а также наблюдают галактики, расположенные на расстоянии десятков миллионов световых лет от Земли.

В учебнике представлены электронные адреса астрономических обсерваторий Украины и других стран мира. С помощью сети Интернет можно получить фото небесных светил, сделанные не только телескопами с поверхности Земли, но и с помощью космического телескопа Хаббла (http://www.stsci.edu/hst/).

Условные обозначения

Вопросы, тесты и задачи

Для любознательных

Диспуты на предложенные темы

Ключевые понятия и термины

Задания для наблюдений

Выводы

Обращаем особое внимание на то, что во время астрономических наблюдений нельзя смотреть на Солнце ни в телескоп, ни невооруженным глазом.

§ 1. Что изучает астрономия?

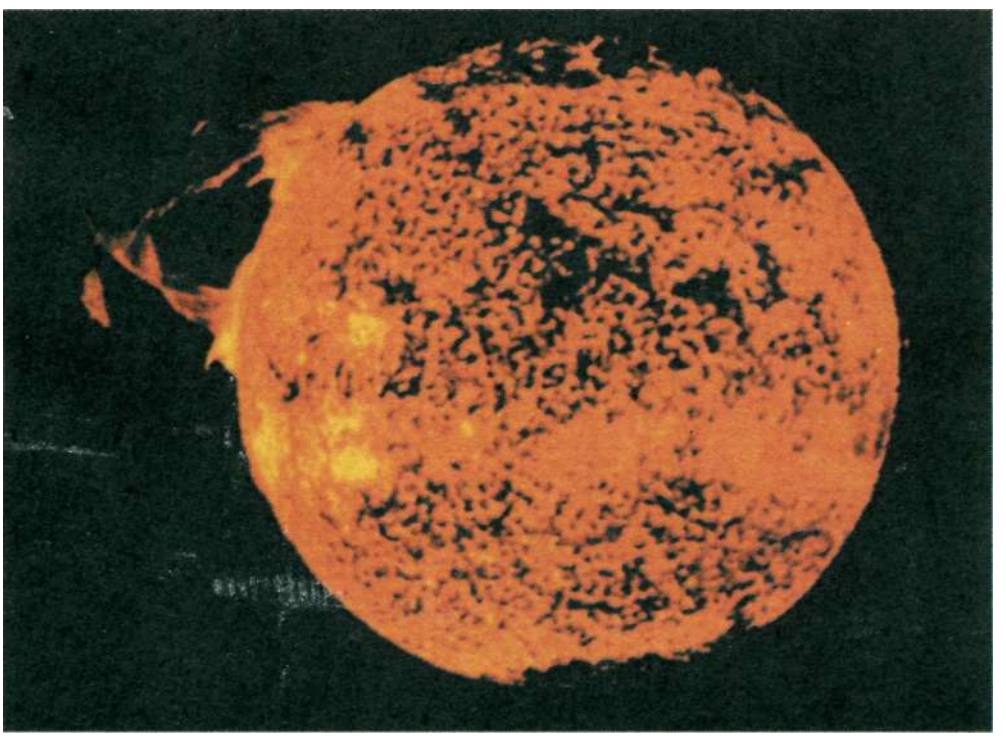
Изучив этот параграф, мы узнаем:

о далеких космических светилах и представим себе огромные масштабы Вселенной, в которой мы живем;

где находится наша планета во Вселенной и определим наш космический адрес.

Предмет астрономии

Название *астрономия* заимствовано из греческого языка *(astron* — звезда, *nomos* — закон), то есть это наука, изучающая законы звезд. Сейчас известно, что во Вселенной кроме звезд (рис. 1.1) существует много других космических тел и их комплексов — планет, астероидов, комет, галактик, туманностей. Поэтому астрономы изучают все объекты, находящиеся за пределами Земли, и их взаимодействие между собой. Слово *космос* в переводе с греческого означает порядок, в отличие от *хаоса,* где царит беспорядок. То есть древнегреческие ученые понимали, что во Вселенной действуют законы, поэтому на небе существует определенный порядок. В наше время под словом *космос* мы представляем себе *Вселенную.* В современной астрономии используются различные методы исследования Вселенной. Астрономы не только собирают информацию о далеких мирах, изучая излучение, поступающее из космоса на поверхность Земли, но и проводят эксперименты в ближнем и дальнем космическом пространстве.



Вселенная в широком смысле этого слова — все сущее, находящееся на Земле и за ее пределами.

Рис. 1.1. Звезда — массивное горячее космическое тело, которое излучает свет и имеет внутри источник энергии. (Фотография Солнца)

2 Краткая история астрономии

Издавна небо поражало воображение людей своей загадочностью, но много веков оставалось для них недоступным и потому священным. Фантазия людей населила небо богами, управляющими миром и решающими судьбу каждого человека. Ночью призрачное сияние звезд завораживало людей, поэтому древние астрономы объединили отдельные звезды в фигуры людей и животных — так появились названия созвездий. Затем были замечены светила, движущиеся среди звезд,— их назвали планетами (с греч.— блуждающая; рис. 1.2).

Первые попытки объяснить таинственные небесные явления были предприняты в Древнем Египте более 4000 лет назад и в Древней Греции еще до начала нашей эры. Египетские жрецы составили первые карты звездного неба (рис. 1.3), дали названия планетам.

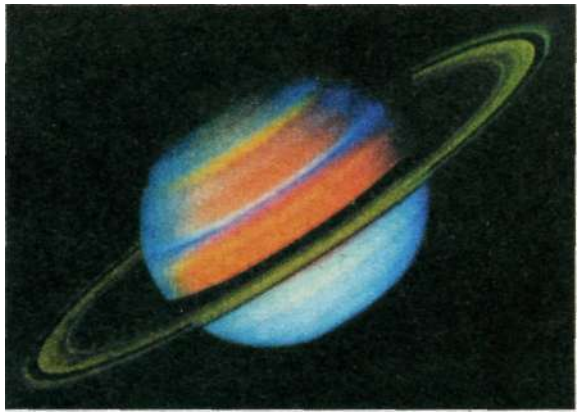


Рис. 1.2. Планета — холодное по сравнению со звездой космическое тело, которое обращается вокруг звезды и светится ее отраженными лучами

Великий древнегреческий философ и математик Пифагор в VI в. до н. э. выдвинул идею, что Земля имеет форму шара и «висит» в пространстве, ни на что не опираясь. Астроном Гиппарх во II в. до н. э. определил расстояние от Земли до Луны и открыл явление *прецессии* оси обращения Земли.

Древнегреческий философ Клавдий Птолемей (рис. 1.4) во II в. н. э. создал **геоцентрическую** систему мира, в которой Земля находится в центре. Землю в пространстве окружают 8 сфер, на которых расположены Луна, Солнце и пять известных в то время планет: Меркурий, Вене-

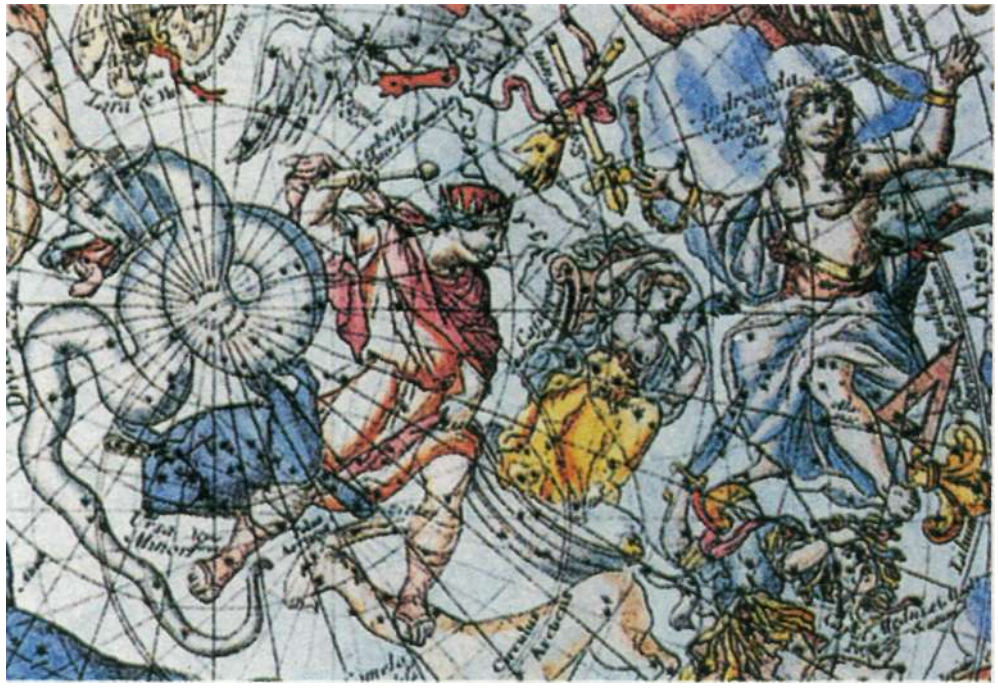


Рис. 1.3. Часть древней карты звездного неба. Принцессу Андромеду принесли в жертву чудовищу Киту. Спас красавицу Персей, отрубив голову Медузе Горгоне, от взгляда которой все каменели

ра, Марс, Юпитер и Сатурн (рис. 1.6). На 8-й сфере находятся звезды, которые соединены между собой и обращаются вокруг Земли как единое целое.

В XVI в. польский астроном Николай Коперник (рис. 1.5) предложил **гелиоцентрическую** систему мира, в которой в центре находится Солнце, а планета Земля и другие планеты обращаются вокруг него по круговым орбитам (рис. 1.7).

Гениальность открытия Коперником гелиоцентрической системы мира состояла в том, что он, разрушив границу между небом и Землей, выдвинул гипотезу, что во Вселенной действуют одни и те же законы, справедливые как на Земле, так и в космосе.

В 1609 г. итальянский физик Галилео Галилей (рис. 1.8) впервые применил телескоп для наблюдения за небесными светилами, открыл спутники Юпитера и увидел звезды Млечного Пути.

XVIII в. в истории астрономии связан с именем английского ученого Исаака Ньютона (рис. 1.9), который открыл закон всемирного тяготения. Заслуга Ньютона заключается в том, что он доказал универсальность силы гравитации, то есть та же сила, которая действует на яблоко во время его падения на Землю, притягивает также Луну, обращающуюся вокруг Земли. Сила притяжения управляет движением звезд и галактик, а также влияет на эволюцию всей Вселенной.

Рис. 1.4. Птолемей (90—160)

Рис. 1.5. Н. Коперник (1473—1543)

Рис. 1.6. Геоцентрическая система мира: в центре Земля, а все остальные небесные тела обращаются вокруг нее. (Древняя гравюра)

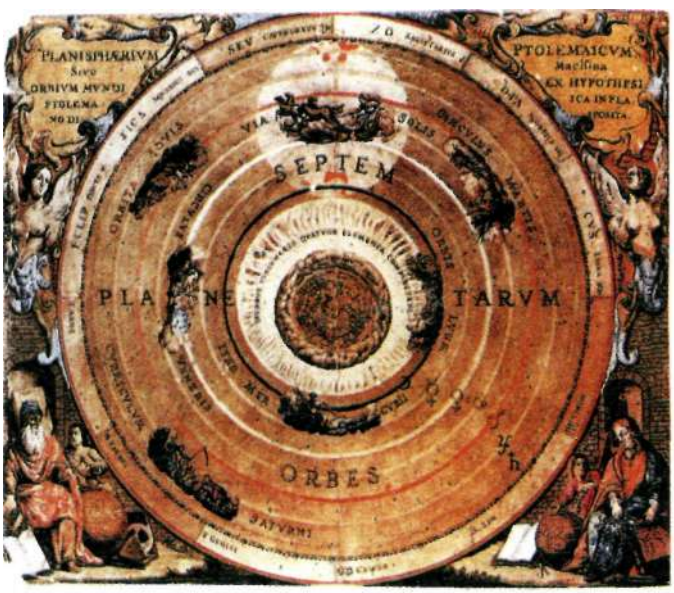


Рис. 1.7. Гелиоцентрическая система мира: в центре находится Солнце. Земля вместе с планетами обращается вокруг него. (Гравюра XVII в.)

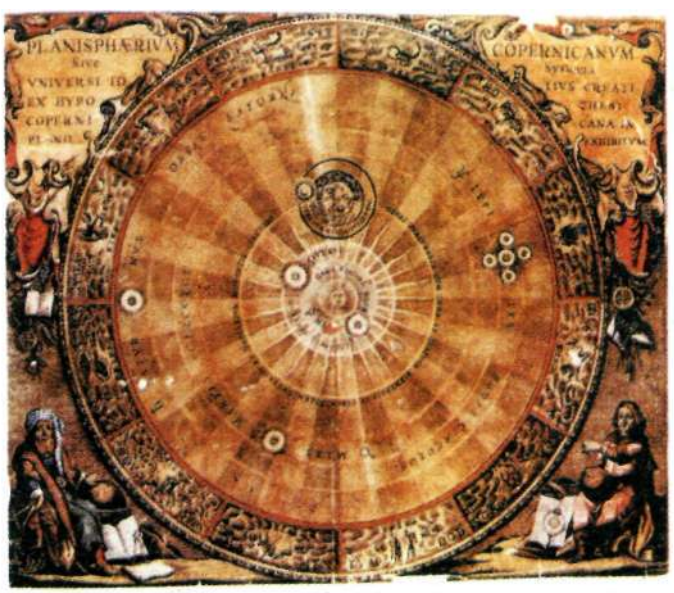


Рис. 1.8. Г. Галилей (1564—1642)

Рис. 1.9. И. Ньютон (1643—1727)

В XIX в. начался новый этап в изучении космоса, когда немецкий физик Йозеф Фраунгофер в **1814** г. открыл линии поглощения в спектре Солнца — **фраунгоферовы линии** (рис. **1.10),** затем линии поглощения были обнаружены в спектрах других звезд. С помощью спектров астрономы определяют химический состав, температуру и даже скорость движения космических тел.

В XX в. создание выдающимся немецким физиком Альбертом Эйнштейном общей теории относительности помогло астрономам понять странное красное смещение линий поглощения в спектрах далеких галактик, которое было открыто американским астрономом Эдвином Хаббломом в **1929** г. Хаббл доказал, что галактики разлетаются, и позже ученые создали *теорию эволюции Вселенной* от ее зарождения до современности. Это послужило толчком к созданию новой науки — *космологии.*

4 октября 1957 г. началась *эра космонавтики.* В этот день в Советском Союзе был запущен в космос первый в мире искусственный спутник Земли (рис. 1.11), в создании которого принимали участие и украинские ученые. Сегодня в космосе летают сотни автоматических станций, которые исследуют не только околоземное пространство, но и другие планеты Солнечной системы.

Рис. 1.10. Спектр Солнца. Темные линии поглощения образуются в атмосферах Земли и Солнца

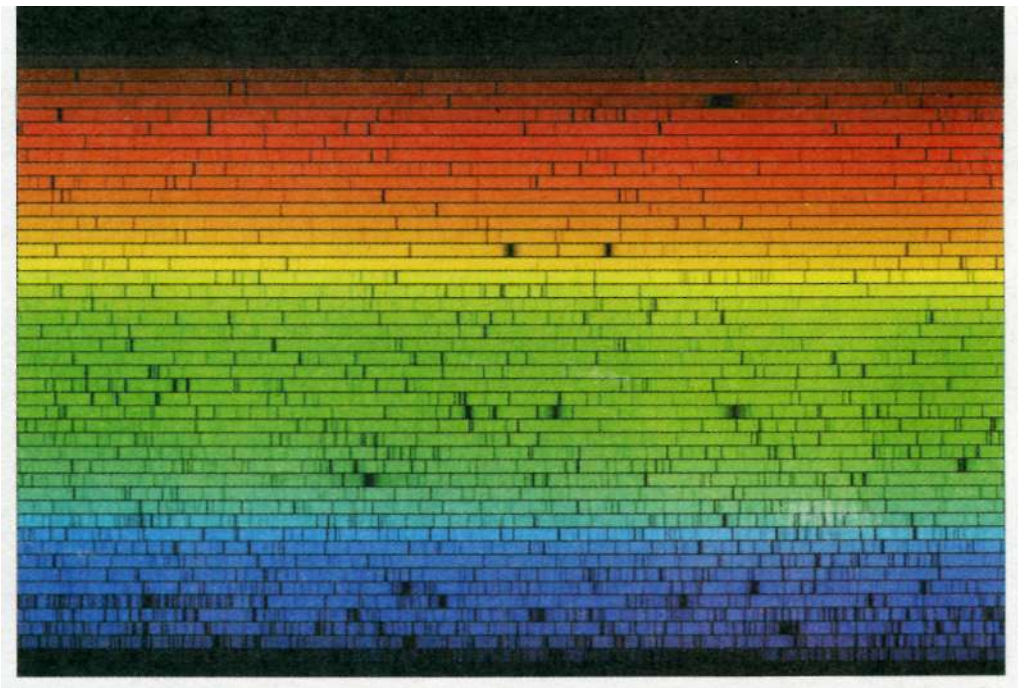
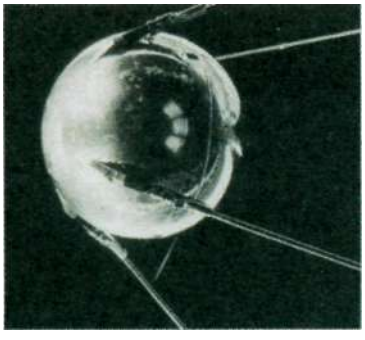


Рис. 1.11. Первый в мире искусственный спутник Земли (СССР)



Наш космический адрес

Мы живем на Земле — одной из планет Солнечной системы. Эти планеты движутся по своим орбитам вокруг Солнца. Большинство планет (кроме Венеры и Меркурия) имеют спутники, которые обращаются вокруг своей планеты. В Солнечную систему кроме Солнца и планет со спутниками входят также сотни тысяч астероидов, или малых планет, миллионы кометных ядер и метеорное вещество. Относительно Солнца планеты располагаются в следующем порядке: ближайшая — Меркурий, за ним — Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун (рис. **1.12).**

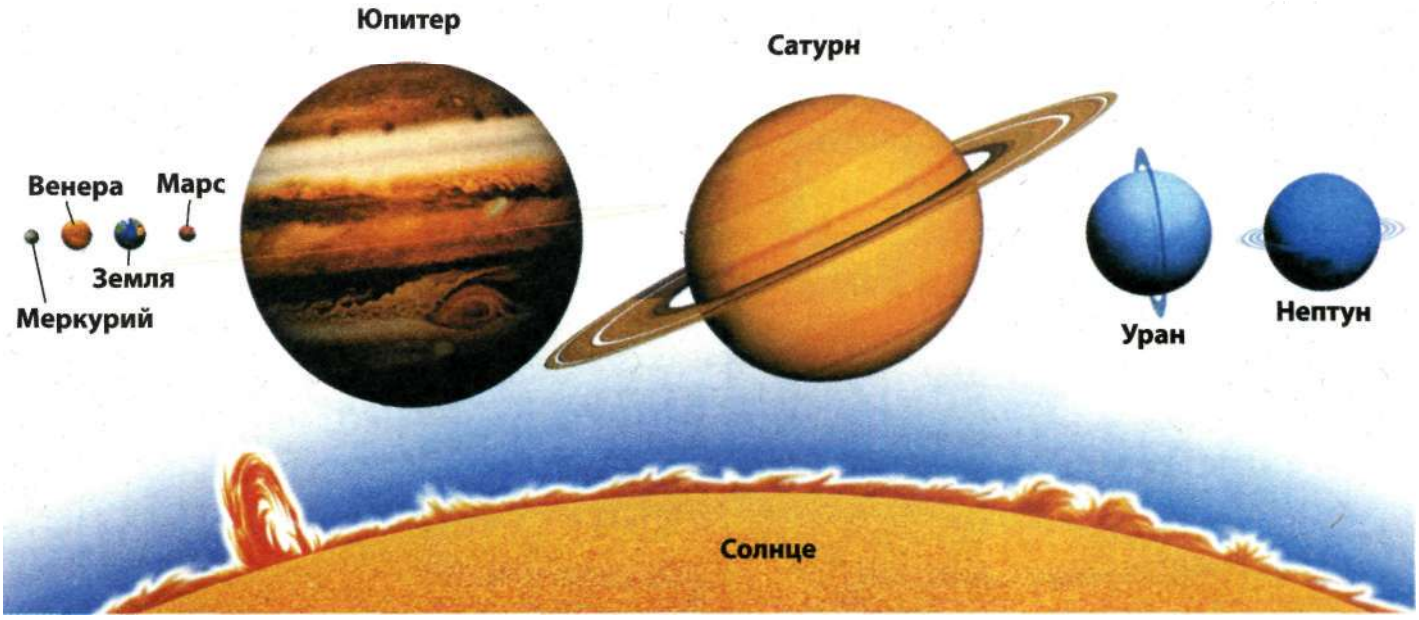


Рис. 1.12. Относительные размеры Солнца и планет Солнечной системы. Средний радиус Земли 6370 км

Количественный состав Солнечной системы:
(на 2011 г.)

Сонце (звезда)	1
Планеты	8
Планеты-карлики	3
Спутн. планет	свыше 150
Астероиды	свыше 500000
Кометы	свыше 1000000
Метеорное вещество	

За Нептуном вокруг Солнца обращаются еще тысячи малых планет, которые почти не освещаются его лучами.

Расстояния в космическом пространстве настолько велики, что измерять их в обычных для нас километрах неудобно, поэтому астрономы выбрали единицами измерения **астрономическую единицу** и **световой год.**

Вне Солнечной системы, на расстоянии более чем 100000 а. е., начинается зона притяжения других звезд. Невооруженным глазом на небе можно увидеть около 6000 звезд, которые образуют 88 созвездий. На самом деле звезд намного больше, но от далеких светил поступает так мало света, что их можно наблюдать только в телескоп. Большие скопления звезд, удерживающиеся силой тяжести, называют **галактиками.** Во Вселенной

находятся миллиарды галактик, среди них есть и наша Галактика (пишется с большой буквы), которую называют **Чумацкий Шлях** или **Млечный Путь.** На ночном небе мы видим ее как серебристую полосу (рис. 1.13). Наша Галактика (с греч.— Млечный Путь) — это огромная система, в которой обращаются вокруг центра 400 млрд звезд. Горячие звезды расположены в виде диска со спиральными рукавами.

Астрономическая единица (а. е.) — среднее расстояние от Земли до Солнца.

$1\ а.\ е. \approx 150 \cdot 10^6$ км

Из других галактик, видимых невооруженным глазом, выделяется *Туманность Андромеды.* Эта звездная система по размерам и форме подобна нашей Галактике, и свет от нее долетает до Земли за 2,3 млн лет, то есть расстояние до нее — 2,3 млн св. лет. Галактики расположены в скоплениях и формируют ячеистую структуру Вселенной.

Световой год — расстояние, которое преодолевает свет за 1 год, двигаясь со скоростью 300000 км/с.

1 св. год $\approx 10^{13}$ км

Наиболее удаленные космические объекты, которые еще можно увидеть в современные телескопы,— *квазары* (см. § 15). Они находятся на расстоянии 10 млрд св. лет от Земли.

Другие галактики — звездные системы, состоящие из миллиардов звезд, обращающихся вокруг общего центра

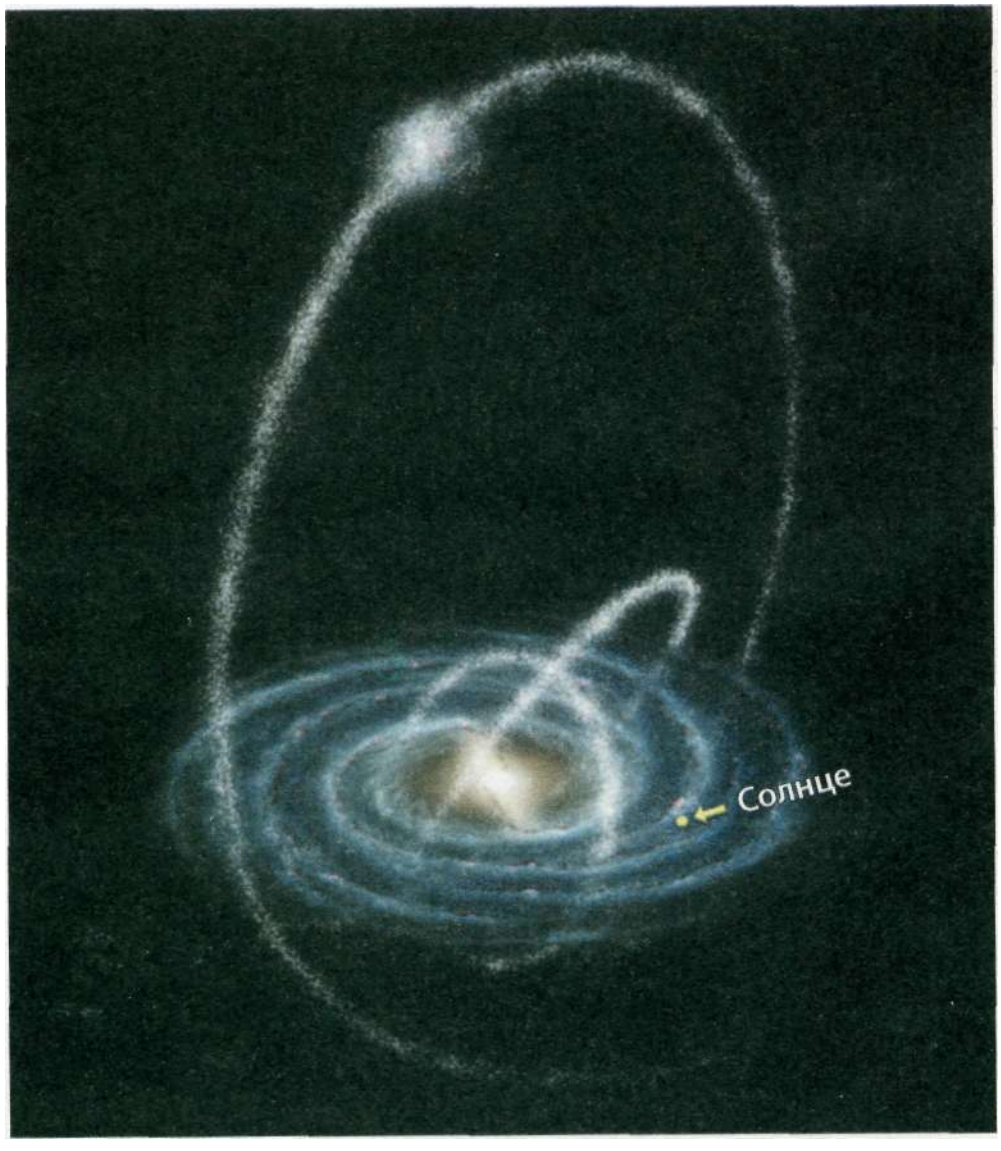


Рис. 1.13. Галактика Млечный Путь. Диаметр основной части диска — 100000 св. лет, расстояние от Солнца до центра Галактики — 25 000 св. лет

Если в будущем земляне захотят обмениваться информацией с другими мирами, то наш космический адрес можно записать так: Украина, планета Земля, Солнечная система, Галактика, Вселенная (рис. 1.14).

Для любознательных

Во Вселенной зарегистрировано около 10 млрд галактик. Если в каждой галактике насчитывается в среднем 10^{11} звезд, то общее количество звезд во Вселенной достигает фантастической цифры 10^{21}. Это астрономическое число с 21 нулем представить себе трудно, поэтому можно посоветовать следующее сравнение. Если разделить все звезды во Вселенной на количество людей на Земле, то каждый из нас был бы обладателем одной галактики, то есть примерно 200 млрд звезд.

Основные разделы астрономии

Современная астрономия — чрезвычайно разветвленная наука, развитие которой напрямую связано с научно-техническим прогрессом человечества. Астрономия делится на отдельные направления, в которых используются присущие только им методы и средства исследования.

Астрометрия — раздел астрономии, изучающий положение и движение небесных тел и их систем

Космология — раздел астрономии, изучающий строение и эволюцию Вселенной как единого целого. Возможно, в будущем космология объединит все естественные науки: физику, математику, химию, биологию, философию — для того чтобы дать ответ на основные проблемы нашего бытия (см. § 15, 16, 17):

Небесная механика — раздел астрономии, изучающий законы движения небесных тел

— Как возник мир, в котором мы живем, и почему он является таким, каким мы его сейчас наблюдаем?

— Как возникла жизнь на Земле и существует ли жизнь во Вселенной?

Астрофизика — раздел астрономии, изучающий природу космических тел: их строение, химический состав, физические свойства

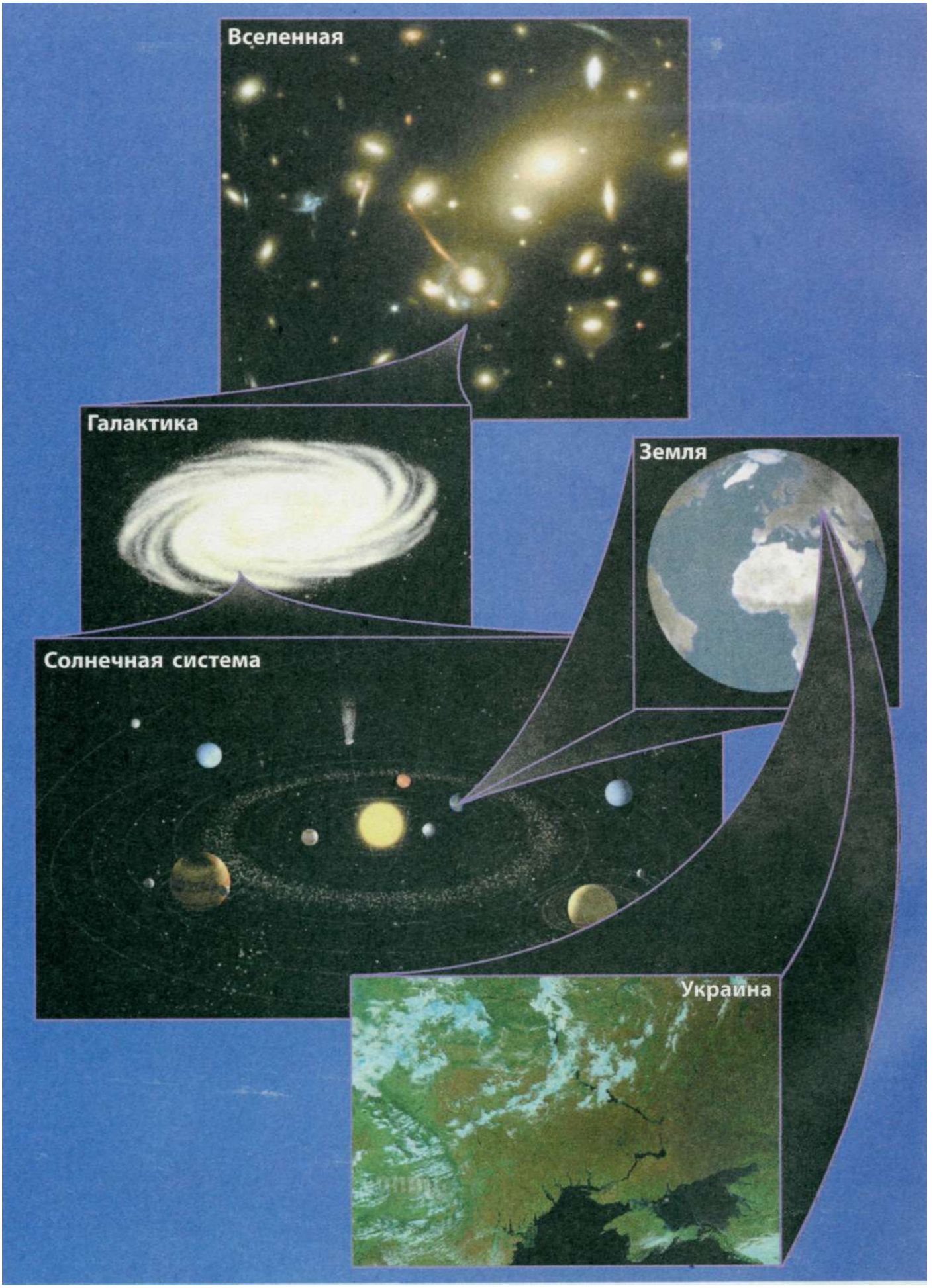
— Что ожидает нашу Вселенную в будущем?

Для любознательных

Иногда астрономию отождествляют с астрологией, так как их названия похожи. На самом деле между астрономией и астрологией есть существенное отличие: астрономия — это наука, которая изучает происхождение и эволюцию космических тел, а астрология не имеет ничего общего с наукой, поскольку предполагает, что с помощью звезд можно предсказать будущее. Астрологи рисуют различные схемы расположения звезд и планет, составляют гороскопы (с греч.— заглянуть в будущее), при помощи которых предсказывают судьбу человека.

Космология изучает строение и эволюцию Вселенной как единого целого

Рис. 1.14. Наш космический адрес



Выводы

Астрономия — это наука, изучающая различные космические тела и их системы, а также процессы, происходящие при взаимодействии этих тел между собой. В течение последнего тысячелетия представления людей о Вселенной существенно изменились — от геоцентрической системы мира Птолемея с хрустальными сферами вокруг Земли к современной величественной картине безграничного космоса. Астрономия тесно связана с другими естественными науками — физикой, химией, математикой, биологией, философией, потому что на Земле и в космосе действуют одни и те же законы природы. В нашей Вселенной нет ничего вечного — образуются и взрываются звезды и планеты, рождаются и гибнут цивилизации… Вечным остается только один вопрос: «Почему существует Вселенная и почему в этом странном мире живем мы?»

Тесты

1. Какое тело находится в центре геоцентрической системы мира?
   А. Солнце. Б. Юпитер. В. Сатурн. Г. Земля. Д. Венера.
2. Какую планету открыл Коперник?
   А. Марс. Б. Сатурн. В. Уран. Г. Землю. Д. Юпитер.
3. Что измеряется световыми годами?
   А. Время. Б. Расстояние до планет. В. Период обращения. Г. Расстояние до звезд. Д. Расстояние до Земли.
4. Как переводится с греческого языка слово *планета?*
   А. Волосатая звезда. Б. Хвостатая звезда. В. Блуждающая звезда. Г. Туманность. Д. Холодное тело.
5. Какую структуру имеет наша Галактика?
   А. Эллиптическую. Б. Спиральную. В. Неправильную. Г. Шаровидную. Д. Цилиндрическую.
6. Какая разница между геоцентрической и гелиоцентрической системами мира?
7. В какой последовательности относительно Солнца расположены планеты Солнечной системы?
8. Могут ли существовать тела за пределами орбиты Нептуна?
9. Что измеряется астрономическими единицами?
10. Рассчитайте величину (до третьего знака) 1 св. года в километрах.
11. Вычислите, за какое время свет долетает от Солнца до Земли; Нептуна; границ Солнечной системы. Скорость света считайте равной 300000 км/с.

Диспуты на **предложенные темы**

12. Что такое астрология? По вашему мнению, можно ли считать астрологию наукой?

Задания для наблюдений

13. Самостоятельно найдите на небе яркие звезды, которые обозначены на карте звездного неба. Зарисуйте яркие звезды, расположенные у вас над головой. Сравните ваши рисунки с картой звездного неба. К каким созвездиям относятся эти звезды?
14. Найдите среди ярких звезд такую, которая не обозначена на звездной карте. Это может быть какая-то планета или, возможно, вы открыли новую звезду!

Ключевые понятия и **термины:**

Астрономическая единица, астрофизика, Галактика, гелиоцентрическая система мира, геоцентрическая система мира, звезда, небесная механика, планета, световой год.

§ 2. Основы практической астрономии

Изучив этот параграф, мы:

I осмыслим наши представления о небесной сфере как вспомогательной поверхности для отсчета сферических координат небесных тел;

научимся ориентироваться на поверхности Земли при помощи небесных светил.

1 Небесная сфера

Во время наблюдений за звездами нам кажется, что все небесные светила расположены на одинаковом расстоянии и светятся на поверхности огромной сферы, в центре которой находится наблюдатель. Известно, что звезды и планеты расположены на разных расстояниях от Земли (рис. 2.1, 2.2), а наша планета — не в центре Вселенной, поэтому такую небесную сферу считают *вспомогательной* при определении сферических координат светил. На такую вспомогательную сферу проецируются изображения звезд и планет, и мы можем измерить только углы между направлениями на эти светила. При этом центр небесной сферы может располагаться в любой точке пространства. В зависимости от этого различают топоцентрические, геоцентрические или гелиоцентрические координаты.

Рис. 2.1. Созвездие Орион (древняя карта звездного неба)

Созвездия — участки небесной сферы, на которые разделены отдельные группы звезд для удобства ориентирования

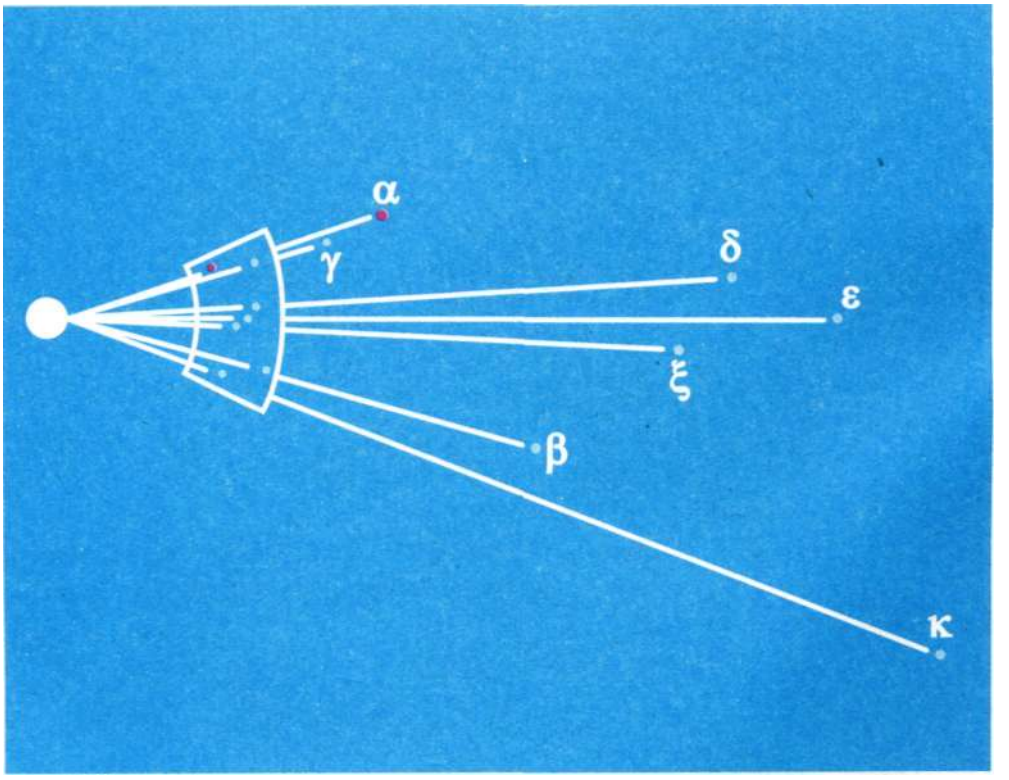


Рис. 2.2. Звезды в созвездии Орион расположены на разном расстоянии от Земли, а нам кажется, что они светятся на поверхности сферы

2

На небесной и земной сферах можно провести воображаемые круги, с помощью которых определяются небесные координаты светил (рис. 2.3, *а*).

Воображаемая небесная сфера произвольного радиуса помогает определить координаты небесных светил

На земной сфере существуют две особые точки — *географические полюса,* где ось вращения Земли пересекает поверхность планеты *(N, S* — соответственно Северный и Южный полюса). Плоскость *земного экватора,* которая делит нашу планету на северное и южное полушарие, проходит через центр Земли перпендикулярно к ее оси вращения. *Меридианы* на Земле проходят через географические полюса и точки наблюдения. Начальный (нулевой) меридиан проходит вблизи местонахождения бывшей Гринвичской обсерватории.

Полюс мира — точка пересечения оси вращения Земли с небесной сферой

Если продолжить ось вращения Земли в космос, то на небесной сфере мы получим две точки пересечения, которые называются *полюсами мира* (рис. 2.3, *б*): *Северный полюс* (в современную эпоху у *Полярной звезды)* и *Южный полюс* (в созвездии *Октант).* Плоскость земного экватора пересекается с небесной

Небесный экватор — линия пересечения плоскости земного экватора с небесной сферой

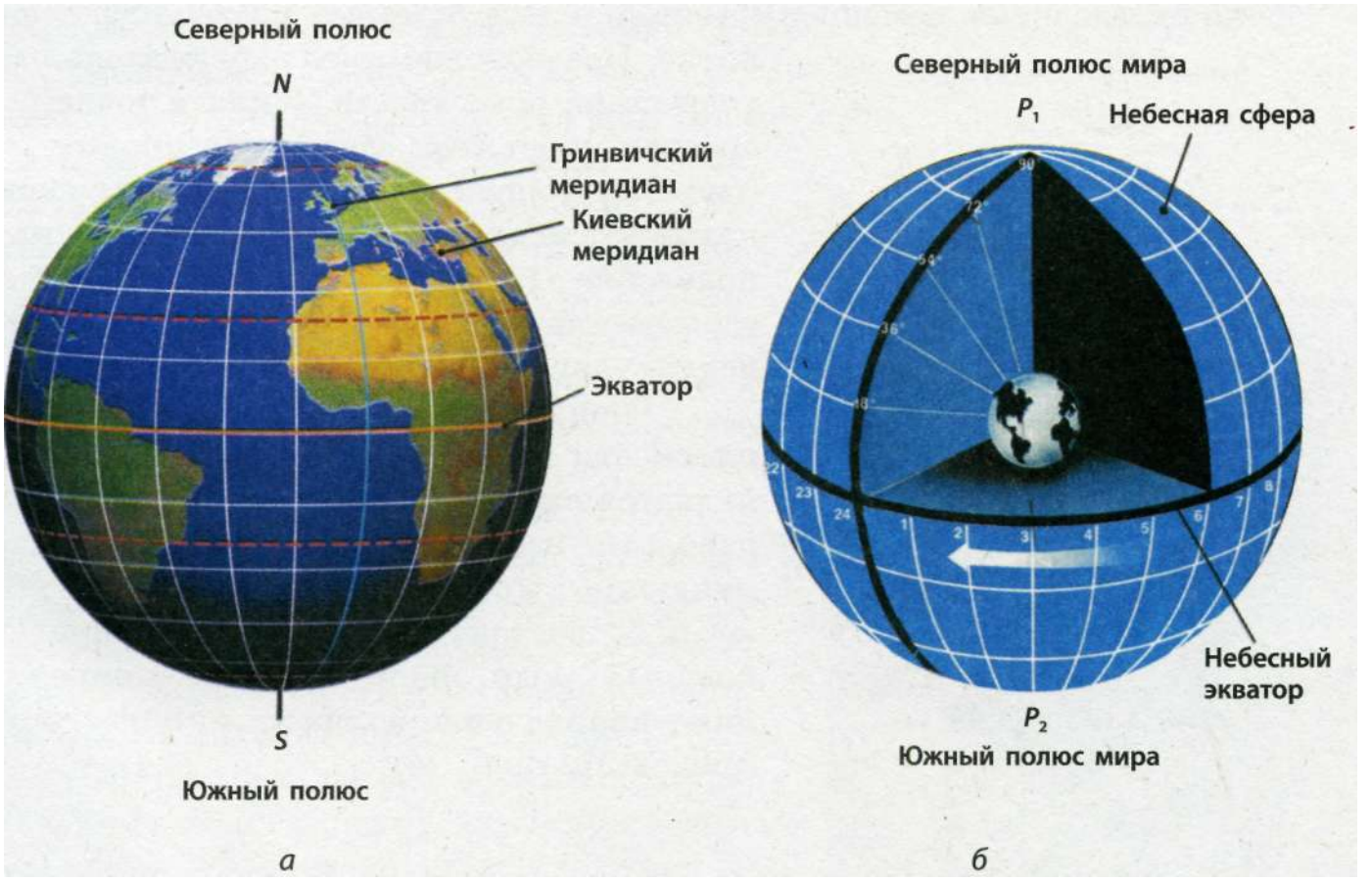


Рис. 2.3. Основные точки и линии системы координат: *а* — земной (географической), *б* — небесной

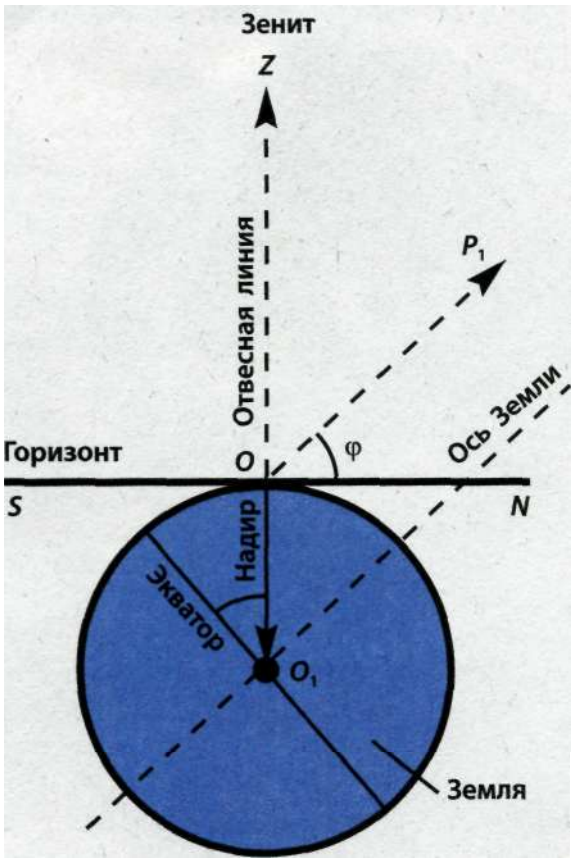
Небесный меридиан — линия пересечения плоскости земного меридиана с небесной сферой

сферой, и в сечении мы получим *небесный экватор,* который делит небо на два равных полушария — *Северное и Южное.* Но есть одно существенное различие между полюсами и экватором на земном шаре и полюсами мира и небесным экватором. Географические полюса реально существуют как точки на поверхности Земли, где ось вращения Земли пересекается с поверхностью планеты, и к ним можно долететь или доехать так же, как и до экватора. Полюсов мира как реальных точек в космическом пространстве нет, потому *радиус небесной сферы* является *неопределенным* и мы можем обозначить только направление, в котором они наблюдаются.

3 Ориентирование на местности

В повседневной жизни для определения направления мы используем ориентиры, которые нам хорошо знакомы,— дома, дороги, реки и т. д. Если мы попадаем в незнакомую местность, то наши привычные ориентиры исчезают, и мы можем заблудиться. В этом случае надежными ориентирами могут быть небесные светила, ибо они нам светят и дома, и на чужбине.

Для ориентирования на поверхности Земли астрономы применяют термины *отвесная линия и горизонт.* Направление отвесной линии задается силой притяжения Земли в точке наблюдения. Его можно определить с помощью обычного отвеса, который подвешивают на нитке. Предположим, что наблюдатель находится на поверхности Земли в точке О, которая имеет географическую широту ср (рис. 2.4). Направление OO_x по отвесу вниз называют **надиром,** противоположное направление *OZ,* вверх,— зенитом. Сейчас горизонт определяют как плоскость, перпендикулярную к отвесной линии.



Горизонт, или линия пересечения плоскости горизонта с небесной сферой, является окружностью, в центре которой находится наблюдатель. На горизонте различают четыре точки: *N* — север, *S* — юг, *E* — восток, *W* — запад, с помощью которых люди ориентируются и определяют направление во время путешествий (рис. 2.5).

Рис. 2.4. Плоскость математического горизонта перпендикулярна к отвесной линии

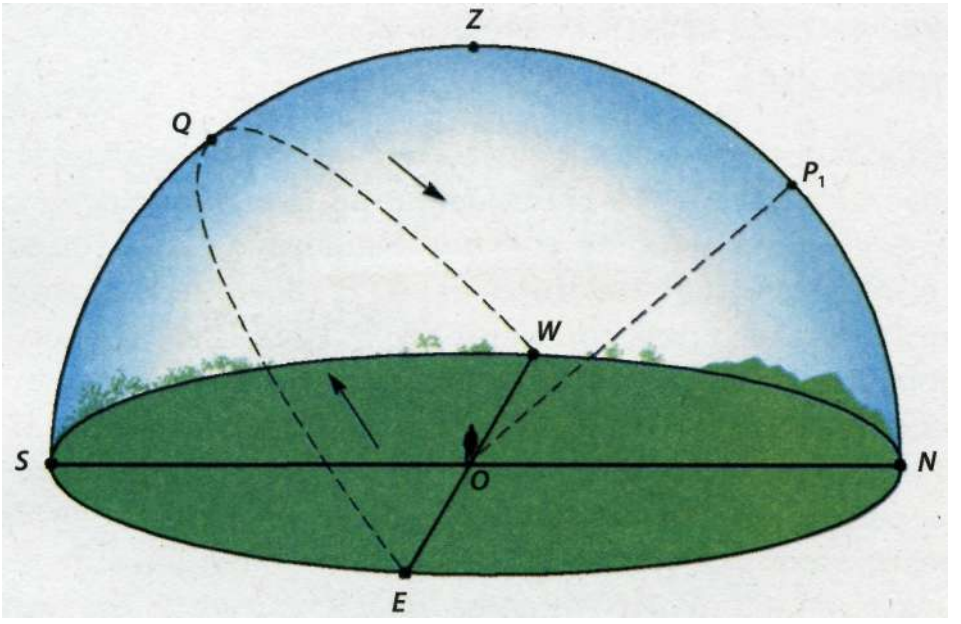


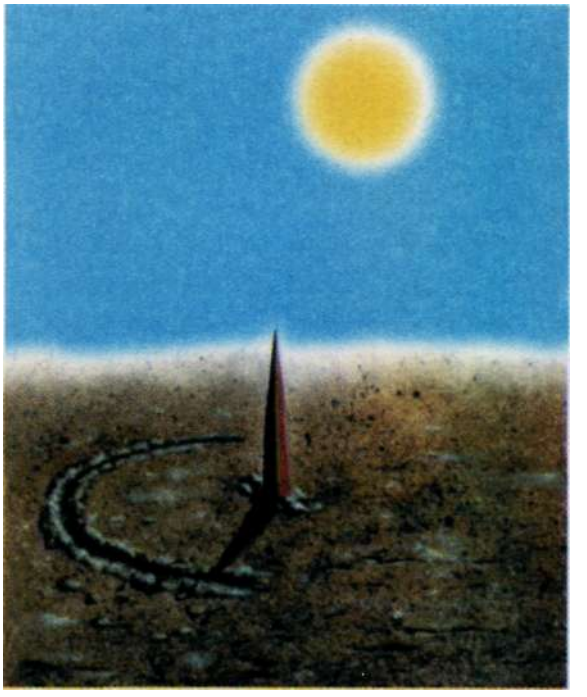
Рис. 2.5. Ночью надежным ориентиром может быть Полярная звезда P_1, на которую направлена ось обращения Земли. Если смотреть на Полярную звезду, то впереди будет направление на север, позади — на юг, справа — на восток, слева — на запад. Точка Q — кульминация Солнца

Кульминация — пересечение светилами небесного меридиана вследствие суточного обращения Земли вокруг оси

Вследствие вращения Земли вокруг оси плоскости меридиана и горизонта в течение суток смещаются в пространстве относительно звезд, но нам на поверхности Земли кажется, что все происходит наоборот — небесные светила движутся относительно горизонта. Мы говорим, что Солнце восходит, когда оно появляется над горизонтом на востоке. Затем Солнце поднимается все выше и выше и в полдень занимает наибольшую высоту над горизонтом. Этот момент астрономы называют **верхней кульминацией** (от лат.— вершина). Верхняя кульминация наступает в тот момент, когда Солнце пересекает плоскость меридиана и находится над точкой юга.

Момент верхней кульминации Солнца можно определить с помощью палочки, установленной перпендикулярно к горизонту (рис. 2.6). Для определения кульминации внимательно следите за длиной тени: когда Солнце находится над точкой юга, тень указывает направление на север и имеет наименьшую длину.

Рис. 2.6. В полдень тень от палочки направлена на север



Только в марте и сентябре Солнце восходит вблизи точки восхода, а заходит возле точки запада. Летом Солнце восходит на северо-востоке, а заходит на северо-западе. Зимой Солнце восходит на юго-востоке, а заходит на юго-западе.

Некоторые звезды на наших широтах никогда не заходят, поэтому на небе мы можем увидеть не только верхнюю, но и нижнюю кульминацию, когда светило находится ниже всего над горизонтом.

4 Экваториальная система небесных координат и карты звездного неба

Основными плоскостями в этой системе координат являются плоскости небесного экватора и круг склонений. Для определения экваториальных небесных координат светила *S* проводят круг склонений через полюсы мира P_1 и P_2, который пересекает небесный экватор в точке *M* (рис. 2.7). Первая координата α называется *прямое восхождение* и отсчитывается по дуге небесного экватора от точки *весеннего равноденствия* ♈ против хода часовой стрелки, если смотреть с Северного полюса, и измеряется часами. Вторая координата δ — *склонение,* определяется дугой круга склонений *MS* от экватора к данному светилу и измеряется градусами. К северу от экватора склонение положительное, к югу — отрицательное. Границы определения экваториальных координат следующие:

Небесные координаты:
α — прямое восхождение;
δ — склонение

$$0 \text{ час} \leqslant \alpha \leqslant 24 \text{ час}; \quad -90° \leqslant \delta \leqslant +90°.$$

Карта звездного неба в форме прямоугольника является определенной *проекцией небесной сферы на плоскость, на которой обозначены экваториальные координаты* α, δ (рис. 2.8). Эти координаты не зависят от места наблюдения на Земле и почти не меняются в течение года, поэтому картой звездного неба можно пользоваться в любой стране. Правда, через тысячи лет экваториальные координаты звезд могут существенно измениться, поскольку меняется со временем положение небесного экватора и полюсов мира, к тому же звезды обращаются вокруг центра Галактики (см. § 15).

Существует карта звездного неба в виде круга. Северный полюс мира находится в центре карты вблизи Полярной звезды. Круг склонений в проекции на плоскость карты имеет вид радиальной линии, которую проводят от Северного полюса мира. Небесный экватор на карте изображен выделенной окружностью, а концентрические круги для различных склонений проведены через каждые 30°.

Координату δ на карте определяют как отрезок радиальной линии от экватора к данной звезде. Склонение звезд на экваторе равно 0°, а на Северном полюсе ми-

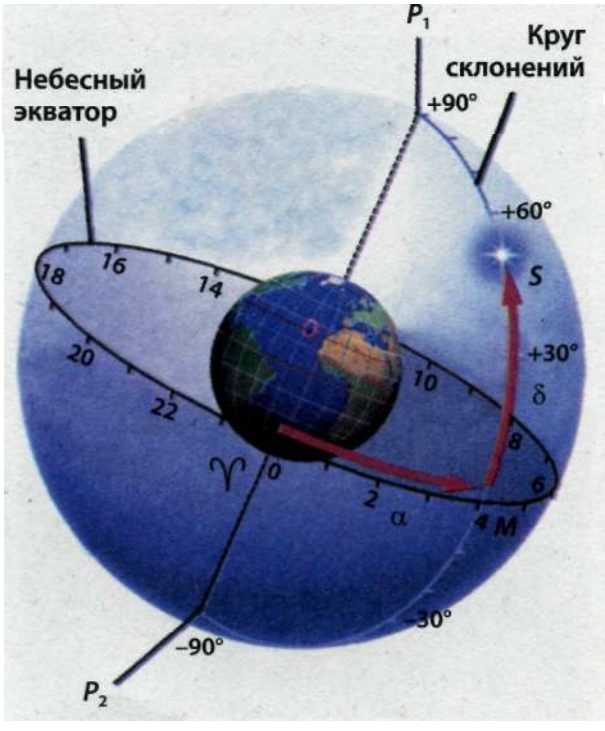


Рис. 2.7. Экваториальная система небесных координат

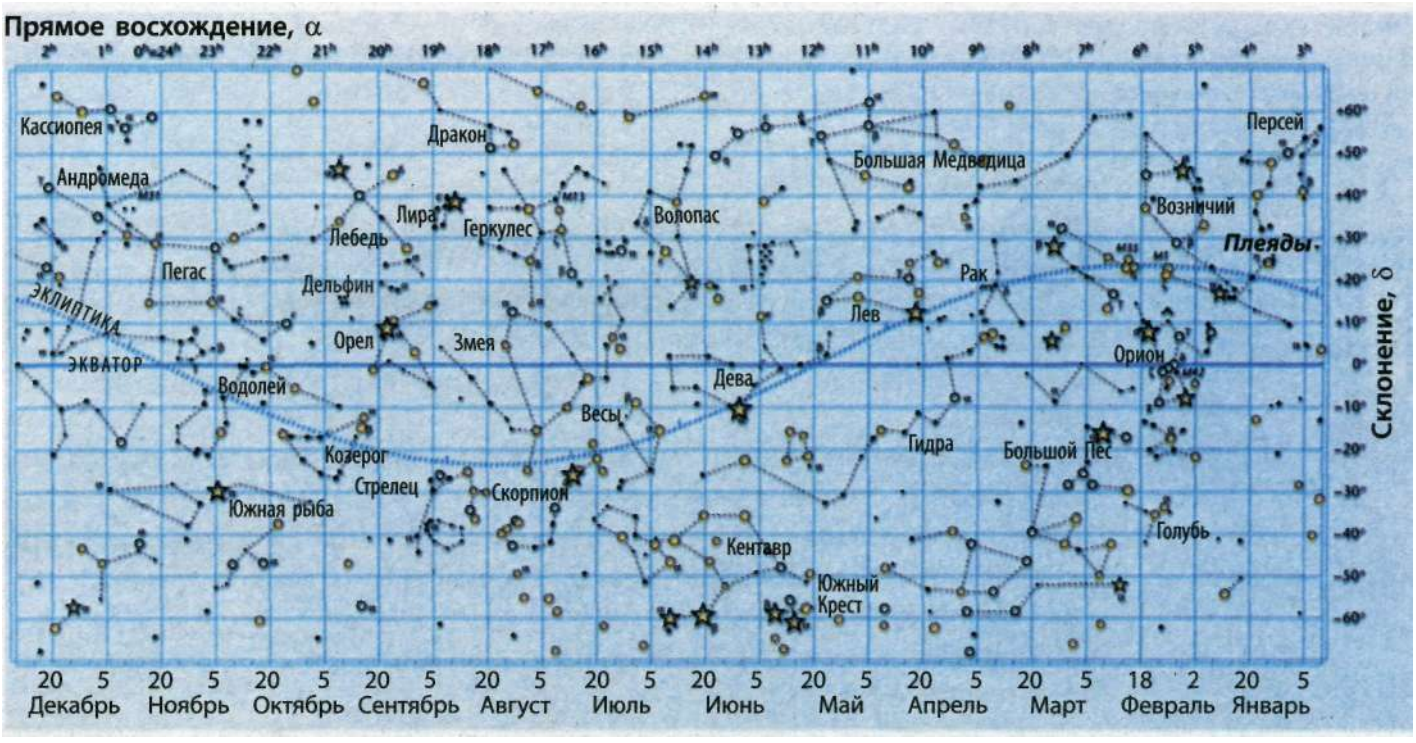


Рис. 2.8. Карта звездного неба экваториальной зоны. Даты, когда эти созвездия кульминируют в вечернее время, обозначены внизу карты. Отыщите их после захода Солнца в южной части небосвода

ра +90°. Прямое восхождение на карте определяют как дугу экватора от точки весеннего равноденствия к радиальной линии, проведенной от полюса мира через данную звезду. Для удобства α обозначена на экваторе через каждый час (1^h, 2^h, 3^h ...).

Вследствие обращения Земли вокруг оси плоскость горизонта смещается в пространстве, поэтому все светила тоже изменяют свое положение относительно горизонта. Момент, когда некоторые светила пересекают плоскость горизонта, называют *восходом* или *заходом* светила. Моменты восхода-захода небесных светил можно определить с помощью *подвижной карты звездного неба,* или планисферы, на которой есть специальный накладной круг с линией горизонта и меридианом. Такой картой можно пользоваться в любой стране северного полушария на географической широте Украины (+50° ±5°).

Для любознательных

На звездных картах не изображены планеты, поскольку они обращаются вокруг Солнца и со временем изменяют свои экваториальные координаты. Для определения положения планет относительно звезд надо пользоваться астрономическим календарем (см. § 3, 4).

Выводы

Воображаемая небесная сфера помогает определить положение космических тел в определенной системе координат. На картах звездного неба используют экваториальную систему координат, в которой положение звезд определяют при помощи прямого восхождения и склонения. Небесные светила помогают также определить стороны горизонта в случае, если мы заблудились в незнакомой местности.

Тесты

1. Северный полюс мира находится:
   А. В Арктике. Б. В Антарктике. В. В созвездии Орион. Г. В созвездии Большая Медведица. Д. Вблизи Полярной звезды.
2. Момент, когда светило имеет самую большую высоту над горизонтом, называется:
   А. Прямое восхождение. Б. Верхняя кульминация. В. Нижняя кульминация. Г. Верхняя культивация. Д. Нижняя культивация.
3. Можно ли в Канаде и Украине одновременно увидеть созвездие Большая Медведица?
   А. Нельзя. Б. Можно только летом. В. Можно только зимой. Г. Можно в любой момент. Д. Можно только весной.
4. Можно ли в Австралии и Украине одновременно увидеть Полярную звезду?
   А. Нельзя. Б. Можно только летом. В. Можно только зимой. Г. Можно в любой момент. Д. Можно только осенью.
5. Как называются точки пересечения небесной сферы с осью обращения Земли, продолженной в космос?
   А. Зенит. Б. Надир. В. Полюс мира. Г. Географический полюс. Д. Горизонт.
6. Когда наступает кульминация Солнца?
7. В какие дни года Солнце восходит в точке востока и заходит в точке запада?
8. Можно ли в Австралии с помощью Полярной звезды находить направление на север?
9. Как можно, находясь на Северном полюсе Земли, определить направление на юг?
10. Отыщите на карте звездного неба какую-нибудь яркую звезду. С помощью накладного круга к карте измерьте моменты, когда восходит, заходит и кульминирует эта звезда.
11. С помощью подвижной карты звездного неба определите, какие созвездия никогда не заходят для наблюдателя в Украине.

Диспуты на предложенные темы

12. Можно ли пользоваться нашей картой звездного неба на поверхности других планет Солнечной системы? Во время межпланетных полетов? На планетах, обращающихся вокруг других звезд?

Задания для наблюдений

13. Найдите Полярную звезду и определите направление меридиана с севера на юг относительно вашего дома. Нарисуйте схему расположения вашего дома относительно меридиана и определите угол между меридианом и любой стеной вашего дома.
14. Лабораторная работа № 1 «Определение географической широты на местности с помощью Полярной звезды».

Ключевые понятия и термины:

Зенит, кульминация, небесный экватор, небесный меридиан, небесная сфера, прямое восхождение, полюса мира, склонение, точка весеннего равноденствия

§ 3. Измерение времени и календарь

Изучив этот параграф, мы узнаем:

как при помощи Солнца определяют время;

- на сколько минут местное время отличается от киевского времени;
- почему происходит смена времен года на Земле;
- почему невозможно создать идеальный календарь.

1 Измерение времени

Время является философской, физической и социальной категорией, поэтому задача точного измерения времени — одна из важнейших проблем современной науки. Из нашего опыта известно, что время «течет» равномерно, подобно воде в спокойной, тихой реке. По этому принципу в древности были сконструированы водяные и песочные часы. Со временем создали механические часы, действие которых основано на принципе периодических колебаний маятника, который долго может сохранять постоянным период своих колебаний. А принцип действия точных современных электронных часов базируется на использовании колебаний в электромагнитном поле кристаллов, или даже отдельных молекул. На протяжении веков вид часов менялся (рис. 3.1, 3.2), точность измерений увеличивалась, но некоторые единицы для измерения времени остались теми же — *год* и *сутки,* потому что они связаны с движением Земли вокруг Солнца и ее вращением вокруг своей оси.

Солнечные сутки — время, за которое Земля совершает полный поворот вокруг своей оси относительно Солнца.
1 час= 1/24 суток
1 час=60 мин = 3600 с

Для определения угловой скорости обращения Земли ориентирами могут служить Солнце, звезды и другие небесные светила. Поэтому и используют две системы отсчета времени — *звездное время* и *солнечное время.* Звездное время, преимущественно, используют астрономы, а в повседневной жизни все люди применяют только солнечное время. Промежуток времени, за который Земля совершает полный оборот вокруг своей оси относительно Солнца, называют *солнечными сутками.* Сутки делятся на 24 часа. По традиции начало солнечных суток (0 ч) наступает в полночь.

Рис. 3.1. Старинные солнечные часы

Солнечное время в определенном месте, или *местное* время, можно определить при помощи

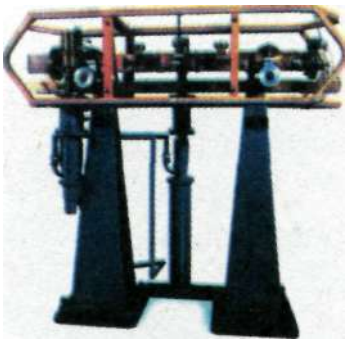


Рис. 3.2. Первые атомные часы

солнечных часов — обычной палочки, тень от которой поможет приблизительно измерить местное время. *Местный полдень* — 12 часов по местному времени наступает в тот момент, когда происходит верхняя кульминация Солнца (тень от палочки самая короткая; см. § 2).

В повседневной жизни пользоваться местным временем неудобно, потому что в каждой точке на поверхности Земли оно разное, и мы, переезжая из одного места в другое, должны были бы постоянно переводить стрелки часов на несколько минут. Эта проблема устраняется, если пользоваться *поясным временем,* которое ввели в конце XIX в. Землю разделили меридианами на 24 часовых пояса и договорились, что все часы в одном поясе будут показывать одинаковое время, равное местному времени среднего меридиана (рис. 3.3). Путешественники переводят часы на один час только при пересечении границы соответствующего пояса.

Нулевой пояс проходит через Гринвичский меридиан, поэтому часы в Великобритании показывают местное время Гринвичского меридиана — это время называют **всемирным временем. В** современных мобильных телефонах местное время нулевого

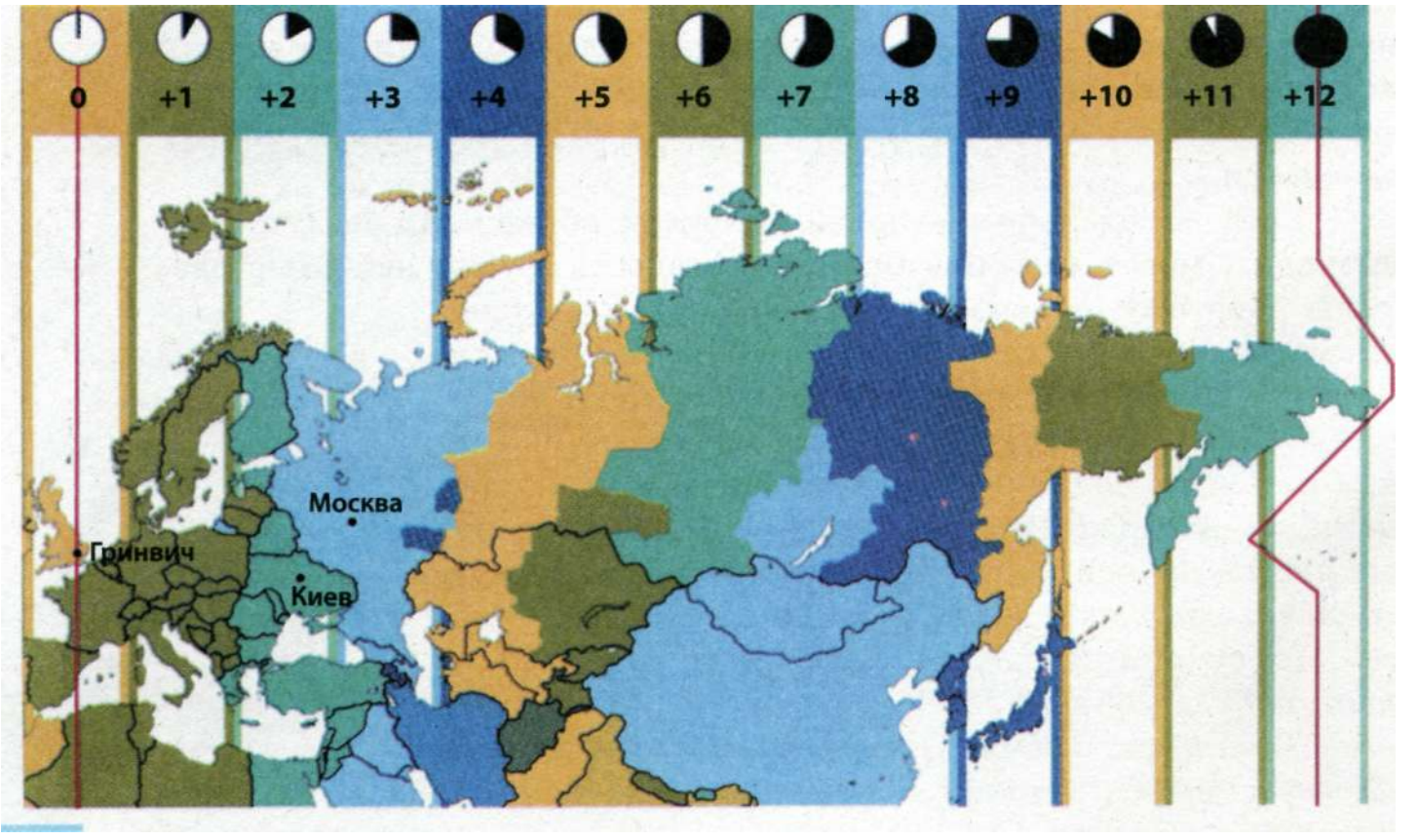


Рис. 3.3. Часовые пояса. Земля разделена на 24 пояса, в каждом из которых все часы показывают одинаковое время. Переезжая из одного пояса в другой, путешественники переводят стрелки часов на целое число часов

пояса обозначают *GMT* (с англ. *Гринвичское среднее время).* Западная Европа живет по времени первого пояса, которое на 1 час опережает всемирное. Украина находится во втором поясе, поэтому время, которым пользуются ее жители *(киевское время),* опережает всемирное время на 2 часа. Если поехать на запад, в Польшу, то стрелки наших часов нужно перевести на 1 час назад, а если ехать на восток, в Россию, например в Москву, то на 1 час вперед.

Разница между местным и киевским временем определяется разницей географических долгот Киева и места наблюдения.

По меридиану с долготой 180° проходит *линия смены дат.* Для тех, кто ее пересекает, есть возможность путешествовать не только в пространстве, но и во времени. Например, если лететь из Азии на восток, в Америку, 1 января, то следующий день тоже будет 1 января, то есть возникает на первый взгляд фантастическая возможность прожить тот же день дважды. Зато когда пассажиры летят в обратном направлении, из Америки на запад, в Азию, то в течение перелета через несколько часов можно прожить 2 суток — после 1 января сразу наступит 3 января.

Местное время определяется с помощью солнечных часов. Каждый меридиан имеет свое местное время

Поясное время равняется местному времени среднего меридиана соответствующего пояса

Всемирное время (англ. UT) — точное время Гринвичского меридиана. Всемирное время применяют в астрономии для определения моментов различных космических событий

Киевское время — время второго пояса, которое на 2 часа опережает всемирное время

Для любознательных

Весной, в последнее воскресенье марта, все часы большинства стран Европы переводят на 1 час вперед, вводится так называемое *летнее время,* поэтому летом киевское время будет опережать местное время всех городов Украины. Фактически, Западная Европа переходит на киевское время, а Украина — на московское. Например, летом местное время даже на востоке Украины, в Луганске, отстает от киевского на 23 мин, и полдень на Луганском меридиане наступает в 12 ч 23 мин по московскому времени. Правда, не во всех странах мира переводят стрелки часов на летнее время. Нет смысла вводить летнее время в тропической зоне, там продолжительность дня в течение года почти одинакова — 12 ч. В России на значительной территории продолжительность летнего дня превышает 20 часов, поэтому там тоже отказались от перевода стрелок часов. В апреле 2011 г. в России ввели постоянное летнее время, поэтому московское время зимой будет опережать киевское на 2 часа.

2 Солнечное время и зодиак

Слово «зодиак» (от греч.— круг животных) впервые стали употреблять для определения особых созвездий еще несколько тысяч лет назад. Это название связано с тем, что Солнце, Луна и планеты

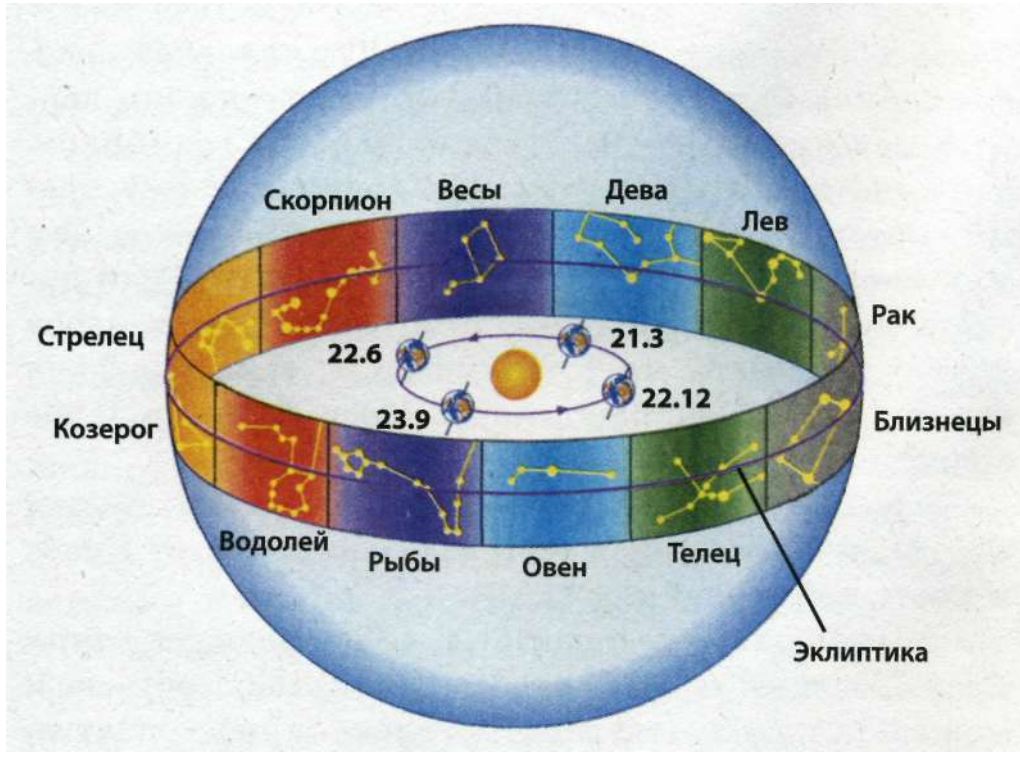


Рис. 3.4. Орбита Земли и зодиак. Плоскость, в которой обращается Земля вокруг Солнца, остается неизменной относительно звезд. Линия пересечения плоскости орбиты Земли с мнимой небесной сферой называется *эклиптикой.* 12 созвездий, которые пересекает эклиптика, называют *зодиакальными*

Зодиак	
Овен	♈
Телец	♉
Близнецы	♊
Рак	♋
Лев	♌
Дева	♍
Весы	♎
Скорпион	♏
Стрелец	♐
Козерог	♑
Водолей	♒
Рыбы	♓

Солнечной системы можно наблюдать на фоне 12 зодиакальных созвездий, которые образуют на небесной сфере большой круг, и среди названий этих созвездий преобладают названия живых существ.

На рис. 3.4 изображены орбита Земли, далекие созвездия и через каждые 30° проведены линии, обозначающие положение нашей планеты относительно звезд через каждый месяц. Таким образом, мы можем обозначать движение Земли по орбите и отмечать большие промежутки времени. За начало отсчета движения Земли возьмем точку весеннего равноденствия. Если 21 марта соединить Землю и Солнце прямой линией и продолжить ее в космос, то эта прямая где-то далеко пересекает воображаемую небесную сферу в двух диаметрально противоположных точках, одна из которых находится в созвездии Девы (со стороны Земли), другая — в созвездии Рыб (за Солнцем).

В марте созвездия Рыб не видно, потому что оно находится за Солнцем. Астрономы этот момент описывают так: «21 марта Солнце находится в направлении созвездия Рыб в точке весеннего равноденствия».

Двигаясь вместе с Землей по орбите, мы в течение года наблюдаем Солнце в разных направлениях на фоне различных созвездий. Если каждый день обозначать положение центра Солнца относительно далеких звезд, то можно получить большой круг небесной сферы, называемый эклиптикой (от греч.— затмение). Математическое определение эклиптики — это линия

Рис. 3.5. Явление прецессии демонстрирует детская юла, вращающаяся вокруг собственной оси, в то время как ее ось описывает конус в пространстве

пересечения плоскости орбиты Земли с небесной сферой, то есть *плоскость эклиптики совпадает с плоскостью орбиты Земли.*

Прецессия — смещение оси вращения Земли относительно звезд. Ось вращения Земли описывает в космосе конус с периодом 26000 лет.

Плоскость эклиптики на протяжении веков занимает постоянное положение относительно звезд, но полюса мира постепенно смещаются в космическом пространстве. Это явление называют **прецессией** (от лат.— опережение; рис. 3.5). И если в наше время Северный полюс мира расположен в созвездии Малой Медведицы, то через 13000 лет он переместится в созвездие Лиры, и наши потомки будут определять направление на север при помощи звезды *Вега.* Вследствие прецессии изменяется также положение плоскости небесного экватора среди звезд, поэтому в будущем в Украине не будет видно созвездие Орион, зато наши потомки увидят ближайшую к нам звезду *Проксиму Кентавра.*

Для любознательных

Обратите внимание, что точка весеннего равноденствия находится в созвездии Рыб, но обозначается знаком Овна. Причина такого странного несоответствия заключается в том, что вследствие прецессии точка весеннего равноденствия ♈ ежегодно смещается относительно звезд на 50". То есть за последние 2000 лет точка весеннего равноденствия переместилась почти на 30°, и через несколько десятков лет будет находиться в созвездии Водолея. Еще через 13000 лет точка весеннего равноденствия переместится в созвездие Девы, а точка осеннего равноденствия будет наблюдаться в созвездии Рыб.

3 Смена времен года на Земле

Из курса природоведения известно, что ось вращения Земли наклонена к плоскости орбиты под углом 66,5°, и это приводит к смене времен года на Земле. Если бы ось вращения Земли была перпендикулярна к плоскости орбиты, то смены времен года не происходило бы, потому что Солнце в течение года освещало бы равномерно Северное и Южное полушария нашей планеты. Такие дни, когда Солнце одинаково освещает два полушария Земли, наступают только дважды в год — весной 20—21 марта, и осенью 22—23 сентября, когда на всех материках одинаковая продолжительность дня — 12 часов. В остальные месяцы продолжительность дня больше или меньше

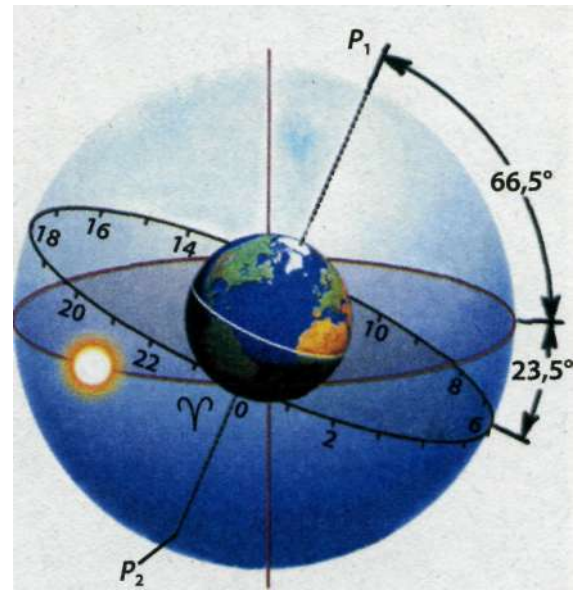


Рис. 3.6. Угол между плоскостями экватора и эклиптики 23,5°, а угол между плоскостью эклиптики и полюсом мира 66,5°. Это является причиной смены времен года на Земле

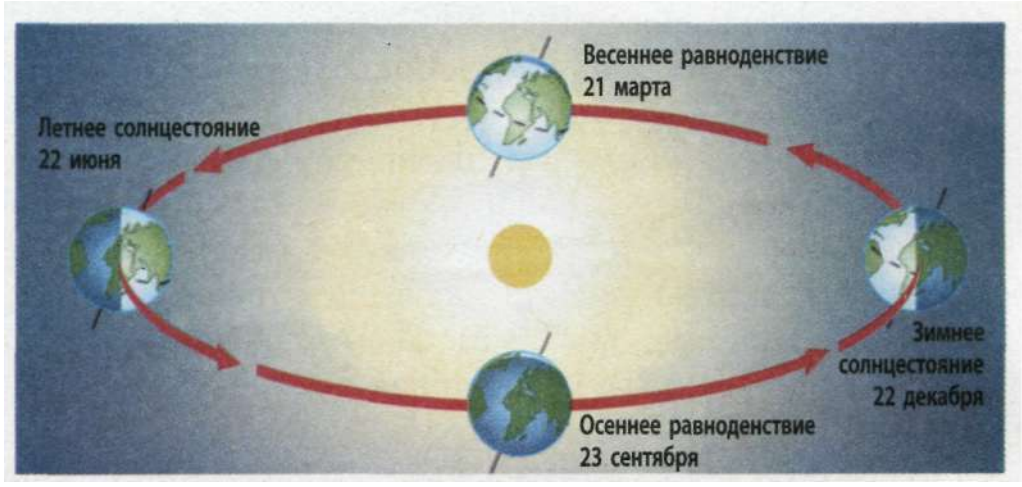


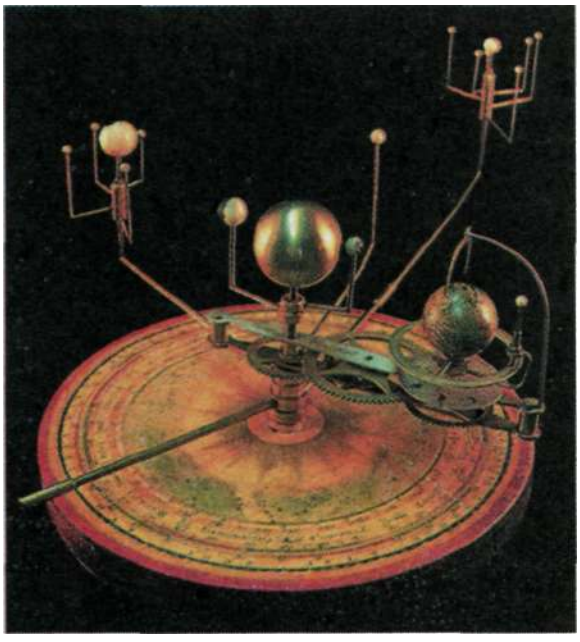
Рис. 3.7. Освещение Земли солнечными лучами зимой и летом. Больше энергии от Солнца получает тропическая зона, где в полдень солнечные лучи могут падать перпендикулярно к горизонту. Широта тропиков ±23,5°

12 часов и зависит от географической широты места наблюдения. Самый длинный день в Северном полушарии наступает 21—22 июня — начало астрономического лета, а в Южном полушарии в этот день начинается астрономическая зима. Через полгода, 21—22 декабря, наоборот, в северном полушарии наступает астрономическая зима, а в южном — лето (рис. 3.7, 3.8.).

На широте 50° (Киев, Львов, Харьков) продолжительность самого длинного дня 22 июня — 16 ч 20 мин — в два раза больше продолжительности самого короткого дня 22 декабря — 8 ч. На широте 45° разница между самым длинным и самым коротким днем несколько уменьшается, поэтому в Крыму самый длинный день длится 15 ч 30 мин, а самый короткий — 8 ч 40 мин.

Больше всего солнечной энергии поверхность Земли получает в полдень, когда наступает верхняя кульминация Солнца, а меньше всего — утром и вечером. Ночью Земля только охлаждается, поэтому средняя температура поверхности зависит также от продолжительности дня и ночи. Например, на широте 50° количество энергии, которую получает поверхность за летний день, достигает 25000 кДж/м^2. Интересно, что эта энергия даже больше, чем на экваторе, где круглый год продолжительность дня не изменяется и равна 12 часам.

Рис. 3.8. Механический прибор XIX в., который демонстрировал движение планет и смену времен года на Земле



Зимой короткая продолжительность дня и небольшая высота Солнца над горизонтом приводят к значительному уменьшению солнечной энергии, обогревающей поверхность Земли. Например, в декабре количество энергии, которую получает единица поверхности на наших широтах в течение дня, почти в 7 раз меньше, чем в летний день.

Современный наклон оси вращения к плоскости орбиты под углом 66,5° является оптимальным для различных климатических зон на поверхности Земли от тропиков до полярного круга. Все другие варианты изменения угла наклона оси вращения Земли привели бы к катастрофическим изменениям климата и глобальной экологической катастрофе. Например, если бы ось вращения Земли была наклонена к плоскости орбиты под углом 50°, то полярный круг проходил бы через Украину, а тропики — через Черное море. На наших широтах летом в течение месяца Солнце не заходило бы за горизонт, а в полдень кульминация была бы вблизи зенита. Расчеты показывают, что летняя температура поверхности в Украине достигала бы критических для жизни величин от +60 до +80 °С. Если бы ось вращения Земли была перпендикулярна к плоскости орбиты, смены времен года вообще не было бы, и Европа могла бы превратиться в холодную полупустыню типа тундры.

Для любознательных

В полярных странах разница между самым длинным и самым коротким днем увеличивается. Например, в Москве самый длинный день длится 17 ч 40 мин, а самый короткий — 7 ч, в С.-Петербурге соответственно — 19 и 6 ч. На широте С.-Петербурга в июне Солнце ненадолго заходит за горизонт, вследствие чего наблюдаются «белые ночи». В этот период, который длится почти месяц, яркие звезды видны ночью только в южной части небосвода, а северный горизонт настолько яркий, что в полночь можно читать книги.

Вблизи полюсов находятся области, где Солнце несколько месяцев не заходит за горизонт — тогда летом наблюдается полярный день. Зимой, наоборот, в полярных районах несколько месяцев Солнце не восходит — наступает полярная ночь. Границы этих областей называются полярными кругами. Они находятся на широте 66,5° обоих полушарий.

Непосредственно на полюсах полярный день длится полгода и столько же длится полярная ночь. Например, на Северном полюсе Солнце восходит 21 марта и заходит 23 сентября. В этот период склонение Солнца больше нуля. На Южном полюсе, наоборот, полярный день длится с 23 сентября по 21 марта.

4 Календари

Календари созданы для измерения больших промежутков времени. В современном календаре всех европейских стран за основу берется 1 *тропический год* — период обращения Земли вокруг Солнца относительно точки весеннего равноденствия ♈, но при создании идеального календаря возникает осложнение, так как тропический год не имеет целого числа суток.

Тропический год (365 суток 5 ч 48 мин 46 с) — период обращения Земли вокруг Солнца относительно точки весеннего равноденствия

Простые годы имеют 365 суток. **Високосный год** — 366 суток. Эти дополнительные сутки вводят 29 февраля

Долгое время в Европе пользовались *юлианским* календарем, который был введен еще Юлием Цезарем в 46 г. до н. э. В этом календаре продолжительность тропического года была принята за 365 суток 6 ч 00 мин 00 с, а для того чтобы год имел целое число суток, было принято, что каждые 3 года подряд год длится по 365 суток, а четвертый — 366 суток (високосный год). Но в среднем каждый календарный год был длиннее тропического на 11 мин 14 с (365 суток 6 ч 00 мин 00 с - 365 суток 5 ч 48 мин 46 с). То есть когда тропический год уже реально заканчивался, год по юлианскому календарю продолжался еще 11 мин 14 с. Поэтому за четыре года погрешность накапливалась и календарь отставал уже на 44 мин 56 с, а за 400 лет — почти на трое суток.

По григорианскому календарю год считается високосным, если он делится на 4 без остатка, кроме тех лет, которые оканчиваются на два нуля и число сотен которых не делится на 4

Григорианский календарь, действующий в наше время, исправил эту неточность. В нем изъяли три дня из каждых 400 лет, то есть три високосных года

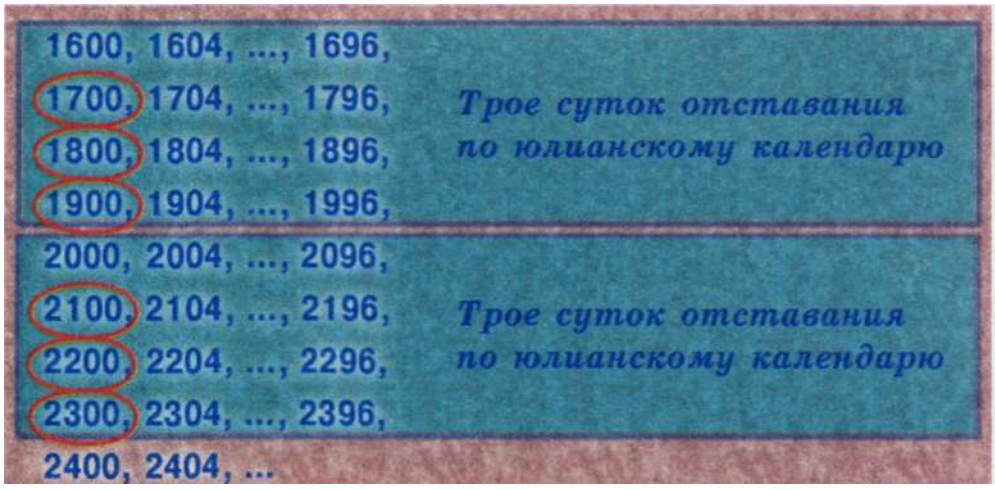


Рис. 3.9. Високосные годы по юлианскому календарю. Кружочком обведены годы, которые по григорианскому календарю не являются високосными

сделали простыми. На рис. 3.9 показано, какие годы были високосными по юлианскому календарю, а кружочком обведены те, которые стали простыми по григорианскому. Легко заметить, что это те годы, которые заканчиваются двумя нулями и число сотен которых не делится на четыре нацело.

Григорианский календарь тоже не идеален, но погрешность на одни сутки он дает примерно через 33 века.

Для любознательных

Новая реформа календаря была проведена в 1582 году по предложению Папы Римского Григория XIII. Чтобы исправить накопленную к тому времени разницу, объявили, что 1582 г. продлится только 355 суток. Новый календарь был назван григорианским (или новым стилем) в честь Папы Римского и постепенно был введен во всех странах Европы и Америки. Теперь разница между юлианским и григорианским

календарями достигла уже 13 суток и сохранится еще в XXI в. В гражданской жизни Украины новый стиль был введен правительством Центральной Рады в 1918 г.

Выводы

При помощи небесных светил можно определять время. Период вращения Земли вокруг оси используют для отсчета часов, минут и секунд. Период обращения Земли вокруг Солнца используют при создании календарей для отсчета длительных промежутков времени.

Тесты

1. Тропики — это такая географическая широта, где:
   А. Растут пальмы. Б. Солнце никогда не заходит. В. Во время солнцестояния Солнце кульминирует в зените. Г. Во время равноденствия Солнце кульминирует в зените. Д. Никогда не выпадает дождь.
2. Полярный круг — это такая географическая широта, где:
   А. Целый год не тает снег. Б. Живут белые медведи. В. Полгода длится ночь, а полгода — день. Г. Во время равноденствия Солнце кульминирует в зените. Д. В день зимнего солнцестояния Солнце не восходит.
3. Под каким углом к плоскости орбиты наклонена ось вращения Земли?
   А. 0°. Б. 23,5°. В. 45°. Г. 66,5°. Д. 90°.
4. Чему равен угол между плоскостями экватора и эклиптики?
   А. 0°. Б. 23,5°. В. 45°. Г. 66,5°. Д. 90°.
5. Сколько длится самый длинный день на полярном круге?
   А. 12 ч. Б. 24 ч. В. 1 месяц. Г. 3 месяца. Д. Полгода.
6. Что является причиной смены времен года на Земле?
7. Почему летом гораздо теплее, чем зимой, хотя светит нам одно и то же Солнце?
8. Почему возникла необходимость реформы юлианского календаря?
9. В Украине по древней традиции встречают так называемый старый Новый год — 14 января. Откуда происходит эта традиция?
10. Где на Земле продолжительность дня в течение года не меняется?
11. С помощью тени от палочки определите высоту Солнца над горизонтом при верхней кульминации. Как меняется этот угол в течение месяца?
12. Где позже заходит Солнце: во Львове или Харькове?
13. С помощью карты звёздного неба определите экваториальные координаты Солнца в день вашего рождения. В каком созвездии наблюдается Солнце в этот день? Совпадает ли это созвездие со знаком зодиака в гороскопах на этот день?

Диспуты на предложенные темы

14. Каким, по вашему мнению, был бы климат на Земле, если бы ось вращения была наклонена к плоскости эклиптики под углами: 90°, 45°, 0°?

Задания для наблюдений

15. Проведите наблюдение захода или восхода Солнца в день равноденствия — 23 сентября или 21 марта. Солнце в эти дни восходит в точке востока и заходит в точке запада. Нарисуйте положение этих точек относительно вашего дома.

Ключевые понятия и термины:

Високосный год, сутки, эклиптика, зодиак, календарь, местное время, поясное время, тропический год.

§4. Законы движения планет

Изучив этот параграф, мы узнаем:

что планеты в Солнечной системе движутся согласно законам Кеплера;

о законе всемирного тяготения, который управляет движением всех космических тел — от планет до галактик.

1 Конфигурации планет

Конфигурации планет определяют расположение планет относительно Земли и Солнца и обусловливают их видимость на небе. Все планеты светятся отраженным солнечным светом, поэтому лучше всего видна та планета, которая находится ближе к Земле, при условии, если к нам повернуто ее дневное, освещенное Солнцем полушарие.

Конфигурациями планет называют характерные взаимные положения планет относительно Земли и Солнца

На рис. 4.1 изображено *противостояние (ПС) Марса (M_1)*, то есть такая конфигурация, когда Земля находится на одной прямой между Марсом и Солнцем. В противостоянии яркость планеты самая большая, потому что к Земле обращено все ее дневное полушарие.

Орбиты двух планет, Меркурия и Венеры, расположены ближе к Солнцу, чем Земля, поэтому в противостоянии они не бывают. В положении, когда Венера или Меркурий находятся ближе всего

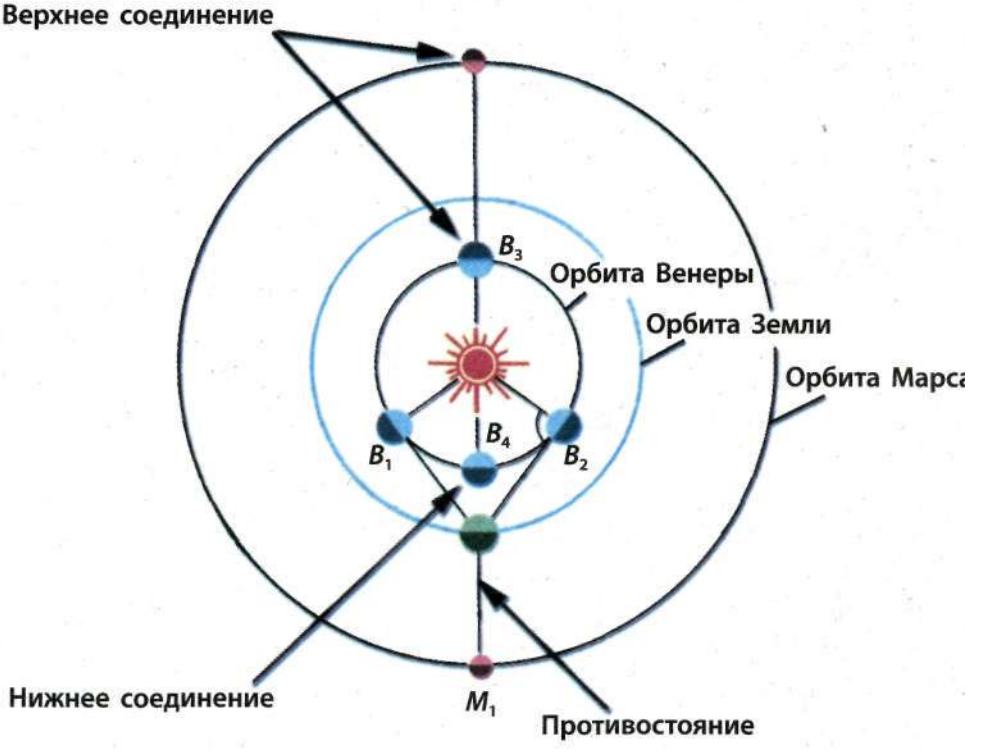


Рис. 4.1. Конфигурации Венеры и Марса. Противостояние Марса — планета находится ближе всего к Земле, ее видно всю ночь в противоположном от Солнца направлении. Венеру лучше всего видно вечером в восточную элонгацию слева от Солнца B_1 и утром во время западной элонгации справа от Солнца B_2

к Земле, их не видно, потому что к нам повернуто ночное полушарие планеты (рис. 4.1). Такая конфигурация называется *нижним соединением* с Солнцем В верхнем соединении планету тоже не видно, потому что между ней и Землей находится яркое Солнце. Лучшие условия для наблюдения Венеры и Меркурия бывают в конфигурациях, называемых *элонгациями*. Восточная элонгация (ВЭ) — это положение, когда планета видна вечером B_1 слева от Солнца. Западная элонгация (ЗЭ) Венеры наблюдается утром, когда планета видна справа от Солнца в восточной части небосклона B_2.

Противостояние — планета видна с Земли целую ночь в противоположном от Солнца направлении

Элонгация — видимое с поверхности Земли угловое расстояние между планетой и Солнцем

Конфигурации ярких планет

Планета	2011 р.	2012 р.	2013 р.	2014 р.	2015 р.
Венера	8.01 (ЗЭ)	22.03 (ВЭ)	1.11 (ВЭ)	22.03 (ЗЭ)	6.06 (ВЭ)
Марс	–	3.03 (ПС)	18.04 (Сп)	8.04 (ПС)	14.06 (Сп)
Юпитер	29.10 (ПС)	3.12 (ПС)	19.06 (Сп)	5.01 (ПС)	6.02 (ПС)
Сатурн	4.04 (ПС)	15.04 (ПС)	28.04 (ПС)	10.05 (ПС)	23.05 (ПС)

Условные обозначения: ПС — противостояние, планета видна всю ночь; Сп — сообщение с Солнцем, планета не видна; (ВЭ) — восточная элонгация, планета видна вечером в западной части горизонта; ЗЭ — западная элонгация, планета видна утром в восточной части небосклона.

Внимание! Утром 6 июня 2012 г. состоится прохождение Венеры по диску Солнца, когда планета в нижнем соединении пересекает плоскость эклиптики. Следующее прохождение нужно ждать до декабря 2117 г.

2 Сидерический и синодический периоды обращения планет

Сидерический период обращения определяет движение тел относительно звезд. Это время, за которое планета, двигаясь по орбите, совершает полный оборот вокруг Солнца (рис. 4.2).

Синодический период обращения определяет движение тел относительно Земли и Солнца. Это промежуток времени, за который наблюдаются одни и те же последовательные конфигурации планет (противо-

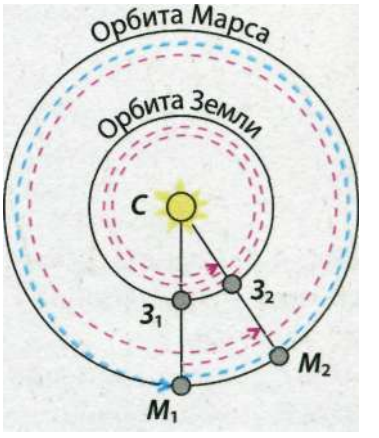


Рис. 4.2. Путь, соответствующий сидерическому периоду обращения Марса вокруг Солнца, изображен пунктиром синего цвета, синодическому — пунктиром красного цвета.

$T_\oplus$ = год; $T_{\text{Марса}} \approx 1{,}9$ года; $S_{\text{Марса}} \approx 2{,}1$ года

стояние, соединение, элонгация). На рис. 4.2 положения $С—З_1—М_1$ и $С—З_2—М_2$ — два последовательных противостояния Марса. Между синодическим «S и сидерическим T периодами обращения планеты существует следующее соотношение:

$$\frac{1}{T}=\frac{1}{T_\oplus}\pm\frac{1}{S}, \qquad (4.1)$$

где $T_\oplus=1$ год — 365,25 суток — период обращения Земли вокруг Солнца. В формуле (4.1) знак «+» применяется для Венеры и Меркурия, которые обращаются вокруг Солнца быстрее, чем Земля. Для других планет применяется знак «-».

Законы Кеплера

Иоганн Кеплер (рис. 4.3) определил, что Марс движется вокруг Солнца по эллипсу, а потом было доказано, что и другие планеты имеют эллиптические орбиты.

Первый закон Кеплера. Все планеты обращаются вокруг Солнца по эллипсам, а Солнце находится в одном из фокусов этих эллипсов (рис. 4.4, 4.5).

Рис. 4.3. И. Кеплер (1571—1630)

Главное следствие из первого закона Кеплера: расстояние между планетой и Солнцем не остается постоянным и изменяется в пределах: $r_{max} \leqslant r \geqslant r_{min}$

Точка A орбиты, где планета приближается на наименьшее расстояние к Солнцу, называется **перигелием** (греч. *peri* — вблизи *helios* — Солнце), а самую отдаленную от центра Солнца точку B орбиты планеты назвали **афелием** (от греч. *apo* — вдали). Сумма расстояний в перигелии и афелии равна большой оси AB эллипса: $r_{max}+r_{min}=2a$. Большая полуось зем-

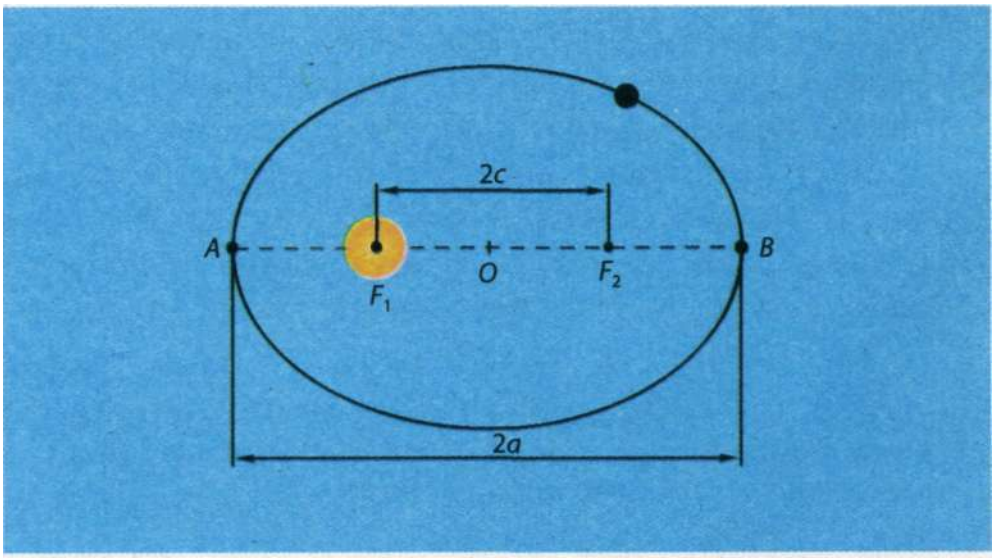


Рис. 4.4. Планеты обращаются вокруг Солнца по эллипсам.
$AF_1=r_{min}$ — в перигелии;
$BF_1=r_{max}$ — в афелии

ной орбиты *(OA* или *OB)* называется **астрономической единицей. 1 а. е. = 149,6 · 10⁶** км.

Степень вытянутости эллипса характеризуется эксцентриситетом *e* — отношением расстояния между фокусами 2c к длине большой оси *2a,* то есть $e = \frac{c}{a}$, $0 < e < 1$

Орбита Земли имеет небольшой эксцентриситет e**=0,017** и почти не отличается от окружности, поэтому расстояние между Землей и Солнцем изменяется в пределах от r_{min} =0,983 а. е. в перигелии до r_{max} = 1,017 а. е. в афелии.

Орбита Марса имеет больший эксцентриситет 0,093, поэтому расстояние между Землей и Марсом во время противостояния может быть разным — от **100** млн км до 56 млн км. Значительный эксцентриситет *(e* = 0,8...0,99) имеют орбиты многих астероидов и комет, а некоторые из них пересекают орбиту Земли и других планет, поэтому во время столкновения этих тел иногда происходят космические катастрофы.

Спутники планет тоже движутся по эллиптическим орбитам, причем в фокусе каждой орбиты находится центр соответствующей планеты.

Земля в перигелии 3—4 января приближается к Солнцу на наименьшее расстояние 147 млн км

Земля в афелии 3—4 июля удаляется от Солнца на самое большое расстояние 153 млн км

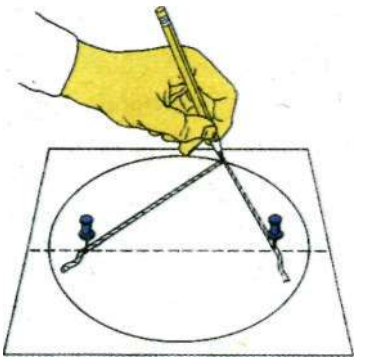


Рис. 4.5. Как правильно нарисовать эллипс

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

Главное следствие второго закона Кеплера состоит в том, что во время движения планеты по орбите со временем меняется не только расстояние планеты до Солнца, но и ее линейная и угловая скорости.

Самую большую скорость планета имеет в перигелии, когда расстояние до Солнца наименьшее, а самую маленькую — в афелии, когда расстояние наибольшее.

Второй закон Кеплера фактически определяет известный физический закон сохранения энергии: сумма кинетической и потенциальной энергии в замкнутой системе является величиной постоянной. Кинетическая энергия определяется скоростью планеты, а потенциальная — расстоянием между планетой и Солнцем, поэтому при приближении к Солнцу скорость планеты возрастает (рис. 4.6).

Максимальную скорость Земля имеет зимой: V_{max} = 30,38 км/с

Минимальную скорость Земля имеет летом: V_{min} = 29,36 км/с

Если первый закон Кеплера проверить в условиях школы довольно трудно, ибо для этого нужно измерить расстояние от Земли до Солнца зимой и летом, то второй закон Кеплера может проверить любой ученик. Для этого надо убедиться, что скорость Земли в течение года меняется. Для проверки можно

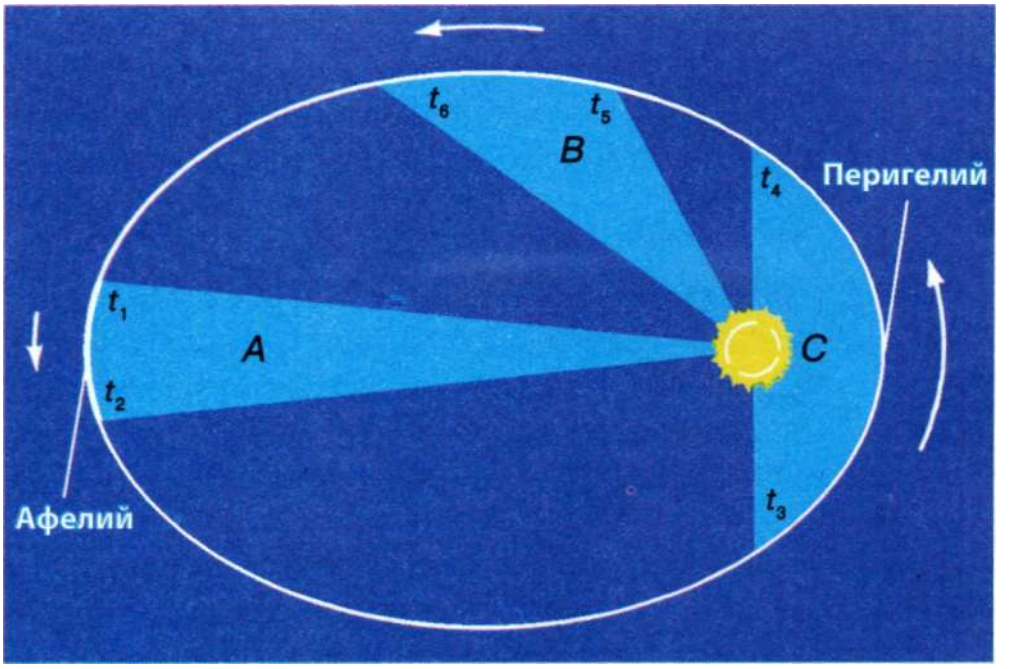


Рис. 4.6. При приближении к Солнцу скорость планеты растет, а при удалении — уменьшается. Если отрезки времени $t_2-t_1=t_4-t_3=t_6-t_5$, то площади $S_A=S_B=S_C$

В июле Земля движется медленнее, поэтому продолжительность лета в Северном полушарии больше, чем в Южном. Этим объясняется, что среднегодовая температура Северного полушария Земли выше, чем Южного

использовать обычный календарь и посчитать длительность полугодия от весеннего до осеннего равноденствия (21.03—23.09) и, наоборот, от 23.09 до 21.03. Если бы Земля вращалась вокруг Солнца с постоянной скоростью, то количество дней в этих полугодиях было бы одинаковым. Но согласно второму закону Кеплера, зимой скорость Земли больше, а летом — меньше, поэтому лето в Северном полушарии длится чуть больше, чем зима, а в Южном полушарии, наоборот, зима немного длиннее лета.

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

$$\frac{T_1^2}{T_2^2}=\frac{a_1^3}{a_2^3}, \qquad (4.2)$$

где T_1 и T_2 — сидерический период обращения любых планет, a_1 и a_2 — большие полуоси орбит этих планет.

Если определить большую полуось орбиты какой-либо планеты или астероида, то, согласно третьему закону Кеплера, можно вычислить период обращения этого тела, не дожидаясь, пока оно сделает полный оборот вокруг Солнца. Например, в 1930 г. была открыта новая планета Солнечной системы — Плутон, которая имеет большую

Рис. 4.7. Из наблюдений была определена большая полуось орбиты Плутона a_2=40 а. е. Учитывая параметры орбиты Земли a_1, T_1, согласно 4.2, имеем T_2=248 л.

полуось орбиты 40 а. е., и сразу же был определен период обращения этой планеты вокруг Солнца — 248 лет. Правда, в 2006 г., согласно постановлению съезда Международного Астрономического Союза, Плутон перевели в статус планет-карликов, ибо его орбита пересекает орбиту Нептуна.

Третий закон Кеплера используется также и в космонавтике, если нужно определить период обращения вокруг Земли спутников или космических кораблей.

4 Закон всемирного тяготения

Великий английский физик и математик Исаак Ньютон доказал, что физической основой законов Кеплера является фундаментальный *закон всемирного тяготения,* который не только обусловливает движение планет в Солнечной системе, но и определяет взаимодействие звезд в Галактике. В 1687 г. Ньютон сформулировал этот закон так: *любые два тела с массами Мит притягиваются с силой, величина которой прямо пропорциональна произведению их масс и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними (рис. 4.8):*

$$F = G\frac{Mm}{R^2}, \qquad (4.3)$$

где G — гравитационная постоянная; R — расстояние между этими телами.

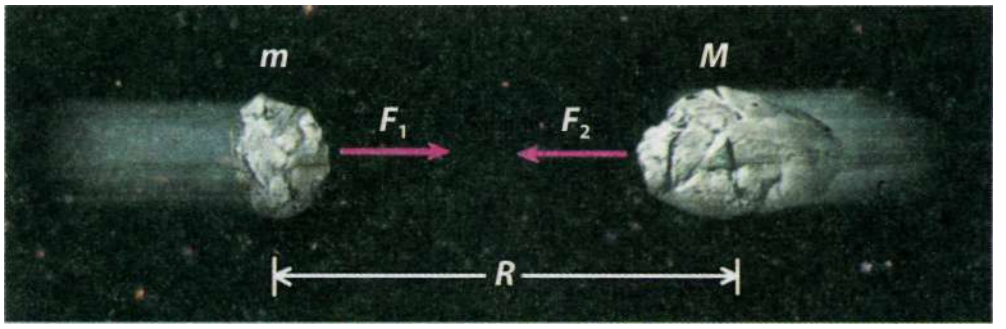
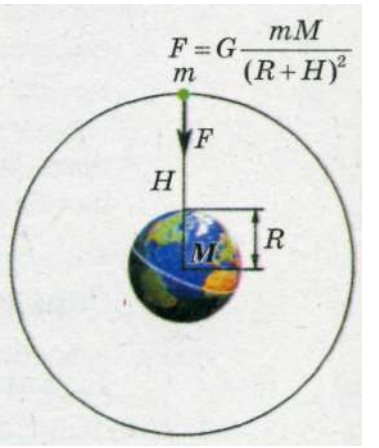


Рис. 4.8. Закон всемирного тяготения

Следует обратить внимание, что формула (4.3) справедлива только для двух материальных точек. Если тело имеет сферическую форму и плотность внутри распределена симметрично относительно центра, то массу такого тела можно считать материальной точкой, которая находится в центре сферы. Например, если космический корабль обращается вокруг Земли, то для определения силы, с которой корабль притягивается к Земле, принимают расстояние до центра Земли (рис. 4.9).

Рис. 4.9. Сила притяжения, действующая на космический корабль, зависит от расстояния $R+H$ между кораблем и центром Земли



При помощи формулы (4.3) можно определить вес космонавтов на любой планете, если известен ее радиус R и масса M (рис. 4.10). Закон всемирного

Рис. 4.10. Вес космонавтов зависит от массы планеты и ее радиуса. На астероидах космонавты должны привязываться, чтобы не улететь в космическое пространство

тяготения утверждает, что не только планета притягивается к Солнцу, но и Солнце притягивается с такой же силой к планете, поэтому движение двух тел в гравитационном поле происходит вокруг общего центра масс данной системы. То есть планета не падает на Солнце, потому что она движется с определенной скоростью по орбите, а Солнце не падает на планету под действием той же силы тяжести, ибо оно тоже обращается вокруг общего центра масс.

В реальных условиях ни одна планета не движется по эллиптической орбите, ведь законы Кеплера справедливы только для двух тел, обращающихся вокруг общего центра масс. Известно, что в Солнечной системе обращаются вокруг Солнца большие планеты и множество малых тел, поэтому каждую планету притягивает не только Солнце — одновременно притягиваются между собой все эти тела. В результате такого взаимодействия разных по величине и направлению сил движение каждой планеты становится достаточно сложным. Такое движение называют возмущением. Орбита, по которой движется при возмущенном движении планета, не является эллипсом.

Благодаря исследованиям возмущения орбиты планеты Уран астрономы теоретически предсказали существование неизвестной планеты, которую в 1846 г. И. Галле обнаружил в рассчитанном месте. Планету назвали Нептуном.

Для любознательных

Особенность закона всемирного тяготения заключается в том, что мы не знаем, каким образом передается на огромное расстояние притяжение между телами. Со времени открытия этого закона ученые придумали десятки гипотез о сути гравитационного взаимодействия, но наши знания сегодня не намного больше, чем во времена Ньютона. Правда, физики открыли еще три удивительных взаимодействия между материальными телами, которые передаются на расстоянии: электромагнитное взаимодействие, сильное и слабое взаимодействие между элементарными частицами в атомном ядре. Среди этих видов взаимодействия гравитационные силы являются самыми слабыми. Например, по сравнению с электромагнитными силами гравитационное притяжение в 10^{39} раз слабее, но только гравитация управляет движением планет, а также влияет на эволюцию Вселенной. Это можно объяснить тем, что электрические заряды имеют разный знак («+» и «-»), поэтому тела большой массы являются в основном нейтральными, и на большом расстоянии электромагнитное взаимодействие между ними довольно слабое.

Определение расстояний до планет

Для измерения расстояний до планет можно использовать третий закон Кеплера, но для этого надо определить расстояние от Земли до

любой планеты. Предположим, что нужно измерить расстояние L от центра Земли O до светила S. За основу принимают радиус Земли $R_\oplus$, и измеряют угол $\angle ASO = p$, так называемый горизонтальный параллакс светила, ибо одна сторона прямоугольного треугольника — катет AS, является горизонтом для точки A (рис. 4.11). *Горизонтальный параллакс* (от греч.— смещение) *светила* — это угол, под которым было бы видно перпендикулярный к лучу зрения радиус Земли, если бы сам наблюдатель находился на этом светиле. Из прямоугольного треугольника OAS определяем гипотенузу OS:

$$OS = L = \frac{R_\oplus}{\sin p}. \qquad \textbf{(4.4)}$$

Правда, при определении параллакса возникает проблема: как астрономы могут измерить угол p с поверхности Земли, не летая в космос? Чтобы определить горизонтальный параллакс светила S, нужно двум наблюдателям одновременно из точек A и B измерить небесные координаты (прямое восхождение и склонение) этого светила (см. § 2). Эти координаты, измеряемые одновременно из точек А и Б, будут немного отличаться. На основе этой разницы координат определяют величину горизонтального параллакса.

Чем дальше от Земли наблюдается светило, тем меньше значение параллакса. Например, самый большой горизонтальный параллакс имеет Луна, когда находится ближе всего к Земле: $p = 1°01'$. Горизонтальный параллакс планет гораздо меньше, и он не остается постоянным, поскольку расстояния между Землей и планетами меняются. Среди планет самый большой параллакс имеет Венера — 31", а самый маленький 0,21" — Нептун. Для сравнения: букву «О» в этой книге видно под углом 1" с расстояния 100 м — такие крошечные углы астрономы вынуждены измерять для определения горизонтальных параллаксов тел в Солнечной системе. О том, как измерить расстояние до звезд, смотри в § 13.

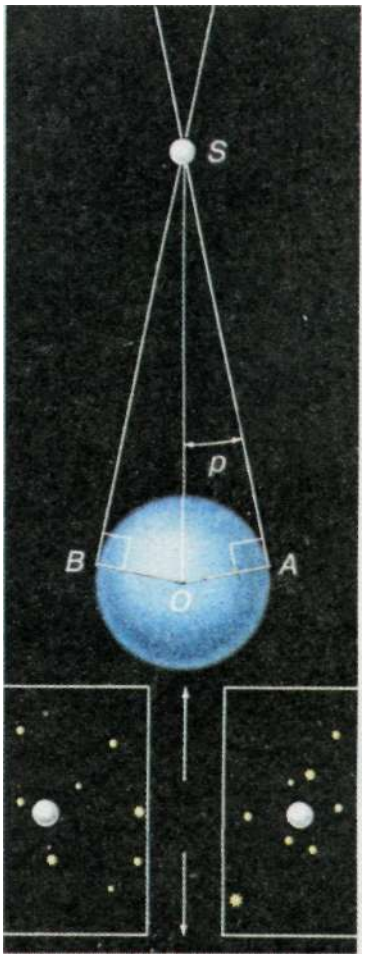


Рис. 4.11. Горизонтальный параллакс p светила определяет угол, под которым с этого светила был бы виден перпендикулярный к лучу зрения радиус Земли

Горизонтальные параллаксы некоторых тел

Луна	1° = 60′
Венера	31″
Марс	23″
Солнце	8,8″
Нептун	0,2″

Выводы

Все космические тела от планет до галактик движутся по закону всемирного тяготения, который был открыт Ньютоном. Законы Кеплера определяют форму орбиты, скорость движения планет Солнечной системы и их периоды обращения вокруг Солнца.

Тесты

1. Как называется расположение планет в космическом пространстве относительно Земли и Солнца?
   А. Конфигурация. Б. Противостояние. В. Космогония. Г. Вознесение. Д. Перемещение.
2. В противостоянии могут наблюдаться такие планеты:
   А. Сатурн. Б. Венера. В. Меркурий. Г. Юпитер.
3. В соединении с Солнцем могут находиться такие планеты:
   А. Сатурн. Б. Венера. В. Меркурий. Г. Юпитер.
4. В каком созвездии можно увидеть Марс во время противостояния, которое происходит 23 сентября?
   А. Лев. Б. Козерог. В. Орион. Г. Рыбы. Д. Водолей.
5. Как называется точка орбиты, в которой планета находится ближе всего к Солнцу?
   А. Перигелий. Б. Перигей. В. Апогей. Г. Афелий. Д. Апекс.
6. Когда Марс виден на небе всю ночь?
7. Можно ли увидеть Венеру в то время, когда она находится ближе всего к Земле?
8. В какое время года орбитальная скорость Земли самая большая?
9. Почему Меркурий трудно увидеть на небе, хотя он бывает ярче Сириуса?
10. Можно ли с поверхности Марса увидеть Землю во время противостояния Марса?
11. Астероид обращается вокруг Солнца с периодом 3 года. Может ли этот астероид столкнуться с Землей, если в афелии его расстояние равно 3 а. е. от Солнца?
12. Может ли существовать в Солнечной системе комета, если она в афелии проходит возле Нептуна и обращается вокруг Солнца с периодом 100 лет?
13. Выведите формулу для определения веса космонавтов на любой планете, если известны ее радиус и масса.

Диспуты на предложенные темы

14. Как изменится климат Земли, если эксцентриситет земной орбиты будет равен 0,5, а большая полуось останется такой, как сейчас? Считать, что угол наклона оси обращения к плоскости эклиптики останется 66,5°.

Задания для наблюдений

15. Определите при помощи астрономического календаря, какая планета Солнечной системы находится ближе всего к Земле в день вашего рождения в текущем году. В каком созвездии ее можно увидеть сегодня ночью?

Ключевые понятия и термины:

Афелий, элонгация, конфигурации планет, параллакс, перигелий, противостояние, сидерический и синодический период.

§ 5. Основы космонавтики

Изучив этот параграф, мы:

вспомним ученых, внесших значительный вклад в освоение космоса;

узнаем, как можно изменять орбиту космических кораблей;

убедимся, что космонавтика широко используется на Земле.

1 Зарождение космонавтики

Космонавтика изучает движение искусственных спутников Земли (ИСЗ), космических кораблей и межпланетных станций в космическом пространстве. Существует различие между природными телами и искусственными космическими аппаратами: последние при помощи реактивных двигателей могут изменять параметры своей орбиты.

Значительный вклад в создание научных основ космонавтики, пилотируемых космических кораблей и автоматических межпланетных станций (АМС) внесли украинские ученые.

К. Э. Циолковский (рис. 5.1) создал теорию реактивного движения. В 1902 г. он впервые доказал, что только при помощи реактивного двигателя можно достичь первой космической скорости.

Рис. 5.1. К. Э. Циолковский (1857—1935)

Украинский ученый Ю. В. Кондратюк (А. Г. Шаргей; рис. 5.2) в 1918 г. рассчитал траекторию полета на Луну, которая впоследствии была применена в США при подготовке космических экспедиций «Аполлон».

Выдающийся конструктор первых в мире космических кораблей и межпланетных станций С. П. Королев (1906—1966) родился и учился в Украине. Под его руководством 4 октября 1957 г. в Советском Союзе был запущен первый в мире ИСЗ, созданы АМС, которые первыми в истории космонавтики достигли Луны, Венеры и Марса. Наибольшим достижением космонавтики в то время был первый пилотируемый полет космического корабля «Восток», на котором 12 апреля 1961 г. летчик-космонавт Ю. А. Гагарин совершил кругосветное космическое путешествие.

Рис. 5.2. Ю. В. Кондратюк (1898—1942)

2 Круговая скорость

Рассмотрим орбиту спутника, который обращается по круговой орбите на высоте H над поверхностью Земли (рис. 5.3). Для того чтобы орбита была постоянной и не изменяла свои параметры, должны выполняться два условия.

1. Вектор скорости должен быть направлен по касательной к орбите.
2. Величина линейной скорости спутника должна равняться круговой скорости, которая определяется уравнением:

$$V_k = \sqrt{G\frac{M_\oplus}{R_\oplus + H}}, \qquad (5.1)$$

где — $M_\oplus$ =6 10^{24} кг — масса Земли; G=6,67 10^{-11} (Н • м^2)/кг^2 — постоянная всемирного тяготения; H — высота спутника над поверхностью Земли, $R_\oplus$ = 6,37 • 10^3 м — радиус Земли.

Из формулы (5.1) следует, что самое большое значение круговая скорость имеет при высоте $H = 0$, то есть в том случае, когда спутник движется у самой поверхности Земли. Такая скорость в космонавтике называется *первой космической:*

$$V_1 = \sqrt{G\frac{M_\oplus}{R_\oplus}} \qquad (5.2.)$$

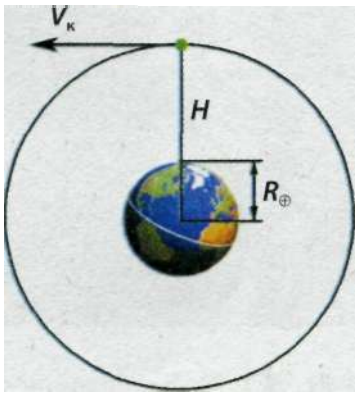


Рис. 5.3. Круговая скорость определяет движение тела вокруг Земли на постоянной высоте H над ее поверхностью

Первая космическая скорость V, — 7,9 км/с — скорость, которую надо придать телу, чтобы оно обращалось вокруг Земли по круговой орбите, радиус которой равен радиусу Земли

В реальных условиях ни один спутник не может обращаться вокруг Земли по круговой орбите с первой космической скоростью, ибо плотная атмосфера очень тормозит движение тел, которые перемещаются с большой скоростью. Если бы даже скорость ракеты в атмосфере достигла величины первой космической, то большое сопротивление воздуха разогрело бы ее поверхность до температуры плавления. Поэтому ракеты во время старта с поверхности Земли сначала поднимаются вертикально вверх до высоты нескольких сотен километров, где сопротивление воздуха незначительно, и только тогда спутнику сообщается соответствующая скорость в горизонтальном направлении.

Для любознательных

Невесомость во время полета в космическом корабле наступает в момент, когда прекращают работу ракетные двигатели. Для того чтобы ощутить состояние невесомости, не обязательно лететь в космос. Любой прыжок в высоту, или длину, когда исчезает опора под ногами, дает нам кратковременное ощущение состояния невесомости.

3 Движение космических аппаратов по эллиптическим орбитам

Если величина скорости спутника будет отличаться от круговой или вектор скорости не будет параллелен плоскости горизонта, тогда космический аппарат (КА) будет обращаться вокруг Земли по эллиптической траектории. Согласно первому закону Кеплера, в одном из фокусов эллипса должен находиться центр Земли, поэтому плоскость орбиты спутника должна пересекать плоскость экватора или совпадать с ней (рис. 5.4). В этом случае высота спутника над поверхностью Земли изменяется в пределах от **перигея** до **апогея.** Эти названия аналогичны соответствующим точкам на орбитах планет — перигелия и афелия (см. § 4).

Перигей
Точка орбиты КА, которая находится ближе всего к Земле

Апогей
Точка орбиты КА, которая находится дальше всего от Земли

Если спутник движется по эллиптической траектории, то, согласно второму закону Кеплера, изменяется его скорость: наибольшую скорость спутник имеет в перигее, а наименьшую — в апогее.

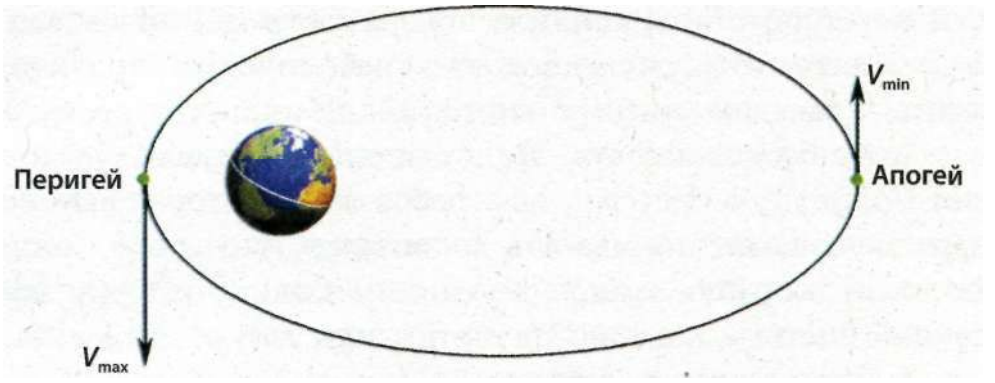


Рис. 5.4. Движение спутника по эллиптической траектории похоже на обращение планет в зоне тяготения Солнца. Изменение скорости определяется законом сохранения энергии: сумма кинетической и потенциальной энергии тела при движении по орбите остается постоянной

4 Период обращения космического аппарата

Если космический аппарат движется по эллипсу вокруг Земли с переменной скоростью, его период обращения можно определить с помощью третьего закона Кеплера (см. § 4):

$$\frac{T_C^2}{T_M^2} = \frac{a_C^3}{a_M^3}, \qquad (5.3)$$

где T_C — период обращения спутника вокруг Земли; $T_M = 27{,}3$ суток — сидерический период обращения Луны вокруг Земли; a_C — большая полуось орбиты спутника; $a_M = 380000$ км большая полуось орбиты Луны. Из уравнения (5.3) определим:

$$T_C = T_M \sqrt{\frac{a_C^3}{a_M^3}} \qquad (5.4)$$

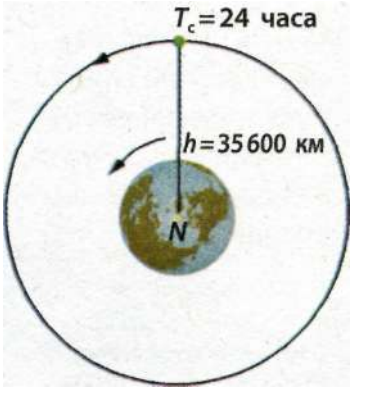


Рис. 5.5. Геостационарный спутник обращается на высоте 35600 км только по круговой орбите в плоскости экватора с периодом 24 ч (*N* — Северный полюс)

В космонавтике особую роль играют ИСЗ, которые «висят» над одной точкой Земли — это *геостационарные спутники,* использующиеся для космической связи (рис. 5.3).

Для любознательных

Для обеспечения глобальной связи достаточно вывести на геостационарную орбиту три спутника, которые должны «висеть» в вершинах правильного треугольника. Сейчас на таких орбитах находятся уже несколько десятков коммерческих спутников разных стран, обеспечивая ретрансляцию телевизионных программ, мобильную телефонную связь, компьютерную сеть Интернет. Спутники связи выводят на геостационарные орбиты также украинские ракеты «Зенит» и «Днепр».

5 Вторая и третья космические скорости

Эти скорости определяют условия соответственно для межпланетных и межзвездных перелетов. Если сравнить вторую космическую скорость V_2 с первой V_1 (5.2), то получим соотношение:

$$V_2 = \sqrt{2}V_1. \qquad (5.5)$$

Космический корабль, стартующий с поверхности Земли со второй космической скоростью и движущийся по параболической траектории, мог бы полететь к звездам, потому что парабола является незамкнутой кривой и уходит в бесконечность. Но в реальных условиях такой корабль не покинет Солнечную систему, ибо любое тело, которое вышло за пределы земного тяготения, попадает в гравитационное поле Солнца. То есть космический корабль станет спутником Солнца и будет обращаться в Солнечной системе подобно планетам или астероидам.

Вторая космическая скорость - $V_2 = \sqrt{2}V_1 = 11{,}2$ км/с, то есть наименьшая скорость, при которой тело покидает сферу тяготения Земли и может стать спутником Солнца

Для полета за пределы Солнечной системы космическому кораблю нужно сообщить третью космическую скорость V_3=16,7 км/с. К сожалению, мощность современных реактивных двигателей еще недостаточна для полета к звездам при старте непосредственно с поверхности Земли. Но если *КА* пролетает через гравитационное поле другой планеты, он может получить дополнительную энергию, которая позволяет в наше время совершать межзвездные полеты. В США уже запустили несколько таких АМС («Пионер-10,11» и «Вояджер-1,2»), которые в гравитационном поле планет-гигантов увеличили свою скорость настолько, что в будущем вылетят за пределы Солнечной системы.

Третья космическая скорость — минимальная скорость, когда ракета во время старта с поверхности Земли может покинуть сферу притяжения Солнца и улететь в галактическое пространство

Для любознательных

Полет на Луну происходит в гравитационном поле Земли, поэтому КА летит по эллипсу, в фокусе которого находится центр Земли. Самая выгодная траектория полета с минимальным расходом топлива — это эллипс, являющийся касательным к орбите Луны.

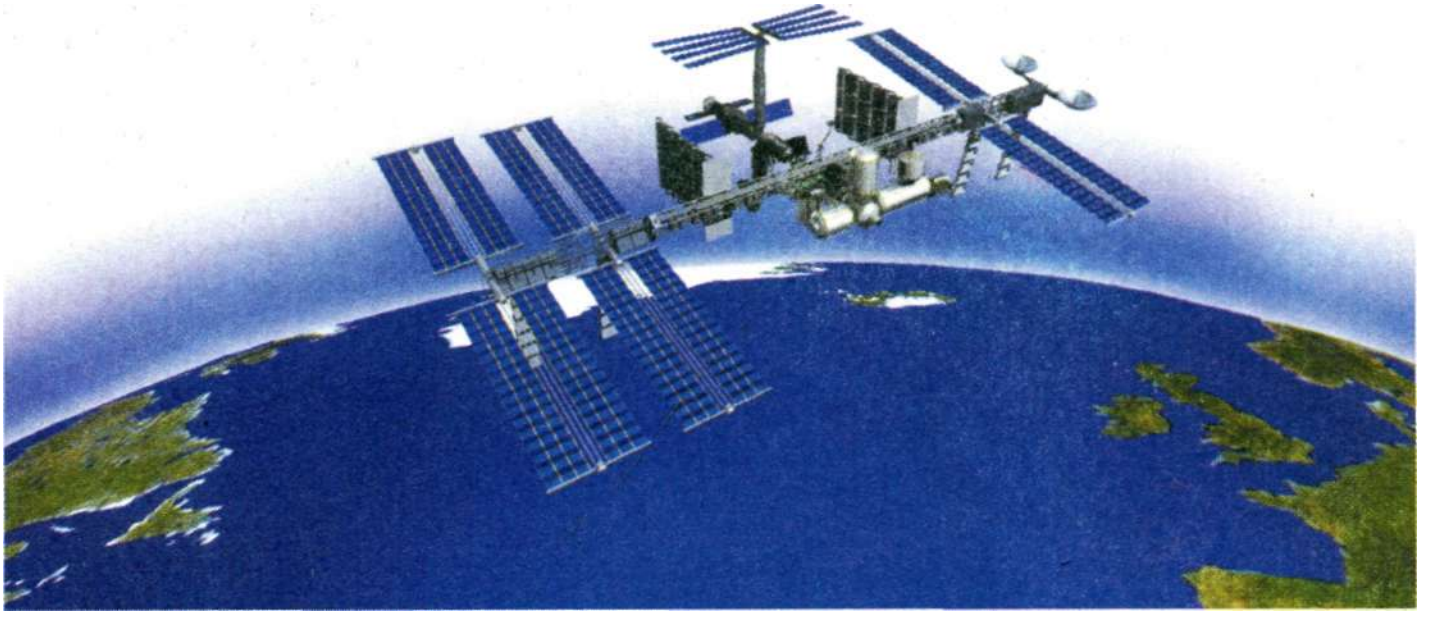
Во время межпланетных полетов, например на Марс, КА летит по эллипсу, в фокусе которого находится Солнце. Самая выгодная траектория с наименьшей затратой энергии проходит по эллипсу, который является касательным к орбите Земли и Марса. Точки старта и прилета лежат на одной прямой по разные стороны от Солнца. Такой полет в одну сторону длится более 8 месяцев. Космонавтам, которые в недалеком будущем посетят Марс, надо учесть, что сразу же вернуться на Землю они не смогут: Земля по орбите движется быстрее, чем Марс, и через 8 месяцев его опередит. До возвращения космонавтам нужно находиться на Марсе еще 8 месяцев, пока Земля займет выгодное положение. То есть общая продолжительность экспедиции на Марс будет не менее двух лет.

6 Практическое применение космонавтики

В наше время космонавтика служит не только для изучения Вселенной, но и приносит большую практическую пользу людям на Земле. Искусственные космические аппараты изучают погоду, исследуют космос, помогают решать экологические проблемы, ведут поиски полезных ископаемых, обеспечивают радионавигацию (рис. 5.6, 5.7). Но наибольшие заслуги космонавтики в развитии космических средств связи, космического мобильного телефона, телевидения и Интернета.

Украина принимает активное участие в международных космических программах. Ученые проектируют строительство космических солнечных электростанций, которые будут передавать энергию на Землю. В недалеком будущем кто-нибудь из нынешних учеников

Рис. 5.6. Международная космическая станция



полетит на Марс, будет осваивать Луну и астероиды. Нас ждут загадочные чужие миры и встреча с другими формами жизни, а возможно, и с внеземными цивилизациями.

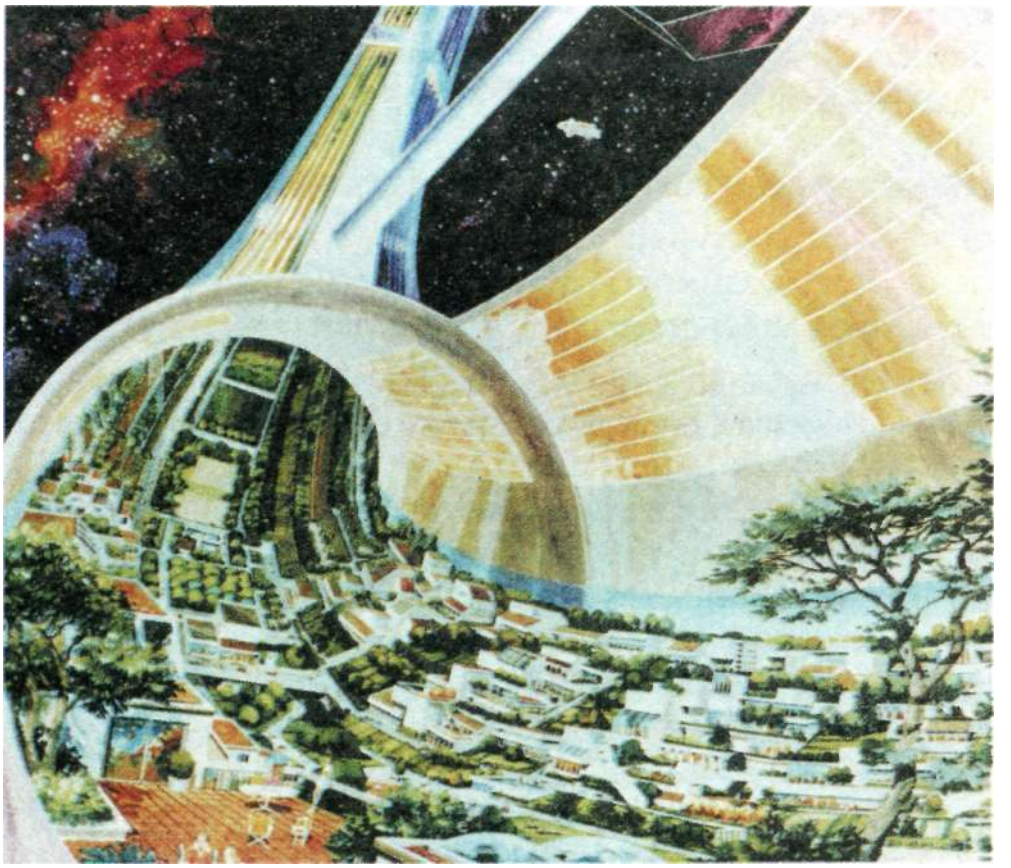


Рис. 5.7. Космическая станция в виде гигантского кольца, идею которой предложил Циолковский. Вращение станции вокруг оси создаст искусственное притяжение

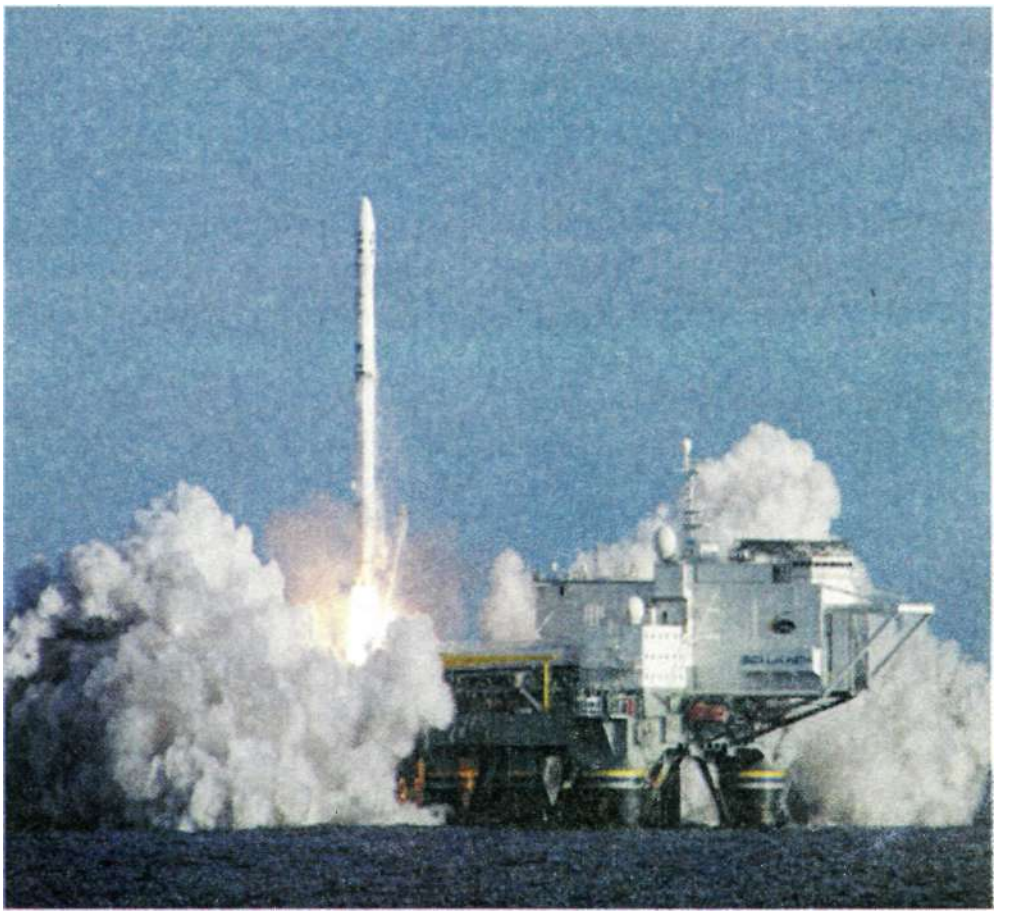


Рис. 5.8. Старт украинской ракеты «Зенит» с космодрома в Тихом океане

Выводы

Космонавтика как наука о полетах в межпланетное пространство бурно развивается и занимает особое место в методах изучения небесных тел и космической среды. Кроме того в наше время космонавтика успешно применяется в средствах связи (телефон, радио, телевидение, Интернет), в навигации, геологии, метеорологии и многих других областях деятельности человека.

Тесты

1. С первой космической скоростью может лететь космический корабль, обращающийся вокруг Земли по круговой орбите на такой высоте над поверхностью:
А. О км. Б. 100 км. В. 200 км. Г. 1000 км. Д. 10000 км.

2. Ракета стартует с поверхности Земли со второй космической скоростью. Куда она долетит?
А. До Луны. Б. До Солнца. В. Станет спутником Солнца. Г. Станет спутником Марса. Д. Полетит к звездам.

3. Космический корабль обращается вокруг Земли по эллиптической орбите. Как называется точка орбиты, в которой космонавты находятся ближе всего к Земле?
А. Перигей. Б. Перигелий. В. Апогей. Г. Афелий. Д. Парсек.

4. Ракета с космическим кораблем стартует с космодрома. Когда космонавты почувствуют невесомость?
А. На высоте 100 м. Б. На высоте 100 км. В. Когда выключится реактивный двигатель. Г. Когда ракета попадет в безвоздушное пространство.

5. Какие из этих физических законов не выполняются в невесомости?
А. Закон Гука. Б. Закон Кулона. В. Закон всемирного тяготения. Г. Закон Бойля-Мариотта. Д. Закон Архимеда.

6. Почему ни один спутник не может обращаться вокруг Земли по круговой орбите с первой космической скоростью?
7. Чем отличается перигей от перигелия?
8. Почему при запуске космического корабля возникают перегрузки?
9. Выполняется ли в невесомости закон Архимеда?
10. Космический корабль обращается вокруг Земли по круговой орбите на высоте 200 км. Определите линейную скорость корабля.
11. Может ли космический корабль сделать за сутки 24 оборота вокруг Земли?

Диспуты на предложенные темы

12. Что вы можете предложить для будущих космических программ, в которых могли бы принимать участие украинские ученые?

Задания для наблюдений

13. Вечером найдите на небе спутник или международную космическую станцию, которые освещаются Солнцем и с поверхности Земли выглядят, как яркие точки. Нарисуйте их путь среди созвездий в течение 10 минут. Чем отличается полет спутника от движения планет?

Ключевые понятия и термины:

Апогей, геостационарный спутник, вторая космическая скорость, круговая скорость, межпланетная космическая станция, перигей, первая космическая скорость, искусственный спутник Земли.

§ 6. Методы астрофизических исследований

Изучив этот параграф, мы:

узнаем, как астрономы исследуют природу космических тел;

познакомимся с устройством современных телескопов, при помощи которых можно путешествовать не только в пространстве, но и во времени;

увидим, как можно зарегистрировать невидимые для глаза лучи.

1 Что изучает астрофизика?

Между физикой и астрофизикой есть много общего — эти науки изучают законы мира, в котором мы живем. Но между ними есть и одна существенная разница — физики могут проверить свои теоретические расчеты при помощи соответствующих экспериментов, в то время как астрономы в большинстве случаев такой возможности не имеют, так как изучают природу далеких космических объектов по их излучениям.

Астрофизика изучает строение космических тел, физические условия на поверхности и внутри тел, химический состав, источники энергии и т. д.

В этом параграфе мы рассмотрим основные методы, при помощи которых астрономы собирают информацию о событиях в дальнем космосе. Оказывается, что основным источником такой информации являются электромагнитные волны и элементарные частицы, которые излучают космические тела, а также гравитационные и электромагнитные поля, при помощи которых эти тела между собой взаимодействуют.

Наблюдение за объектами Вселенной осуществляется в специальных астрономических обсерваториях. При этом астрономы имеют определенное преимущество перед физиками — они могут наблюдать за процессами, которые происходили миллионы или миллиарды лет назад.

Для любознательных

Астрофизические эксперименты в космосе все же Происходят — их осуществляет сама природа, а астрономы наблюдают за теми процессами, которые происходят в далеких мирах, и анализируют полученные результаты. Мы наблюдаем определенные явления во времени и видим такое далекое прошлое Вселенной, когда еще не только не существовала наша цивилизация, но даже не было Солнечной системы. То есть астрофизические методы изучения дальнего космоса фактически не отличаются от экспериментов, которые проводят физики на поверхности Земли. К тому же при помощи АМС астрономы проводят настоящие физические эксперименты как на поверхности других космических тел, так и в межпланетном пространстве.

2 Черное тело

Как известно из курса физики, атомы могут излучать или поглощать энергию электромагнитных волн различной частоты — от этого зависит яркость и цвет того или иного тела. Для расчетов интенсивности излучения вводится понятие *черного тела,* которое может идеально поглощать и излучать электромагнитные колебания в диапазоне всех длин волн (непрерывный спектр).

Звезды излучают электромагнитные волны разной длины λ, в зависимости от температуры поверхности больше энергии приходится на определенную часть спектра λ_{max} (рис. 6.1). Этим объясняются разнообразные цвета звезд от красного до голубого (см. §13). Используя законы излучения черного тела, которые открыли физики на Земле, астрономы измеряют температуру далеких космических светил (рис. 6.2). При температуре T = 300 K черное тело излучает энергию преимущественно в инфракрасной части спектра, которая не воспринимается невооруженным глазом. При низких температурах такое тело в состоянии термодинамического равновесия имеет действительно черный цвет.

Черное тело поглощает всю энергию, которая падает на его поверхность, и всю энергию переизлучает в окружающее пространство, но в другой части спектра

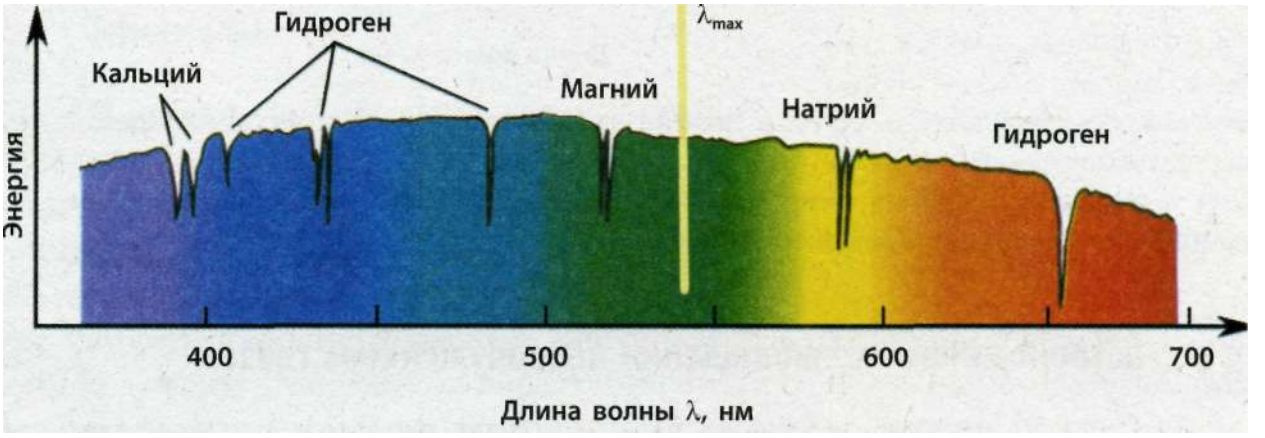


Рис. 6.1. Спектр излучения звезды с температурой T = 5800 K. Впадины на графике соответствуют темным линиям поглощения, которые образуют отдельные химические элементы

Для любознательных

В природе абсолютно черных тел не существует, даже черная сажа поглощает не более 99% электромагнитных волн. С другой стороны, если бы абсолютно черное тело только поглощало электромагнитные волны, то со временем температура такого тела стала бы бесконечно большой. Поэтому черное тело излучает энергию, причем поглощение и излучение могут происходить в разных частотах. Однако при некоторой температуре устанавливается равновесие между излучаемой и поглощенной энергией. В зависимости от равновесной температуры цвет абсолютно черного тела не обязательно будет черным — например, сажа в печи при высокой температуре имеет красный или даже белый цвет.

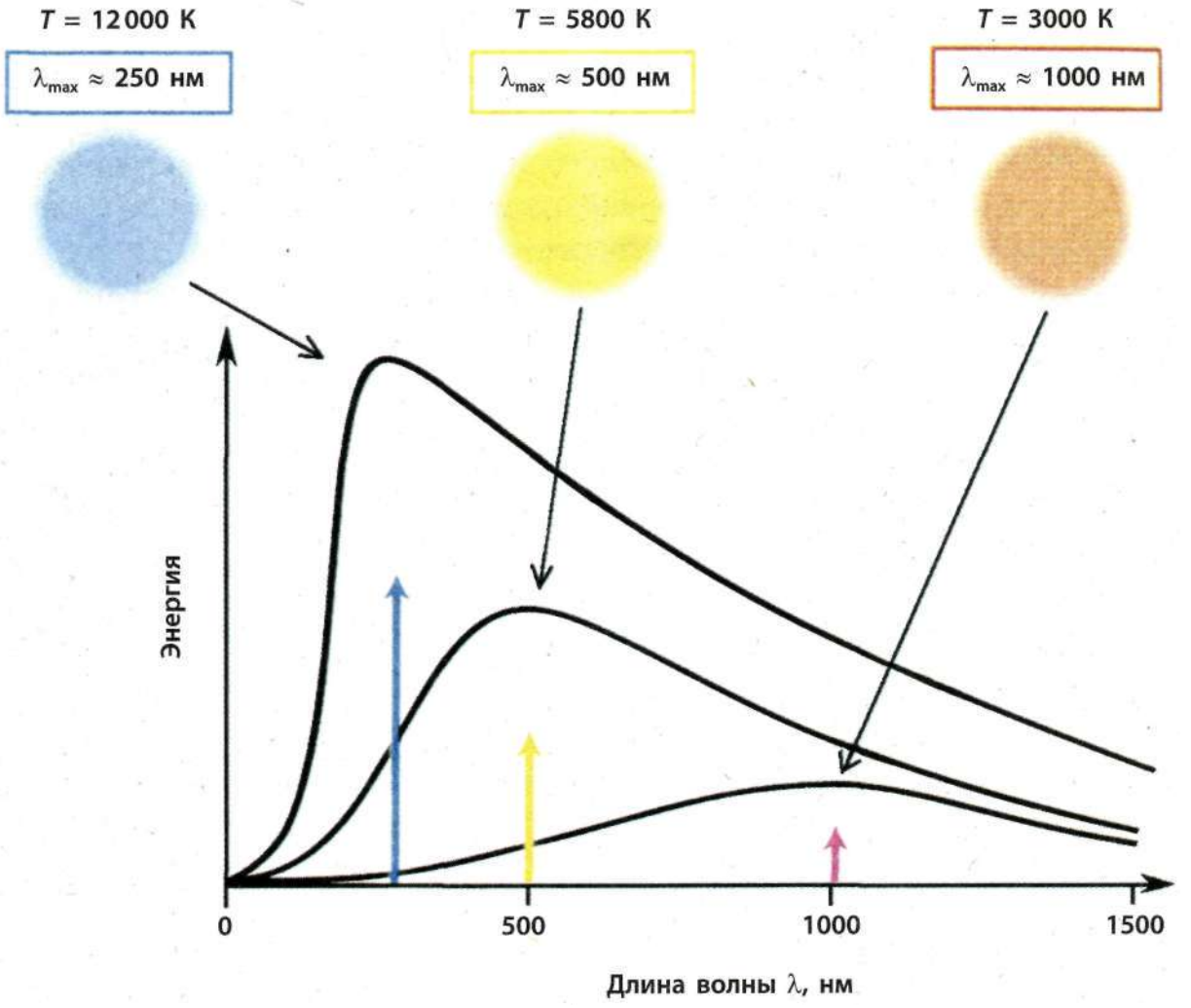


Рис. 6.2. Распределение энергии в спектре излучения звезд. Цвет звезд определяет температуру поверхности Т: у голубых звезд температура 12000 К, у красных — 3000 К. При увеличении температуры на поверхности звезды уменьшается длина волны λ_{max}, соответствующая максимуму энергии излучения

3 Астрономические наблюдения невооруженным глазом

Глаз человека является уникальным органом чувств, при помощи которого мы получаем более 90% информации об окружающем мире. Оптические характеристики глаза определяются разрешением и чувствительностью.

Разрешающая способность глаза, или *острота зрения,*— это способность различать объекты определенных угловых размеров. Установлено, что разрешающая способность глаза человека не превышает $1'$ (одна минута дуги; рис. 6.3). Это означает, что мы можем видеть отдельно две звезды (или две буквы в тексте книги), если угол между ними $\alpha \geqslant 1'$, а если $\alpha < 1'$, то эти звезды сливаются в одно светило, поэтому различить их невозможно.

Мы различаем диски Луны и Солнца, потому что угол, под которым виден диаметр этих светил (угловой диаметр), около $30'$, в то время как угловые диаметры планет и звезд меньше $1'$, поэтому эти

светила невооруженным глазом видны, как яркие точки. С планеты Нептун диск Солнца будет выглядеть для космонавтов яркой звездой.

Чувствительность глаза определяется порогом восприятия отдельных квантов света. Самую большую чувствительность глаз имеет в желто-зеленой части спектра, и мы можем реагировать на 7—10 квантов, которые попадают на сетчатку за 0,2—0,3 с. В астрономии чувствительность глаза можно определить при помощи **видимых звездных величин,** характеризующих яркость небесных светил (см. § 13).

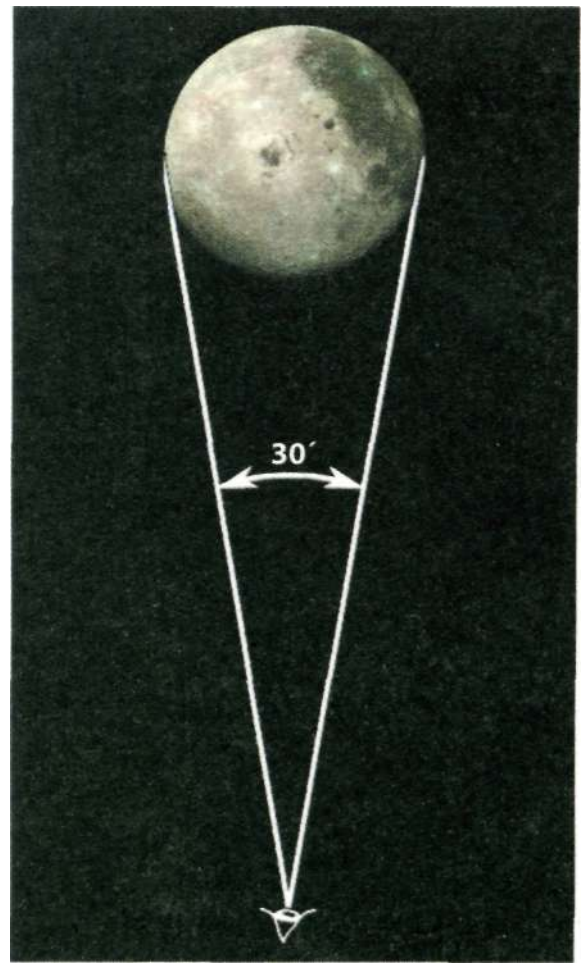


Рис. 6.3. Мы различаем диск Луны, потому что его угловой диаметр 30', в то время как кратеры невооруженным глазом не видны, потому что их угловой диаметр меньше $1'$. Острота зрения определяется углом $\alpha \geqslant 1'$

Для любознательных

Чувствительность глаза зависит и от диаметра зрачка — в темноте зрачки расширяются, а днем сужаются. Перед астрономическими наблюдениями надо 5 мин посидеть в темноте, тогда чувствительность глаза увеличится.

4 Телескопы

К сожалению, большинство космических объектов мы не можем наблюдать невооруженным глазом, потому что его возможности ограничены. **Телескопы** (греч. *tele* — далеко, *skopos* — видеть) позволяют нам увидеть далекие небесные светила или зарегистрировать их с помощью других приемников электромагнитного излучения — фотоаппарата, видеокамеры. По конструкции телескопы можно разделить на три группы: рефракторы, или линзовые телескопы (рис. 6.4) (лат. *refractus* — преломление), *рефлекторы,* или зеркальные телескопы (рис. 6.5) (лат. *reflectio* — отбиваю), и *зеркально-линзовые* телескопы.

Предположим, что на бесконечности находится небесное светило, которое невооруженным глазом видно под углом α_1. Собирающая линза, которую называют объективом, строит изображение светила в фокальной плоскости на расстоянии F от объектива (рис. 6.4). В фокальной плоскости устанавливают фотопластинку, видеокамеру или другой приемник изображения. Для визуальных наблюдений используют короткофокусную линзу — лупу, которую называют окуляром.

Рефрактор — телескоп, в котором для получения изображения используют линзы

Рефлектор — телескоп, в котором для получения изображения используют зеркало

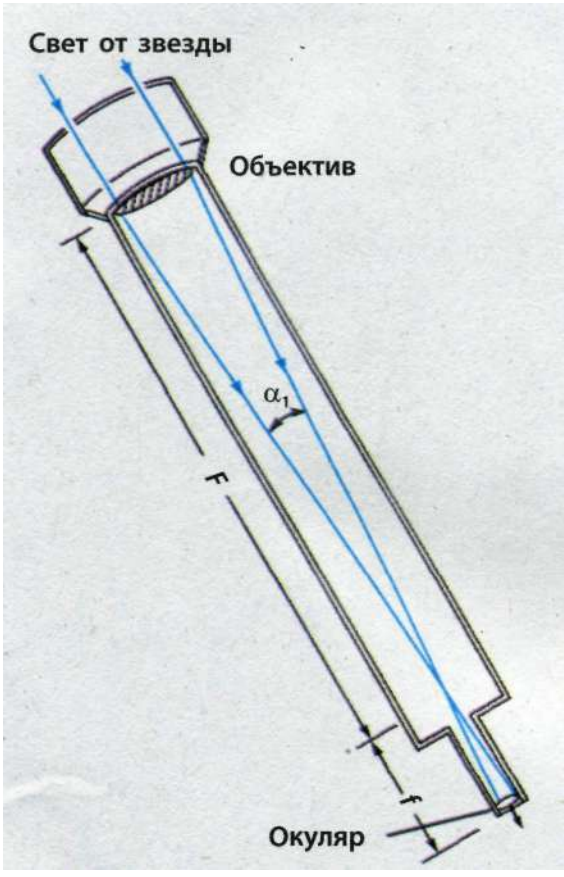


Рис. 6.4. Схема линзового телескопа (рефрактора)

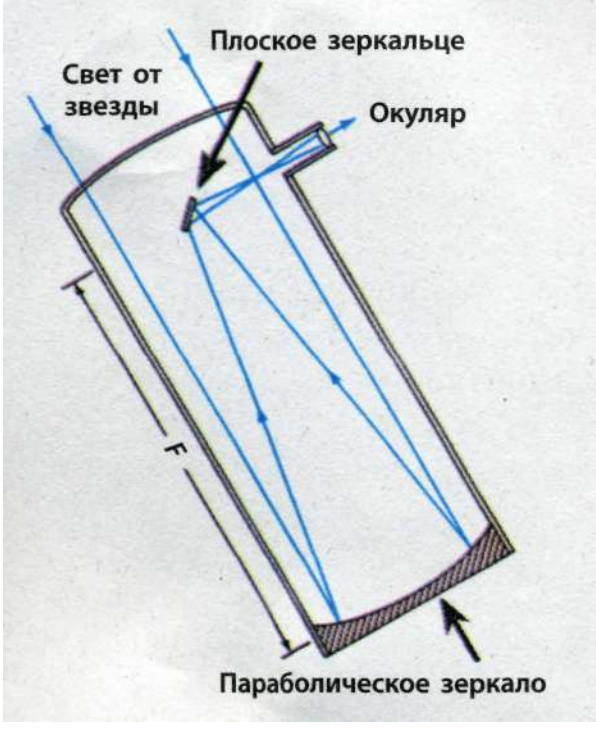


Рис. 6.5. Схема зеркального телескопа (рефлектора)

Увеличение телескопа определяется так:

$$n = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{F}{f}, \qquad (6.1)$$

где — α_2 угол зрения на выходе окуляра; α_1 — угол зрения, под которым светило видно невооруженным глазом; F, f — фокусные расстояния соответственно объектива и окуляра.

Разрешающая способность телескопа зависит от диаметра объектива, поэтому при одинаковом увеличении более четкое изображение дает телескоп с большим диаметром объектива.

Кроме того телескоп увеличивает видимую яркость светил, которая будет во столько раз больше той, что воспринимается невооруженным глазом, во сколько площадь объектива больше площади зрачка глаза. **Запомните!** В телескоп нельзя смотреть на Солнце, поскольку его яркость будет такой большой, что вы можете потерять зрение.

Для любознательных = = = = = = = =

Для определения различных физических характеристик космических тел (движения, температуры, химического состава и т. д.) необходимо проводить спектральные наблюдения, то есть надо измерять, как распределяется излучение энергии в различных участках спектра. Для этого создан ряд дополнительных устройств и приборов (спектрографы, телевизионные камеры и пр.), которые совокупно с телескопом дают возможность отдельно выделять и исследовать излучение участков спектра.

Школьные телескопы имеют объективы с фокусным расстоянием 80—100 см, и набор окуляров с фокусными расстояниями 1—6 см. То есть увеличение школьных телескопов по формуле (6.1) может быть разным (от 15 до 100 раз) в зависимости от фокусного расстояния окуляра, применяемого во время наблюдений. В современных астрономических обсерваториях установле-

ны телескопы, имеющие объективы с фокусным расстоянием более 10 м, поэтому увеличение этих оптических приборов может превышать 1000. Но во время наблюдений такие большие увеличения не применяют, так как неоднородности земной атмосферы (ветры, загрязненность пылью) значительно ухудшают качество изображения.

5 Электронные приборы

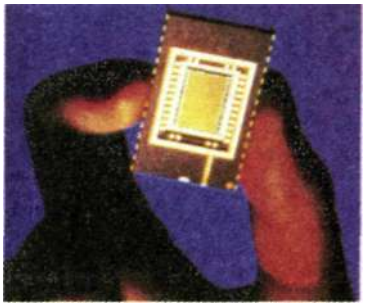


Рис. 6.6. Матрица ПЗС

Электронные приборы, использующиеся для регистрации излучения космических светил, существенно увеличивают разрешение и чувствительность телескопов. К таким приборам относятся *фотоумножитель* и *электронно-оптические преобразователи,* действие которых основано на явлении внешнего фотоэффекта. В конце XX в. для получения изображения начали применять приборы зарядовой связи (ПЗС), в которых используется явление внутреннего фотоэффекта. Они состоят из очень маленьких кремниевых элементов (пикселей), расположенных на небольшой площади. Матрицы ПЗС используют не только в астрономии, но и в домашних телекамерах и фотоаппаратах — так называемые цифровые системы для получения изображения (рис. 6.6). К тому же, ПЗС более эффективны, чем фотопленки, потому что регистрируют 75% фотонов, в то время как пленка — лишь 5%. Таким образом, ПЗС значительно увеличивают чувствительность приемников электромагнитного излучения и позволяют регистрировать космические объекты в десятки раз более слабые, чем при фотографировании.

6 Радиотелескопы

Для регистрации электромагнитного излучения в радиодиапазоне (длина волны от 1 мм и более — рис. 6.7) созданы *радиотелескопы,* которые принимают радиоволны с помощью специальных антенн и передают их в приемник. В радиоприемнике космические сигналы обрабатываются и регистрируются специальными приборами.

Существуют два типа радиотелескопов — рефлекторные и радиорешетки. Принцип действия рефлекторного радиотелескопа такой же, как телескопа-рефлектора (рис. 6.5), только зеркало для сбора электромагнитных волн изготавливается из металла. Часто это зеркало имеет форму параболоида обращения. Чем больше диаметр такой параболической «тарелки», тем выше разрешение и чувствительность радиотелескопа. Самый большой в Украине радиотелескоп РТ-70 имеет диаметр 70 м (рис. 6.8).

Радио-решетки состоят из большого количества отдельных антенн, расположенных на поверхности Земли в определенном порядке. Если смотреть сверху, то большое количество таких антенн

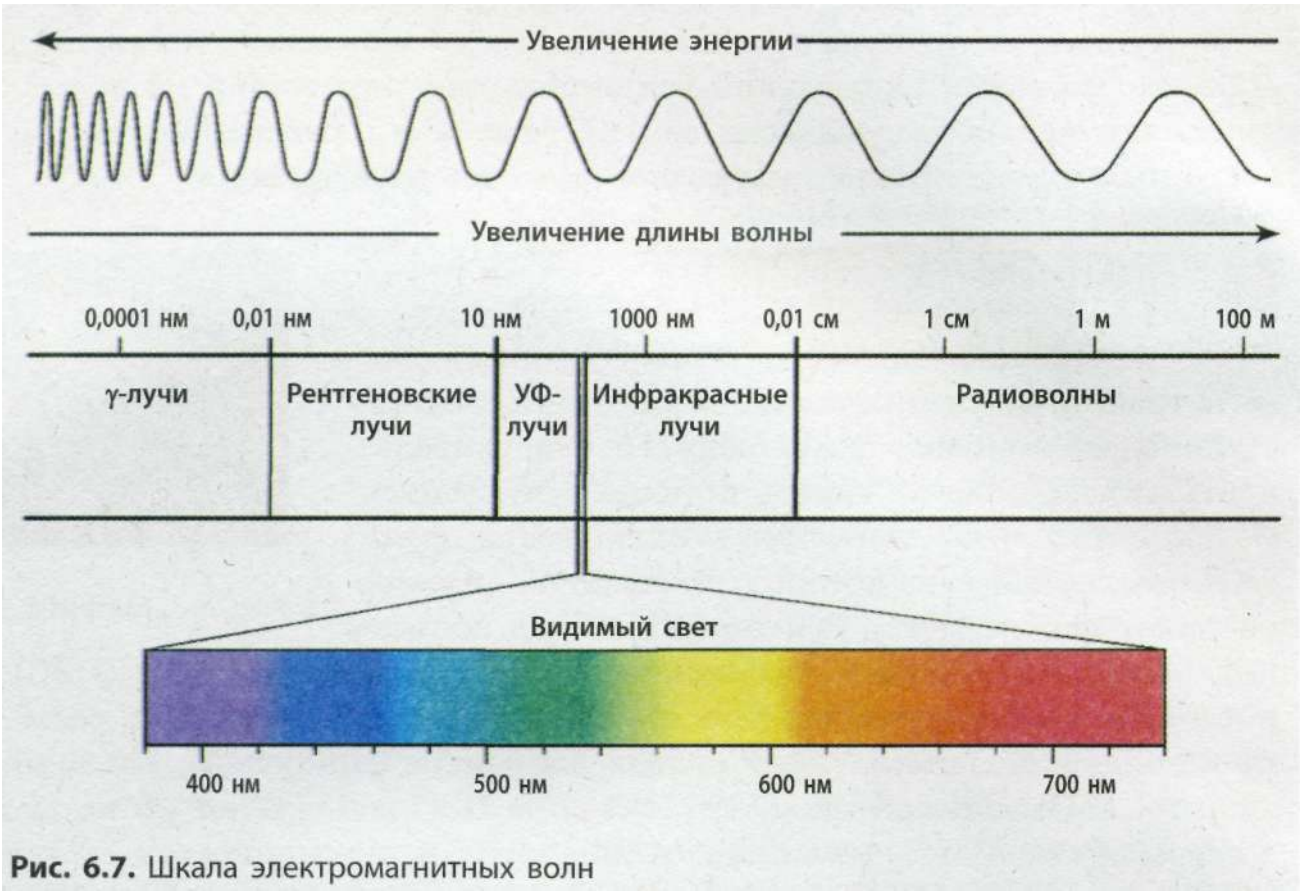


Рис. 6.7. Шкала электромагнитных волн

Рис. 6.8. Радиотелескоп РТ-70 находится в Крыму возле Евпатории

напоминает букву «Т». Крупнейший в мире радиотелескоп такого типа УТР-2 находится в Харьковской области (рис. 6.9).

Для любознательных

Принцип интерференции электромагнитных волн позволяет объединить радиотелескопы, расположенные на расстоянии десятков тысяч километров, что увеличивает их разрешение до 0,0001" — это в сотни раз превосходит возможности оптических телескопов.

Рис. 6.9. Крупнейший в мире радиотелескоп УТР-2 (украинский Т-образный радиотелескоп; размеры 1800 м х 900 м)

7 Изучение Вселенной с помощью космических аппаратов

С началом космической эры наступает новый этап изучения Вселенной с помощью ИСЗ и АМС. Космические методы имеют существенное преимущество перед наземными наблюдениями, так как значительная часть электромагнитного излучения звезд и планет задерживается в земной атмосфере. С одной стороны, это поглощение спасает живые организмы от смертельного излучения в ультрафиолетовой и рентгеновской областях спектра, но с другой — ограничивает поток информации от светил. В 1990 г. в США был создан уникальный космический телескоп Хаббла с диаметром зеркала 2,4 м (рис. 6.10). В наше время в космосе функционирует много обсерваторий, которые регистрируют и анализируют излучения всех диапазонов — от радиоволн до гамма-лучей (рис. 6.7).

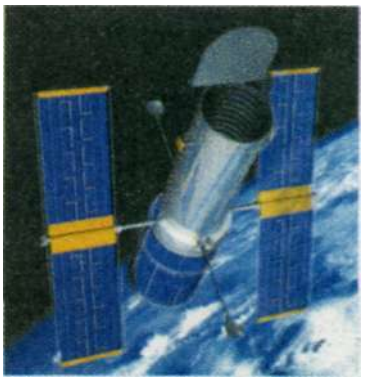


Рис. 6.10. Космический телескоп Хаббла находится за пределами атмосферы, поэтому его разрешение в 10 раз, а чувствительность в 50 раз превосходят возможности наземных телескопов

Большой вклад в изучение Вселенной сделали украинские ученые. При их участии были созданы первые КА, которые начали исследовать не только околоземное пространство, но и другие планеты. Автоматические межпланетные станции серии «Луна», «Марс», «Венера» передали на Землю изображения других планет с таким разрешением, которое в тысячи раз превосходит возможности наземных телескопов. Впервые человечество увидело панорамы чужих миров. На этих АМС была установлена аппаратура для проведения непосредственных физических, химических и биологических экспериментов.

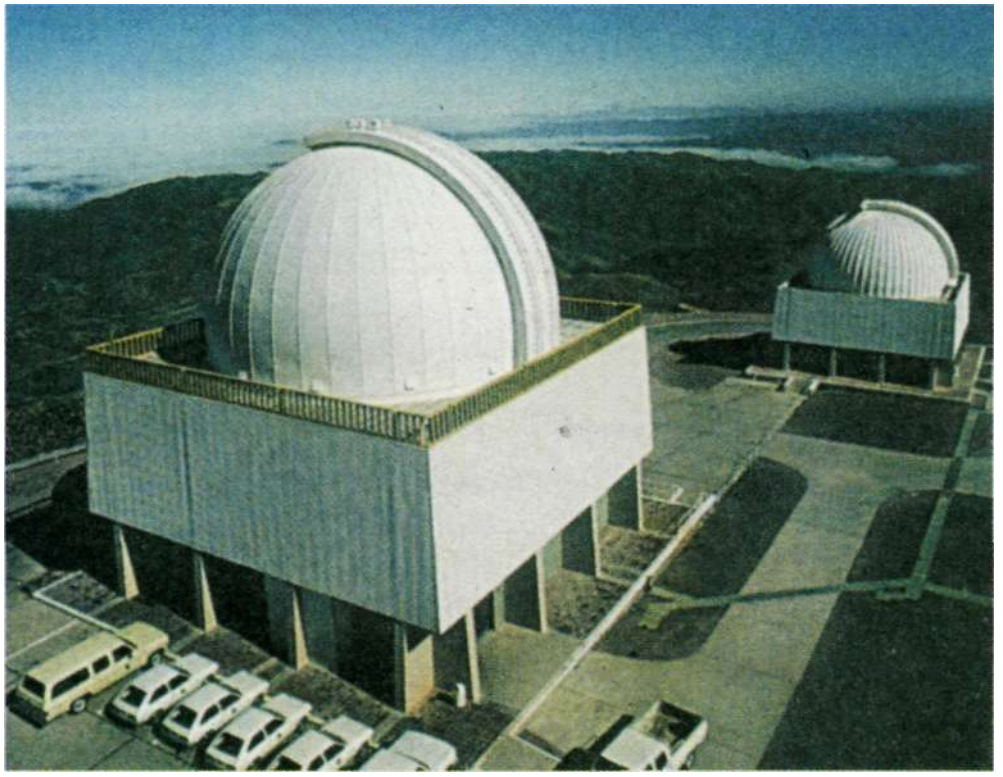


Рис. 6.11. Астрономическая обсерватория

Для любознательных

Во времена Киевской Руси астрономические наблюдения проводили монахи. В летописях они рассказывали о необычных небесных явлениях — затмениях Солнца и Луны, появлении комет или новых звезд. С изобретением телескопа для наблюдений за небесными светилами начали строить специальные астрономические обсерватории (рис. 6.11). Первыми астрономическими обсерваториями Европы считают Парижскую во Франции (1667 г.), и Гринвичскую в Англии (1675 г.). Сейчас астрономические обсерватории работают на всех материках, и их общее количество превосходит 400. В Украине работают семь астрономических обсерваторий — в Киеве (две), Крыму, Львове, Николаеве, Одессе, Полтаве — и два астрономических института в Харькове.

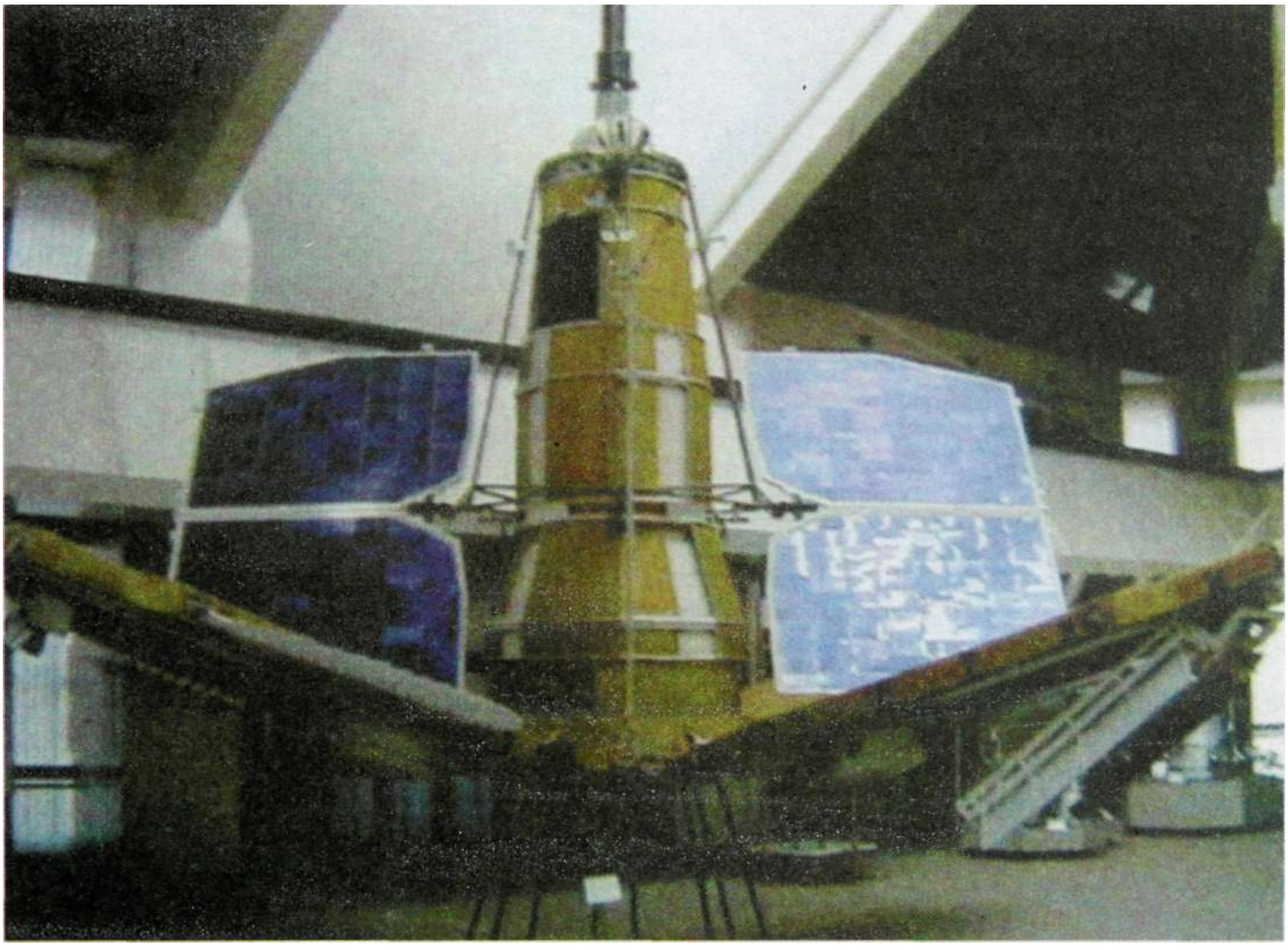


Рис. 6.12. Первый украинский спутник «Січ-1»

Выводы

Астрономия с оптической науки превратилась во всеволновую, потому что основным источником информации о Вселенной являются электромагнитные волны и элементарные частицы, которые излучают космические тела, а также гравитационные и электромагнитные поля, при помощи которых эти тела между собой взаимодействуют. Современные телескопы позволяют получать информацию о далеких мирах, и мы можем наблюдать события, которые происходили миллиарды лет назад. То есть с помощью современных астрономических приборов мы можем путешествовать не только в пространстве, но и во времени.

Тесты

1. Телескоп — это такой оптический прибор, который:
   А. Приближает к нам космические тела. Б. Увеличивает космические светила. В. Увеличивает угловой диаметр светила. Г. Приближает нас к планете. Д. Принимает радиоволны.
2. Почему крупные астрономические обсерватории строят в горах?
   А. Чтобы приблизиться к планетам. Б. В горах большая продолжительность ночи. В. В горах меньше облачность. Г. В горах более прозрачный воздух. Д. Чтобы увеличить световые помехи.
3. Может ли черное тело быть белого цвета?
   А. Не может. Б. Может, если покрасить его белой краской. В. Может, если температура тела приближается к абсолютному нулю. Г. Может, если температура тела ниже 0°С. Д. Может, если температура тела выше 6000 К.
4. В какой из этих телескопов можно увидеть наибольшее количество звезд?
   А. В рефлектор с диаметром объектива 5 м. Б. В рефрактор с диаметром объектива 1 м. В. В радиотелескоп с диаметром 20 м. Г. В телескоп с увеличением 1000 и с диаметром объектива 3 м. Д. В телескоп с диаметром объектива 3 м и увеличением 500.
5. Какие из этих светил с такой температурой на поверхности не существуют во Вселенной?
   А. Звезда с температурой 10000°С. Б. Звезда с температурой 1000 К. В. Планета с температурой -300 °С. Г. Комета с температурой 0 К. Д. Планета с температурой 300 К.
6. Чем объясняются разнообразные цвета звезд?
7. Почему в телескоп мы видим больше звезд, чем невооруженным глазом?
8. Почему наблюдения в космосе дают больше информации, чем наземные телескопы?
9. Почему звезды в телескоп видны как яркие точки, а планеты в тот же телескоп — как диск?
10. На какое наименьшее расстояние надо улететь в космос для того, чтобы космонавты невооруженным глазом видели Солнце как яркую звезду в виде точки?
11. Говорят, что некоторые люди имеют такое острое зрение, что даже невооруженным глазом различают крупные кратеры на Луне. Вычислите достоверность этих фактов, если крупнейшие кратеры на Луне имеют диаметр 200 км, а среднее расстояние до Луны 380000 км.

Диспуты на предложенные темы

12. Сейчас в космосе строится международная космическая станция, на которой Украина будет иметь космический блок. Какие астрономические приборы вы могли бы предложить для проведения исследований Вселенной?

Задания для наблюдений

13. Телескоп-рефрактор можно изготовить при помощи линзы для очков. Для объектива можно использовать линзу из очков +1 диоптрии, а в качестве окуляра — объектив фотоаппарата или другую линзу для очков +10 диоптрий. Какие объекты вы сможете наблюдать в такой телескоп?

Ключевые понятия и термины:

Непрерывный спектр, радиотелескоп, рефлектор, рефрактор, разрешающая способность глаза, спектр, спектральные наблюдения, телескоп, черное тело.

§7. Земля и Луна

Изучив этот параграф, мы узнаем:

чем отличаются две группы планет Солнечной системы;

суть парникового эффекта, который создают в атмосфере Земли некоторые газы;

о внутреннем строении Земли и почему движутся материки;

почему на Луне происходит смена фаз;

чем отличаются физические условия на поверхности Луны и Земли.

1 Планеты земной группы и планеты-гиганты

Планеты Солнечной системы по размерам и строению делятся на две группы — *планеты земной группы* (Меркурий, Венера, Земля, Марс) и *планеты-гиганты* (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун). Существенное отличие между этими группами планет заключается в таких факторах (см. таблицу):

- **планеты земной группы** имеют твердую поверхность, потому что состоят преимущественно из тяжелых химических элементов;
- **планеты-гиганты** образовались преимущественно из водорода и гелия, поэтому их средняя плотность невелика, а между атмосферой и поверхностью нет четкой границы.

Основные параметры	Планеты	
	Земная группа	Гиганты
Средняя плотность	$\approx$ 5 г/см^3	$\approx$ 1 г/см^3
Химический состав	Fe, Si, Al	H_2, He
Температура под облаками	200—700 K	$\approx$2000 K
Количество спутников	3	163

Земля ©

Радиус	6378 км
Масса	6 • 10^{24}кг
Плотность	5,5 г/см^3
Атмосфера:	N_2, 0_2, H_20
Давление у поверхности	1 атм
Большая полуось орбиты	1 а. о. ~ 150 • 10^6 км
Год	365 сут. 5 ч 48 мин 46 с
Температура поверхности:	
средняя	+16°С
максимальная	+60 °С
минимальная	-88°С

Рис. 7.1. Сравнительные размеры планет земной группы и планет-гигантов

2 Земля

Земля (рис. 7.2) движется по своей орбите вокруг Солнца со средней скоростью — около 30 км/с. Кроме того, вращаясь вокруг собственной оси, она делает один оборот за сутки. Земля окружена атмосферой, которая простирается в космос более чем на **1000** км, что создает на ее поверхности благоприятные условия для существования жизни (температура, состав атмосферы, огромное количество воды).

Рис. 7.2. Фотография Земли из космоса

Химический состав атмосферы (рис. 7.3) неоднороден. Наибольшей составляющей атмосферы у поверхности Земли (по объему 78%) является азот N_2, который играет важную роль в жизни растений. Кислород 0_2 является необходимым элементом для дыхания всех живых существ на Земле и составляет 21% объема атмосферы. Водяной пар H_20 в атмосфере задерживает инфракрасное излучение Земли и создает *парниковый эффект.* Вследствие этого температура на Земле повышается. Если бы не было в атмосфере водяного пара, то на нашей планете наступил бы ледниковый период — температура даже на экваторе могла бы понизиться до -25 °С.

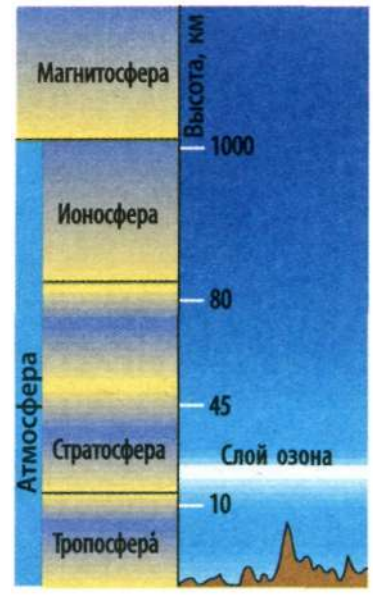


Рис. 7.3. Строение земной атмосферы. Воздух нагревается от поверхности Земли, поэтому с высотой температура в тропосфере понижается

Погода (ветры, циклоны и антициклоны) формируется в нижних слоях атмосферы, которая называется *тропосферой,* где передача энергии происходит за счет излучения и *конвекции.*

Океаны и моря на поверхности Земли аккумулируют огромное количество солнечной энергии, так как вода имеет одну из самых высоких в природе удельных теплоемкостей, поэтому на материках, как правило, в течение суток и даже в течение года не наблюдается резкого перепада температуры.

Для любознательных

Если бы количество кислорода в атмосфере составляло больше процентов, то возникали бы постоянные пожары, так как мокрые деревья горели бы как спички, а если бы кислорода в атмосфере было меньше чем 18%, то невозможно было бы зажечь спичку.

Слой озона 0_3 (аллотропная модификация кислорода) защищает живые организмы от ультрафиолетового излучения Солнца, которое уничтожает микроорганизмы, растения и вызывает заболевания у людей. Если бы не стало озонового слоя в атмосфере, то не было бы жизни на поверхности Земли.

Магнитное поле Земли создает вокруг нашей планеты на высоте свыше 500 км *пояса радиации.* Элементарные частицы, движущиеся в межпланетном пространстве с огромной скоростью, имеют

электрический заряд, взаимодействуют с магнитным полем Земли и поэтому не долетают до атмосферы. Таким образом, магнитное поле защищает жизнь на Земле от смертельных потоков космических частиц.

3 Экологическая система Земли

Экологическая система Земли находится в состоянии своеобразного устойчивого равновесия, поэтому небольшие возмущения в атмосфере или изменения солнечной радиации существенно не влияют на общее состояние этой системы. Но геологические исследования показывают, что в прошлом происходили экологические катастрофы, в результате которых резко снижалась температура и наступали ледниковые периоды. Для прогнозирования будущего нам необходимо знать причины, приводящие к таким катастрофическим процессам. Причиной внезапного понижения температуры на поверхности Земли могут быть внешние факторы, например падение астероида (см. §11), геологические процессы — извержения вулканов или движение материков, и антропогенные факторы.

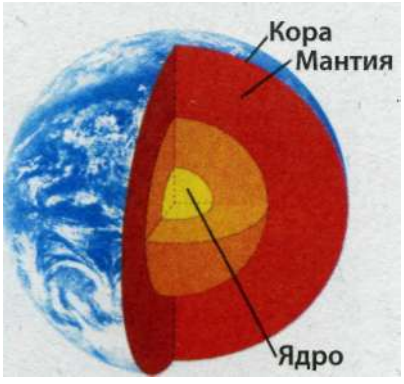


Рис. 7.4. Внутреннее строение Земли

Строение Земли. Геологические исследования показали, что температура внутри Земли каждые 34 м возрастает на 1°С и в скважинах на глубине 10 км достигает +300 °С. Центральная часть Земли образует металлическое *ядро* (рис. 7.4). Внешняя часть ядра находится в расплавленном состоянии при температуре 7000 °С, а внутренняя — твердая. Выше находится *силикатная оболочка,* или *мантия*. На мантии «плавает» кора, толщина которой неодинакова — от 5—7 км под океанами до нескольких десятков километров под материками. Вследствие конвекции в мантии земная кора разделилась на отдельные плиты, которые медленно смещаются (рис. 7.5).

Экологическую катастрофу может создать даже техногенная деятельность человека, в результате которой изменяется химический состав атмосферы. Напри-

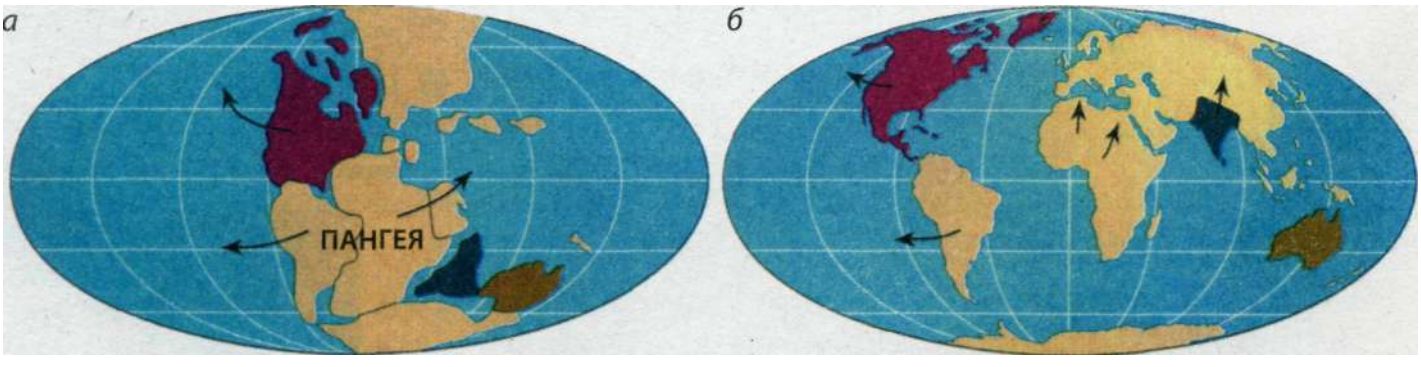


Рис. 7.5. Движение материков: *а* — Считают, что 200 млн лет назад существовал единый материк — Пангея и один мировой океан; *б* — Вследствие конвекции в мантии земная кора разделилась на отдельные тектонические плиты, которые медленно движутся

мер, сжигание большого количества органического топлива приводит к уменьшению кислорода в атмосфере и увеличению углекислого газа, создающего парниковый эффект. В XX в. средняя температура Земли повысилась на 0,8 °С, что привело к интенсивному таянию ледников и повышению уровня океана, в результате чего были затоплены большие площади плодородных низин. Человечество сможет избежать экологической катастрофы, если будет больше использовать альтернативные источники энергии, не загрязняющие окружающую среду,— энергию земных недр, ветровую и солнечную энергию (см. § 12.7).

Для любознательных

Парниковый эффект создает пленка в парнике, которой накрывают грядку. Днем солнечный свет проходит сквозь пленку и нагревает землю. Если почва темного цвета, то в обратном направлении излучается энергия в инфракрасной, части спектра, которая задерживается пленкой. В атмосфере Земли парниковый эффект создают углекислый газ и водяной пар.

4 Луна

Луна является естественным спутником Земли, на котором атмосфера отсутствует. Фазы Луны, то есть изменения ее внешнего вида, наступают вследствие того, что Луна светит отраженными солнечными лучами. Обращаясь вокруг нашей планеты, она занимает различные положения относительно Земли и Солнца, поэтому мы видим разные части ее дневного полушария. Чтобы понять, почему мы видим фазы Луны, начнем с *новой Луны,* которая с поверхности Земли почти никогда не видна, потому что к нам развернуто ее ночное полушарие (рис. 7.6). Луну в этой фазе можно увидеть только во время солнечных затмений, когда темный диск Луны виден на фоне яркого Солнца (рис. 7.7).

Синодический период обращения Луны (29,5 земных суток) — промежуток времени, в течение которого происходит изменение фаз.

Сидерический период обращения Луны (27,3 земных суток) — время обращения Луны вокруг Земли относительно звезд

Рис. 7.6. Смена фаз Луны происходит вследствие того, что к Земле в разное время повернуты разные части дневного и ночного полушарий Луны

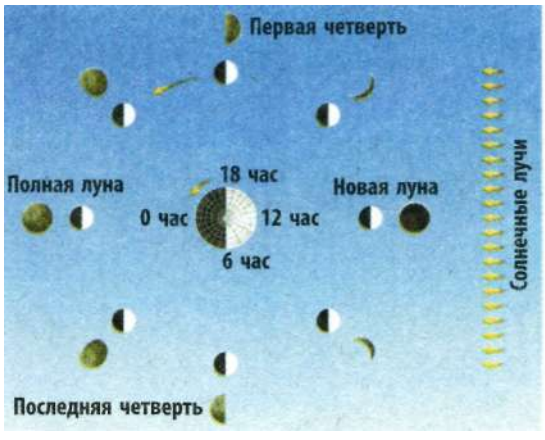
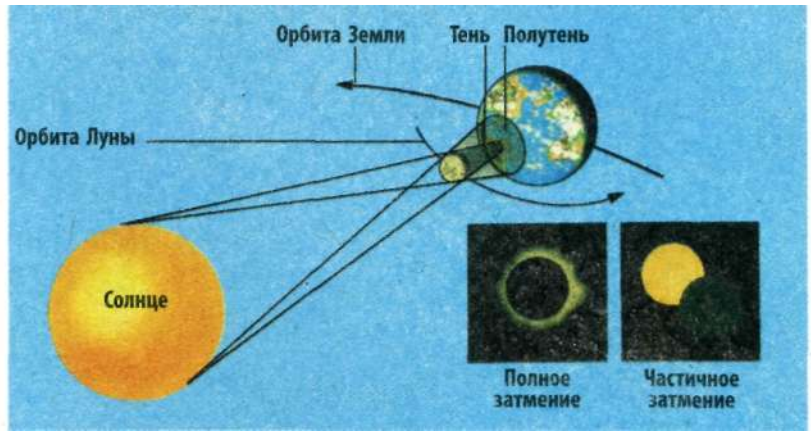


Рис. 7.7. Затмение Солнца



Первая четверть наступает через неделю, когда к Земле повернуты половина дневной и половина ночной стороны Луны. Полнолуние наступает в тот момент, когда Луна находится с противоположной стороны от Солнца. *Последняя четверть,* или *старая Луна,* наблюдается в юго-восточной части небосвода перед рассветом.

Для любознательных

Среди всех астрономических явлений, наверное, наибольшее внимание людей привлекает *затмение Солнца,* которое происходит в тот момент, когда тень от Луны достигает поверхности Земли. Хотя Луна через каждые 29,5 суток находится между Солнцем и Землей (фаза — новолуние), затмения происходят гораздо реже, потому, что плоскость орбиты Луны наклонена к эклиптике под углом 5°. На орбите существуют две точки, в которых Луна пересекает плоскость эклиптики — они называются *узлами лунной орбиты.* Затмение Луны или Солнца могут состояться только в том случае, когда Луна находится вблизи узла орбиты. Узлы лунной орбиты смещаются в космическом пространстве, поэтому затмения происходят в разное время года. Период повторения затмений, или *сарос,* знали еще египетские жрецы 4000 лет назад. Современные вычисления дают следующее значение сароса: $T_{сар}$ = 6585,33 суток = 18 лет 11 суток 8 часов. В течение одного сароса в разных местах на поверхности Земли происходит 43 затмения Солнца и 25—29 затмений Луны, причем солнечные и лунные затмения всегда происходят парами с интервалом 2 недели: если в одном узле лунной орбиты происходит затмение Солнца, то через 2 недели в другом узле происходит затмение Луны (см. прил. 6, 7.).

5 Физические условия на Луне

Несмотря на то, что Луна находится почти на таком же расстоянии от Солнца, как Земля, и единица ее поверхности получает столько же энергии, что и единица поверхности Земли, физические условия на этих космических телах существенно отличаются. Главная причина таких различий связана с тем, что сила тяжести на Луне меньше земной в 6 раз, поэтому она не может удержать у поверхности молекулы газов. В течение миллиардов лет погода на Луне одинакова: 2 недели светит Солнце и поверхность нагревается до температуры +130 °С, а после двухнедельной ночи поверхность охлаждается и температура на рассвете падает до -160 °С. При высокой дневной температуре молекулы газов покидают сферу притяжения Луны, поэтому там невозможно существование плотной атмосферы. На Луне даже днем темное небо, как в межпланетном пространстве, там не бывает ни ветров, ни дождей. Смены времен года не происходит, потому что ось обращения Луны почти перпендикулярна к плоскости орбиты.

Луна ☽	
Радиус	0,25 $R_⊕$
Масса	1/81 $M_⊕$
Плотность	3,3 г/см³
Ускорение свободного падения	1/6$g_⊕$
Большая полуось орбиты	$3{,}8 \cdot 10^6$ км
Периоды обращения:	
сидерический	27,3 з. сут.
синодический	29,5 з. сут.
Солнечные сутки	29,5 з. сут.
Температура, °С:	
днем	+130
ночью	−160

На поверхности Луны даже невооруженным глазом видны темные участки, которые названы морями (рис. 7.8), и светлые, которые астрономы назвали материками.

В морях нет ни капли влаги, поскольку в вакууме вода мгновенно закипает и испаряется или замерзает. Вода в твердом состоянии могла сохраниться под поверхностью на глубине нескольких десятков метров, где в течение суток температура не изменяется и равна -30°С.

Химический состав почвы на Луне, %
(По данным АМС «Луна-20»)

SiO_2	—	42
Al_2O_3	—	20
CaO	—	19
MgO	—	12
FeO	—	6

Во время наблюдений в телескоп видно, что на светлых материках преобладают кратеры — круглые горы диаметром до нескольких сотен километров и высотой несколько километров (рис. 7.9).

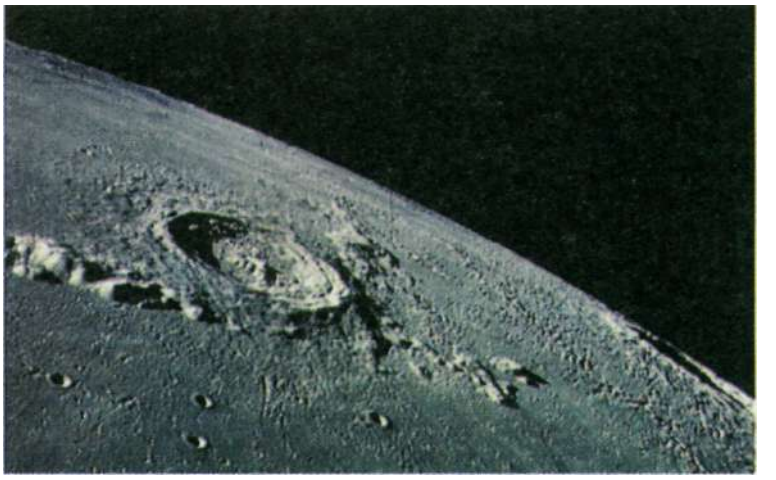
Большинство кратеров имеют метеоритное происхождение, хотя некоторые из них могли образоваться при извержении вулканов, из которых вытекала расплавленная лава и заполняла более низкие участки,— так возникли моря. Извержения вулканов прекратились очень давно. Возраст старейших твердых скал на материках — 4,4 млрд лет, в то время как лава в морях застыла около 3 млрд лет назад.

Для любознательных

Падение метеоритов является основным фактором, который изменяет внешний вид поверхности Луны и приводит к своеобразной эрозии лунного грунта. Например, метеорит массой 1 кг, летящий со скоростью 10 км/с, имеет такую кинетическую энергию, что при столкновении с поверхностью Луны может образовать кратер диаметром 1 м и разбросать на несколько десятков метров камни и пыль. На Луну постоянно падают тысячи метеоритов разной массы (см. §11), которые непрерывно изменяют внешний вид ее поверхности. Правда, крупные кратеры диаметром несколько сотен километров образовались еще 4 млрд лет назад, когда падало больше метеоритов. В течение миллиардов лет космические «бомбардировки» так раздробили верхний слой лунного грунта, что он превратился в «пыль».

Рис. 7.8. Моря на Луне образовались после извержения вулканов, которые действовали миллиарды лет назад. Моря имеют темный цвет, так как по химическому составу там больше железа, а на светлых участках больше алюминия

Рис. 7.9. Сейчас кратеры на Луне образуются после падения метеоритов, хотя 3 млрд лет назад там действовали вулканы



6 Исследования Луны с помощью космических аппаратов

Космические аппараты для лунных исследований начали использовать в СССР еще на заре космической эры. В 1959 г. АМС серии «Луна» впервые в мире долетели до Луны: «Луна-1» стала первой искусственной планетой Солнечной системы, «Луна-2» достигла поверхности Луны, а «Луна-3» сфотографировала обратную сторону Луны и передала ее телевизионное изображение на Землю. В феврале 1966 г. «Луна-9» совершила мягкую посадку в Океане Бурь и впервые в мире передала телевизионный «репортаж» с поверхности другого мира. Мы увидели, что действительно поверхность Луны покрыта пылью, но прочность грунта достаточна для того, чтобы удержать станцию на поверхности. Затем Луну исследовали АМС «Луноход-1, 2» (рис. 7.11), которые перемещались по поверхности, и АМС «Луна-20, 24», которые в автоматическом режиме впервые доставили на Землю образцы лунного грунта.

Главные этапы космических исследований Луны

Год	Аппарат	Страна
1959	Луна-2	СССР
1959	Луна-3	СССР
1966	Луна-9	СССР
1969	Аполлон-11	США
1970	Луноход-1	СССР

21 июля 1969 г. на поверхность Луны совершил посадку пилотируемый космический корабль «Аполлон-11» (США) и астронавт Нейл Армстронг сделал первый шаг по поверхности другого мира — так начался новый этап в исследовании космоса. Всего на поверхности Луны побывало 12 астронавтов, которые привезли на Землю образцы лунного грунта. Исследования показали, что поверхность Луны почти полностью покрыта тонким слоем пыли и обломками камней. Этот слой назвали реголитом (с греч.— раздробленный камень). Толщина реголита не постоянна и составляет в среднем несколько метров. Анализ реголита принес неожиданные результаты: размеры этих частиц — от микрометров до метров; по химическому составу микрочастицы наполовину состоят из оксидов кремния, и являются фактически маленькими стеклянными шариками, которые образовались после падения микрометеоритов (рис. 7.12).

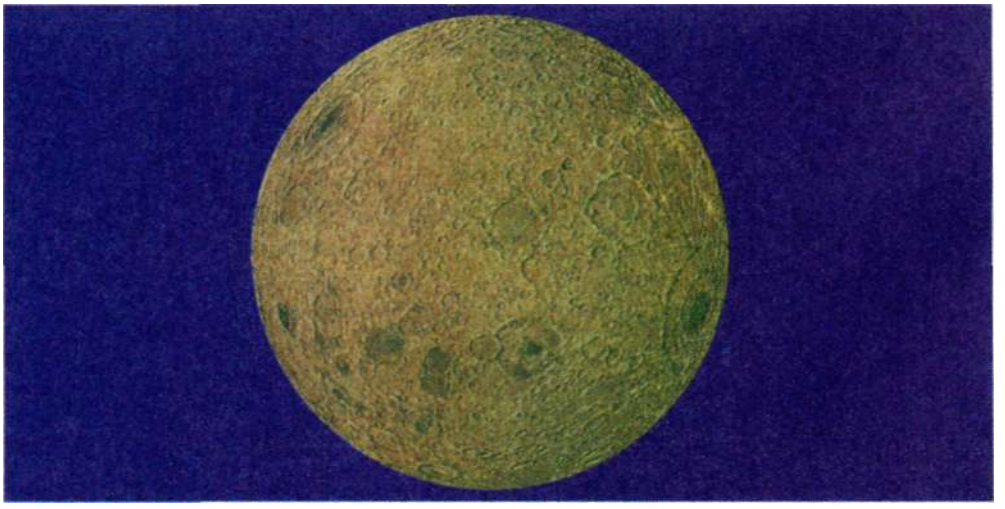


Рис. 7.10. Изображение обратной стороны Луны, которое было создано на основе фотографий АМС «Луна-3». Десятки кратеров на Луне назвали в честь украинских астрономов

Для будущих космонавтов

Сможет ли человечество когда-нибудь использовать Луну как базу для космических поселений? Если учесть расходы на космические полеты, то 1 кг лунного грунта, который доставили астронавты на Землю, оценивается во столько же, сколько стоит 1 т золота, которое добывают на золотых приисках на Земле. Но главная цель научных исследований состоит в том, чтобы на Луне создать базу для изучения более дальних планет. Хотя вес космонавтов на Луне в 6 раз меньше, чем на Земле, ходить по поверхности Луны в скафандре неудобно, так как сила трения тоже меньше. Жилые помещения можно построить под поверхностью, где на глубине нескольких метров днем и ночью сохраняется постоянная температура, а источником энергии послужат солнечные электростанции. Большие телескопы на поверхности Луны позволят получать гораздо больше информации о далеких мирах, потому что там атмосфера отсутствует и не будет влиять на качество изображения.

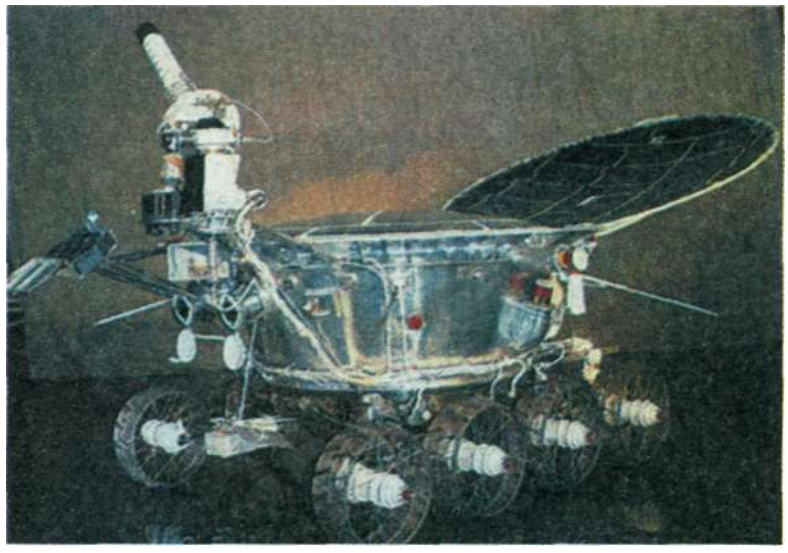


Рис. 7.11. «Луноход-1»

Рис. 7.12. Типичный лунный пейзаж. На поверхности преобладает темно-серый цвет грунта, припорошенный слоем реголита

Выводы

Единицы поверхности на Земле и Луне получают от Солнца почти одинаковое количество энергии, но физические условия на их поверхностях существенно отличаются. Главная причина такого отличия климата — отсутствие атмосферы на Луне. Воздух на Земле создает защитное одеяло, которое повышает температуру на нашей планете и оберегает жизнь от смертельного космического излучения. Луна — это мертвый мир, в котором отсутствует жизнь. В будущем под поверхностью Луны можно создать научные базы.

Тесты

1. Температура в недрах Земли с глубиной:
   А. Уменьшается, потому что Солнце нагревает только поверхность. Б. Уменьшается, так как под поверхностью находится слой вечной мерзлоты. В. Увеличивается, так как в центре Земли протекают химические реакции. Г. Увеличивается, так как в недрах происходит радиоактивный распад ядер тяжелых химических элементов. Д. Остается стабильной.
2. Тропосфера — это нижний слой земной атмосферы, где температура с высотой:
   А. Увеличивается, потому что верхние слои атмосферы находятся ближе к Солнцу. Б. Увеличивается, так как в верхних слоях атмосферы нет облаков. В. Уменьшается, потому что атмосфера нагревается от Земли. Г. Уменьшается, так как в верхних слоях атмосферы меньше кислорода. Д. Остается стабильной.
3. Предположим, что сегодня на Земле наблюдается затмение Луны. Что увидят в это время на Луне космонавты?
   А. Восход Солнца. Б. Кульминацию Солнца. В. Затмение Солнца. Г. Затмение Луны. Д. Закаты.
4. Полная Луна находится на горизонте. В какое время суток можно наблюдать такое явление в Украине?
   А. Утром. Б. Днем. В. Вечером. Г. В полночь. Д. Никогда.
5. Какими из этих приборов космонавты могут пользоваться на поверхности Луны?
   А. Компас. Б. Телескоп. В. Радиоприемник. Г. Телевизор. Д. Барометр.
6. К какой группе планет относится Земля?
7. Почему на материках в течение года не наблюдается резкого перепада температур?
8. Как изменяется с высотой температура в тропосфере?
9. Сегодня Луна наблюдается в первой четверти. Будет ли завтра Луна видна в полночь?
10. Почему вода на поверхности Луны не может существовать в жидком состоянии?
11. Почему с поверхности Земли мы видим только одно полушарие Луны?
12. С помощью подвижной карты звездного неба определите, на фоне какого созвездия наблюдается Луна в день вашего рождения в текущем году? Когда Луна восходит и заходит в этот день?

Диспуты на предложенные темы

13. Что вы могли бы предложить для освоения Луны в будущем?

Задания для наблюдений

14. Измерьте угол между направлением на Солнце и Луну и определите его фазу. Первая четверть наступит, когда этот угол равен 90°, полнолуние — 180°.

Ключевые понятия и термины:

Экологическая катастрофа, затмение Луны, затмение Солнца, кратер, ледниковый период, парниковый эффект, реголит, сидерический месяц, синодический месяц, тропосфера, фазы Луны,

§8. Планеты земной группы

Изучив этот параграф, мы узнаем:

какие условия существуют на поверхности планет земной группы;
почему на Венере и днем, и ночью невероятная жара;
есть ли жизнь на Марсе.

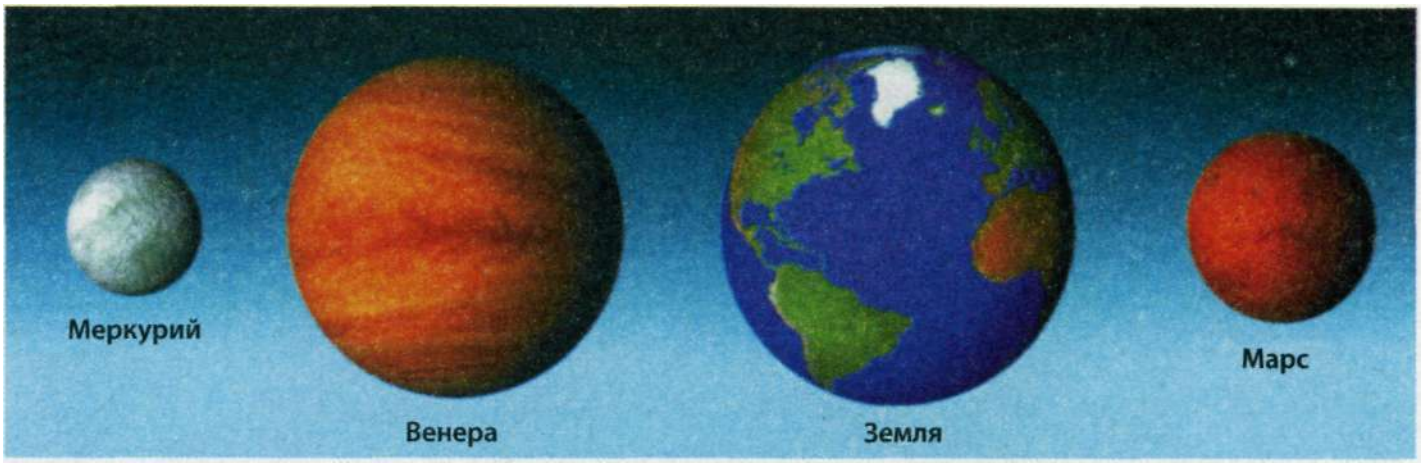
1 Планеты земной группы

Планеты земной группы — Меркурий, Венера, Земля и Марс — по сравнению с планетами-гигантами имеют относительно небольшие размеры, твердую поверхность и значительную плотность (около 5 г/см^3), так как состоят преимущественно из тяжелых химических элементов (рис. 8.1). Эти планеты имеют горячее *металлическое ядро,* окруженное мантией из силикатных пород. Верхний слой планет — *кора,* формируется под действием, как внутреннего тепла, так и внешних (космических) факторов. Но температура на поверхности планет земной группы существенно отличается, потому что они получают от Солнца разное количество энергии. К тому же в атмосферах Меркурия, Венеры и Марса почти нет кислорода, а давление существенно отличается от атмосферного давления на Земле. Если на поверхности Земли есть условия для существования жизни, то на поверхности других планет пока не обнаружено даже примитивных бактерий.

2 Меркурий

Меркурий является самой маленькой планетой Солнечной системы, которую редко кому приходилось наблюдать невооруженным глазом, потому что она находится близко от Солнца. Меркурий очень медленно вращается вокруг своей оси — солнечные сутки вдвое длиннее, чем период его обращения вокруг Солнца. Следовательно,

Рис. 8.1. Относительные размеры планет земной группы



в течение почти трех месяцев там светит Солнце и столько же продолжается ночь.

Снимки поверхности Меркурия, сделанные с помощью АМС «Маринер-10» (США), поражают сходством его рельефа с поверхностью Луны — такое же огромное количество кратеров, что свидетельствует об одинаковой природе этих космических тел (рис. 8.2). Кратеры на Меркурии названы именами известных поэтов, писателей, художников, композиторов. Один из крупных кратеров назван в честь Тараса Шевченко.

На поверхности Меркурия были обнаружены также огромные равнины, заполненные застывшей базальтовой лавой. Это свидетельствует о том, что планета была когда-то разогрета, вследствие чего в то время происходила интенсивная вулканическая деятельность (рис. 8.3).

Меркурий ☿

Радиус	0,38 $R_\oplus$
Масса	0,06 $M_\oplus$
Плотность	5,4 г/см^3
Ускорение свободного падения	0,38 $g_\oplus$
Орбита	a = 0,39 а. е.
Год	88 з. сут
Солнечные сутки	176 з. сут
Температура,°С:	
днем	+430
ночью	-170

Рис. 8.2. Кратеры на Меркурии

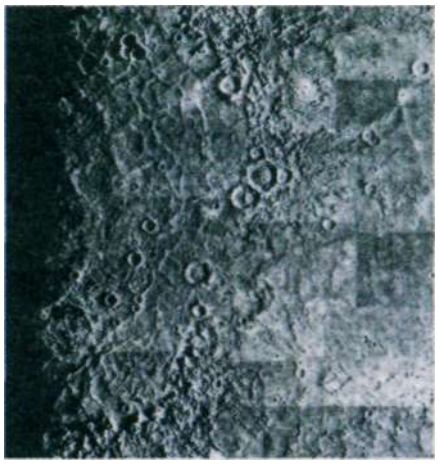
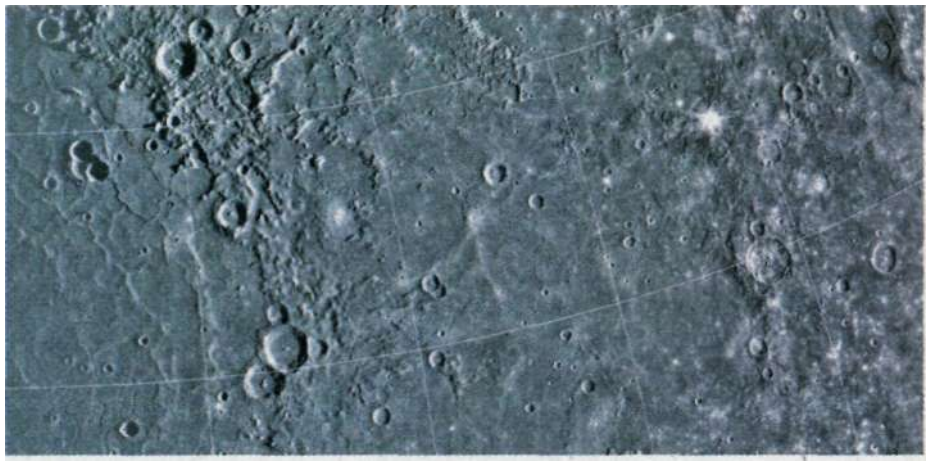


Рис. 8.3. Застывшая лава на равнине Калорис свидетельствует о том, что Меркурий 3 млрд лет назад был разогрет за счет внутреннего тепла, и тогда действовали сотни вулканов. Свежие кратеры образовались после падения метеоритов



Для любознательных

Продолжительность дня и ночи и погода на Меркурии не изменяются, так как его ось вращения почти перпендикулярна к плоскости орбиты, и смены времен года на нем не происходит. Дневная температура достигает +430°С, но в течение ночи поверхность планеты сильно охлаждается, и температура на рассвете снижается до -170°С Почва Меркурия очень раздроблена и имеет низкую теплопроводность, поэтому уже на глубине нескольких десятков сантиметров температура не меняется. Меркурий не может удерживать постоянную атмосферу, но у поверхности планеты удалось обнаружить присутствие атомов гелия — это объясняется *солнечным ветром,* который состоит из элементарных частиц и отдельных ядер легких химических элементов. В гравитационном поле Меркурия атомы гелия могут двигаться не более 200 суток, а затем теряются в межпланетном пространстве. Итак, атмосфера этой планеты напоминает реку, составляющие которой постоянно «плывут» от Солнца мимо Меркурия до Земли и более далеких планет.

3 Венера

Венера привлекает внимание людей тем, что на нашем небе ее яркость в десятки раз превышает блеск звезд первой звездной величины. Украинское народное название планеты — *Вечерняя* или *Утренняя звезда,* потому что она первой появляется на вечернем небосклоне и последней гаснет на рассвете.

Долгое время Венеру называли планетой загадок, ибо плотные облака закрывают ее поверхность (рис. 8.4). Только недавно радионаблюдения обнаружили, что Венера медленно вращается вокруг оси в обратном направлении (по сравнению с вращением Земли) и солнечные сутки там продолжаются 117 земных суток.

На первый взгляд, Венера очень похожа на Землю, потому, что эти планеты имеют почти одинаковые размеры и массу. Астрономы ожидали, что климат на Венере немного теплее по сравнению с земным, а фантасты даже писали о возможной жизни на этой таинственной планете. Впервые в истории человечества АМС серии «Венера» (СССР) совершили мягкую посадку на Венеру и передали на Землю телевизионное изображение ее поверхности (рис. 8.5, 8.6).

В облаках на Венере кроме паров воды образуются капли серной кислоты, но к поверхности эти кислотные дожди не долетают, так как под облаками температура резко повышается (на поверхности +480 °С) и капли испаряются. Основной слой облаков находится на значительной высоте (50—60 км), что объясняется большим атмосферным давлением, которое у поверхности достигает 90 атм — такое давление на Земле в океане на глубине 900 м.

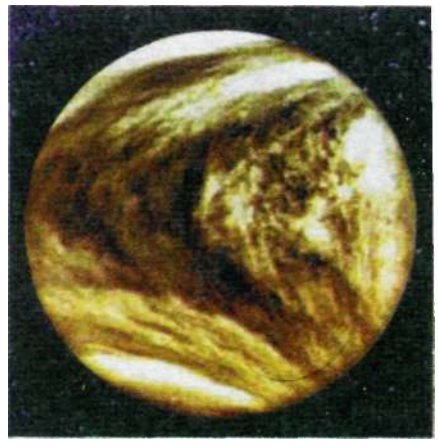


Рис. 8.4. Облака на Венере, видимые во время наблюдений при помощи телескопа

Венера ♀

Радиус	0,95 $R_\oplus$
Масса	0,8 $M_\oplus$
Плотность	5,2 г/см^3
Ускорение свободного падения	0,9 $g_\oplus$
Орбита	a=0,72 а. е.
Год	225 з. сут
Солнечные сутки	117 з. сут
Атмосфера:	CO_2, N_2, H_2O
Атм. давление	90 атм.
Температура поверхности, °С:	
днем	+480
ночью	+480

Рис. 8.5. Панорама поверхности Венеры, которую передала АМС «Венера-14». Небо днем тусклое, как на Земле перед дождем. Цвет облаков и поверхности красный, потому что атмосфера поглощает солнечные лучи в синей части спектра

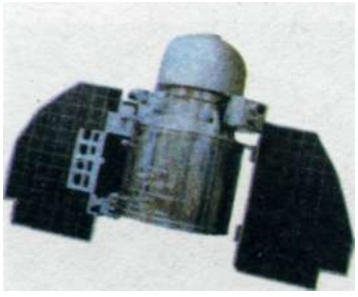


Рис. 8.6. АМС «Венера-14» (СССР)

Облака на Венере, скорее, напоминают слабую мглу, в которой видны предметы на расстоянии до 1 км. Загадкой Венеры остается вопрос: почему в атмосфере планеты так много углекислого газа и так мало воды? Исследования показывают, что общее количество углекислого газа и воды, которая выделялась при извержении вулканов на Земле и Венере, было когда-то примерно одинаковым. Возникает естественный вопрос: куда делась вода с поверхности Венеры? Были ли когда-то на Венере океаны и моря?

Астрономы составили подробную карту Венеры, на которой обозначены сотни кратеров, большинство из которых прежде были вулканами, потому что почти 80% поверхности Венеры покрыты вулканической лавой (рис. 8.7). Некоторые кратеры образовались после падения астероидов. По традиции названия кратеров на Венере даются в честь выдающихся женщин, сделавших существенный вклад в прогресс нашей цивилизации. Один из вулканов назвали в честь астронома Харьковской астрономической обсерватории Валентины Федорец.

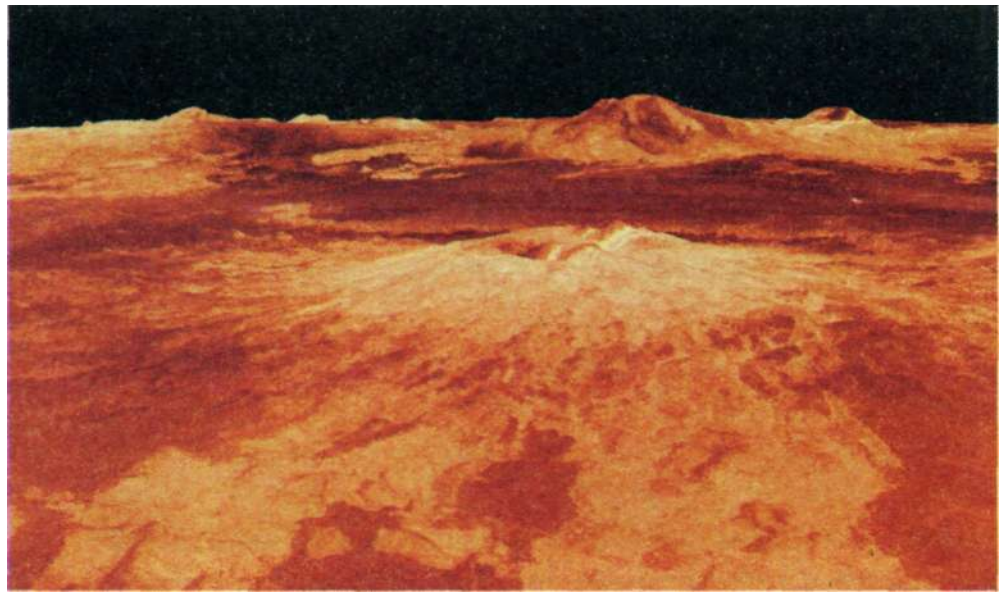


Рис. 8.7. При помощи радиолокатора удалось заглянуть под облака. Поверхность Венеры покрыта лавой от извержения вулканов

Для любознательных

Температура поверхности Венеры составляет +480°С, остается постоянной в течение суток и не меняется в зависимости от расстояния до полюса или экватора. При таких условиях на Венере не происходит резких изменений погоды — никогда не бывает ураганов, а скорость ветра у поверхности не превышает 1 м/с. Высокая температура у поверхности планеты обусловлена парниковым эффектом. Главная составляющая атмосферы Венеры — углекислый газ ($C0_2$) — около 97% объема. Неожиданностью оказалось то, что в течение двухмесячной ночи на поверхности Венеры не наблюдается абсолютной темноты. Кроме постоянных вспышек молний, сопровождающихся раскатами грома, ночью видно свечение верхних слоев атмосферы. Ночное освещение усиливают огни от действующих вулканов, которые, вследствие преломления лучей в атмосфере, видны на расстоянии сотен километров.

Для будущих космонавтов

На поверхности Венеры человек выжить не сможет, так как современные скафандры не выдержат атмосферное давление в 90 атм. Возможно, что космонавты будут пользоваться самолетами и воздушными шарами, которые смогут летать в верхних слоях атмосферы планеты на высотах около 50 км, где температура и давление такие, как на Земле. Не исключена возможность существования чужих форм жизни, которые приспособились к условиям на Венере, ведь даже некоторые виды земных бактерий могли бы выжить в облаках на этих высотах. Фантасты предлагают поселить в облаках бактерии, которые будут поглощать углекислый газ и выделять кислород. Со временем на Венере может понизиться температура, на поверхность выпадут дожди, потекут реки и снова образуются моря.

4 Марс

Названный когда-то за свой красный цвет в честь бога войны, «кровавый» Марс во время противостояний по яркости уступает только Венере. Хотя масса и радиус Марса меньше, чем Земли, но продолжительность суток (24,6 ч) и смена времен года (ось вращения наклонена под углом 65° к плоскости орбиты) напоминают нашу планету. Правда, продолжительность сезонов на Марсе почти в 2 раза длиннее, чем на Земле. Даже в небольшие телескопы на Марсе видны белые полярные шапки (рис. 8.8), свидетельствующие о наличии воды в атмосфере планеты.

Марс ♂	
Радиус	0,53 $R_\oplus$
Масса	0,11 $M_\oplus$
Плотность	3,9 г/см^3
Ускорение свободного падения	0,37 $g_\oplus$
Атмосфера	CO_2, N_2
Давление	0,006 атм
Орбита	a = 1,52 а. е.
Год	687 зем. сут
Сутки	24 ч 37 мин
Температура поверхности, °С:	
днем максимальная	+22
ночью	–60,
минимальная	–133

Марс привлек особое внимание людей после того, как в 1877 г. итальянский астроном Д. Скиапарелли открыл *каналы*. Тоненькие, едва заметные линии, соединявшие темные участки поверхности Марса, напоминали человечеству оросительные системы на Земле, поэтому фантасты выдвинули идею о высоком интеллекте марсианской цивилизации. Эти сообщения увлекли американского миллионера П. Ловелла, который оставил торговлю и специально для поисков жизни на Марсе построил огромную астрономическую обсерваторию. После исследования Марса с помощью АМС было установлено, что *каналы* являются своеобразной оптической иллюзией, которую создают отдельные участки марсианского ландшафта — горы, долины, кратеры (рис. 8.9).

Рис. 8.8. Вид Марса в телескоп

С близкого расстояния Марс больше похож на Луну, чем на Землю, ибо множество круглых кратеров свидетельствует об интенсивной метеоритной бомбардировке в прошлом. На некоторых склонах метеоритных кратеров видны застывшие

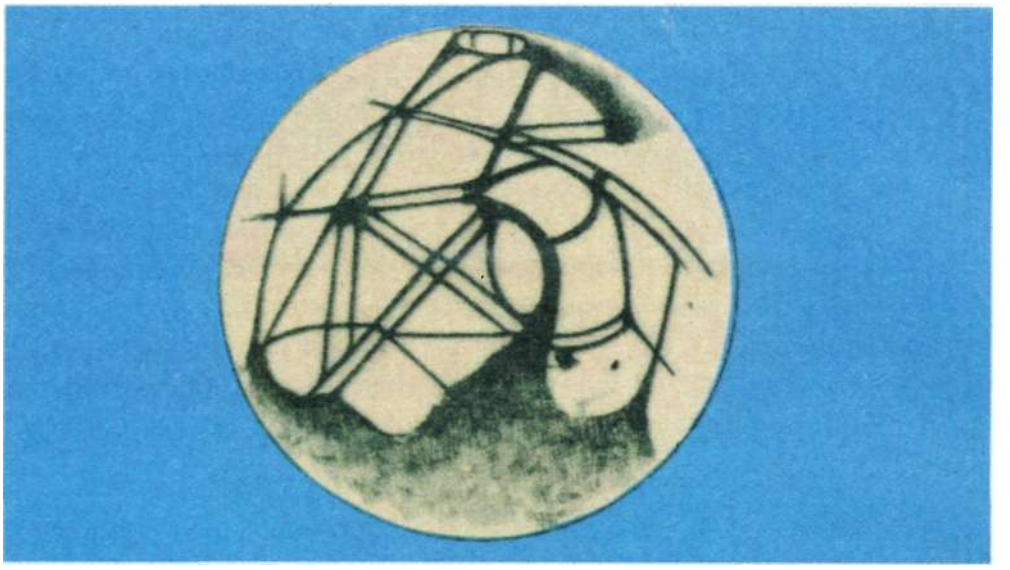


Рис. 8.9. «Каналы» на Марсе оказались своеобразной оптической иллюзией, которую создают отдельные участки марсианского ландшафта. Рисунок итальянского астронома Д. Скиапарелли

потоки какой-то жидкости,— возможно, при взрыве из недр выделялась вода, а потом при низкой температуре снова замерзала (рис. 8.10, 8.11). Ряд кратеров на Марсе назвали в честь украинских астрономов: Барабашов, Герасимович, Семейкино, Струве, Фесенков.

Есть ли жизнь на Марсе? Разреженная атмосфера и большие суточные перепады температуры делают невозможным существование высокоразвитых форм жизни растений или животных. На снимках поверхности (рис. 8.12) видно красную пустыню с дюнами песка, который переносится ветром на тысячи километров. Красный цвет марсианского грунта объясняют значительным содержанием (до 16%) оксидов железа (обычной ржавчины). Об отсутствии жизни на поверхности Марса свидетельствуют также результаты экспериментов, которые непосредственно проводились при помощи АМС — присутствие микроорганизмов на поверхности не зарегистрировано.

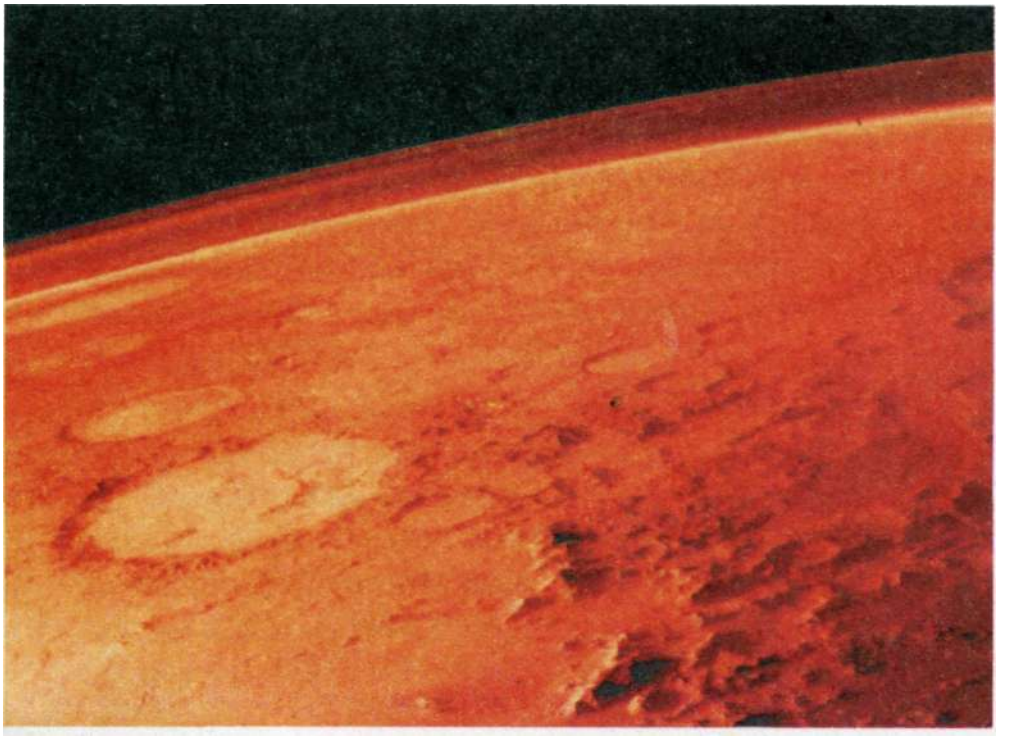


Рис. 8.10. Марс с высоты нескольких сотен километров. На горизонте — тонкий слой разреженной атмосферы. Слева — странный кратер, напоминающий лицо человека, который улыбается

Рис. 8.11. Вулкан Олимп, расположенный недалеко от экватора Марса,— самая высокая гора Солнечной системы. Диаметр вулканической платформы достигает 700 км, вершина имеет высоту 27 км, а диаметр жерла вулкана — 75 км

На Марсе никогда не выпадает дождь, поэтому паров воды в атмосфере в 100 раз меньше, чем на Земле. На самой поверхности Марса вода в жидком состоянии не замечена, потому что при давлении 0,006 атм температура кипения воды снижается до +3°С. То есть как только на поверхности образуется небольшая лужа, вода закипает и испаряется. Запасов воды в виде снега и льда под поверхностью Марса может быть намного больше — если бы равномерно ее распределить по поверхности, то глубина такого моря могла бы достигать нескольких сотен метров. Русла высохших рек на поверхности свидетельствуют, что в прошлом на Марсе была более плотная атмосфера, выпадали дожди и могла существовать жизнь. Климат на Марсе мог измениться из-за столкновения с астероидом.

Для любознательных

На Марсе обнаружена очень разреженная атмосфера. Главная ее составляющая — углекислый газ $C0_2$ (95% объема). Атмосферное давление не превышает 0,006 атм (такое низкое давление наблюдается в земной атмосфере на высоте 20 км), поэтому парниковый эффект невелик — этим объясняются значительные суточные колебания температуры. Самая высокая температура летом вблизи экватора на темных участках почвы поднимается до +22 °С, но в том же месте температура перед рассветом опускается до -50 °С. Зимой у полюсов, где полярная ночь длится 8 месяцев, мороз достигает -133°С,— это самая низкая возможная температура на поверхности Марса. При таких условиях начинается конденсация углекислого газа, когда выделяется тепло. Температура остается постоянной, пока весь углекислый газ из атмосферы не перейдет в твердое состояние.

Для будущих космонавтов

На поверхности Марса тоже следует одевать скафандры, но опыт космических экспедиций на Луну показывает, что люди смогут работать на этой планете. Основной проблемой марсианских экспедиций будет большая продолжительность космических перелетов Земля — Марс — Земля (см. § 5), потому что космонавты будут вынуждены находиться за пределами Земли более двух лет. Межпланетный корабль с массой в несколько тысяч тонн будут монтировать на орбите вокруг Земли, и возможно на Марс полетит международная экспедиция из 5—10 космонавтов. В будущем на Марсе могут создать космическую базу — строительным материалом послужат горные породы, а источником энергии — солнечные лучи. Воду можно использовать для получения кислорода и водорода, которые станут дополнительным источником энергии. Не исключено, что под поверхностью Марса могут существовать залежи нефти и газа. Наконец, экспедиции разгадают основную тайну этой планеты — есть ли на Марсе какие-либо живые организмы?

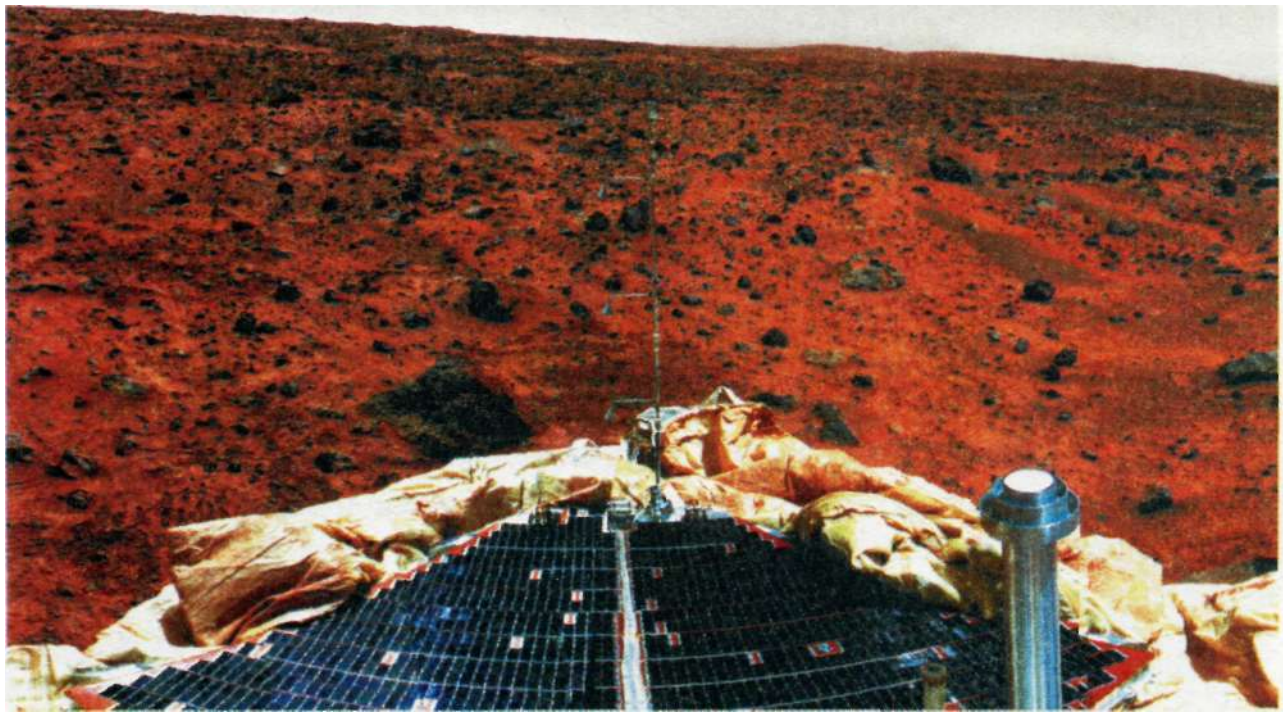


Рис. 8.12. Панорама поверхности Марса. Красный цвет поверхности придают окислы железа. Сильные ветры поднимают пыль, поэтому цвет неба тоже розовый. Слева рельсы, по которым съехал марсоход — он остановился под камнем на холме. Внизу справа — парашют

ВЫВОДЫ

Хотя планеты земной группы (Меркурий, Венера, Земля и Марс) похожи по размерам, массе и внутреннему строению, но физические условия на поверхности Меркурия, Венеры и Марса очень отличаются от земных, поэтому там не обнаружены признаки жизни. На Меркурии отсутствует постоянная атмосфера, поэтому колебания температуры в течение суток там почти такие же, как на Луне. На Венере плотная атмосфера из углекислого газа создает невозможные для существования живых существ условия — там и днем и ночью температура +480 °С. Марс будет первой планетой, которую в недалеком будущем посетят люди, но жить

там можно только в скафандрах. Есть предположение, что некогда на Марсе была более плотная атмосфера, выпадали дожди, текли реки и, возможно, существовала жизнь. Не исключено, что и теперь живые организмы существуют под поверхностью планеты, где обнаружено большое количество льда.

Тесты

1. С поверхности какой планеты земной группы никогда нельзя увидеть Солнце?
   А. Меркурия. Б. Венеры. В. Земли. Г. Марса.
2. На каких планетах земной группы в облаках обнаружена серная кислота?
   А. На Меркурии. Б. На Венере. В. На Земле. Г. На Марсе.
3. На поверхности какой планеты земной группы наблюдается самый длинный день?
   А. На Меркурии. Б. На Венере. В. На Земле. Г. На Марсе.
4. Какая планета земной группы имеет самую плотную атмосферу?
   А. Меркурий. Б. Венера. В. Земля. Г. Марс.
5. На поверхности какой планеты земной группы наблюдается самая большая продолжительность солнечных суток?
   А. На Меркурии. Б. На Венере. В. На Земле. Г. На Марсе.

6. Почему Меркурий не может удерживать постоянную атмосферу?
7. Какая планета обращается вокруг оси в противоположном по сравнению с Землей направлении?
8. На каких планетах земной группы происходит смена времен года?
9. Венера находится дальше от Солнца, чем Меркурий, тогда почему температура на ее поверхности выше, чем на Меркурии?
10. Какие существуют доказательства того, что на поверхности Марса когда-то была вода в жидком состоянии?
11. На каких планетах земной группы возможно существование жизни?
12. Вычислите свой вес на поверхности Меркурия, Венеры и Марса.
13. Вычислите наименьшее и наибольшее расстояния между Землей и Марсом.

Диспуты на предложенные темы

14. Могли бы разумные марсиане, наблюдая Землю в свои телескопы, обнаружить доказательства существования жизни? Существование разумной цивилизации на Земле?

Задания для наблюдений

15. Нарисуйте положения Венеры относительно горизонта и относительно звезд и наблюдайте, как меняются эти положения в течение нескольких недель. Сделайте вывод, как изменилась яркость планеты за это время.
16. Во время противостояний Марса определите моменты, когда планета останавливается и начинает двигаться относительно звезд в обратном направлении — с востока на запад.

Ключевые понятия и термины:

Вечерняя или Утренняя заря, Марсианские каналы, пылевые бури, планеты земной группы, полярные шапки.

§ 9. Планеты-гиганты

Изучив этот параграф, мы узнаем:

почему планеты-гиганты не имеют твердой поверхности;

станет ли Юпитер звездой;

о странной смене времен года на Уране.

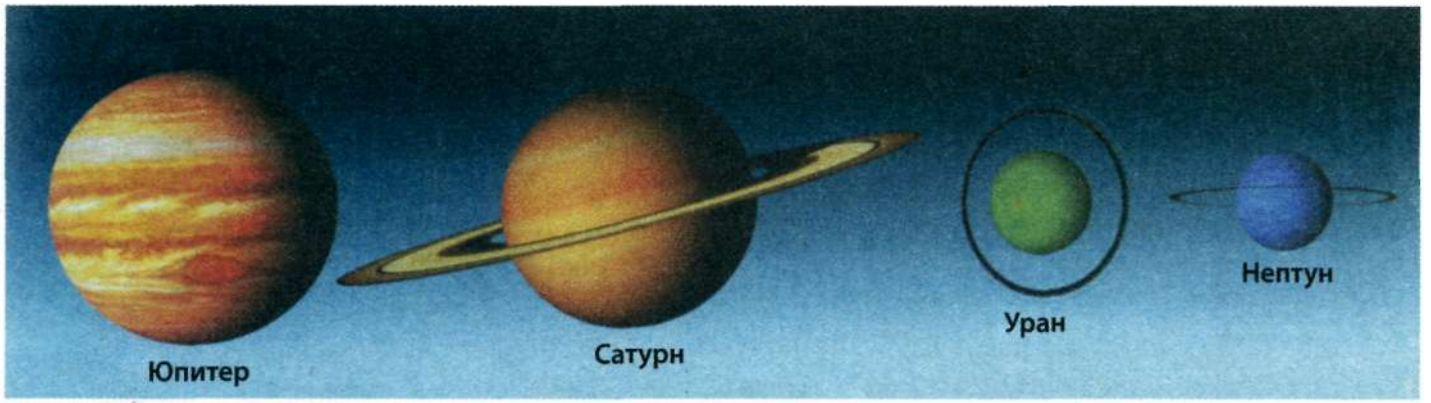
1 Общая характеристика планет-гигантов

Планеты-гиганты в отличие от планет земной группы не имеют твердой поверхности, по химическому составу (99 % водорода и гелия) и плотности (≈ 1 г/см^3) они напоминают звезды. Большая масса этих планет способствует нагреву ядер до температуры свыше +10000°С (рис. 9.1). Кроме того, планеты-гиганты довольно быстро обращаются вокруг оси и имеют большое количество спутников (см. § 10).

Юпитер 4	
Радиус	11,2 $R_\oplus$
Масса	318 $M_\oplus$
Плотность	1,3 г/см^3
Ускорение свободного падения	$g = 2{,}5\ g_\oplus$
Орбита	$a = 5{,}2$ а. е.
Год	11,2 з. года
Сутки	9 ч 50 мин
Атмосфера	H_2, He
Температура, °С:	
облаков	–107
в ядре	+40 000

Главной загадкой всех планет-гигантов является источник внутренней энергии, которую излучают эти планеты в инфракрасной части спектра. Источником энергии не могут быть термоядерные реакции, потому что масса планет-гигантов недостаточна для превращения их в звезды. Не исключена возможность, что гиганты излучают энергию, которая была накоплена при образовании Солнечной системы. Возможно, что в прошлом Юпитер имел достаточно высокую температуру на поверхности и светился на небе молодой Земли в 100 раз ярче Луны.

Рис. 9.1. Относительные размеры планет-гигантов



2 Юпитер

Юпитер был назван в честь могущественного бога римской мифологии. Это самая большая планета Солнечной системы. Основными компонентами атмосферы Юпитера являются водород — 86,1% и гелий — 13,8%, а в облаках замечено присутствие метана, аммиака и водяного пара. Верхний слой светлых облаков, где атмосферное давление достигает 1 атм, имеет температуру -107 °С и состоит из кристалликов аммиака. Расположенный ниже слой облаков с примесями серы — красного цвета (рис. 9.2—9.4). Ниже всего находятся облака из водяного пара, которые образуются на глубине 80 км от верхних светлых облаков. Температура и атмосферное давление с глубиной постепенно растут.

Недавно появились гипотезы о возможности существования жизни в облаках Юпитера, ведь его атмосфера имеет все компоненты, которые были необходимы для появления жизни на Земле. Некоторые слои облаков теплые и относительно комфортные для существования даже земных микроорганизмов.

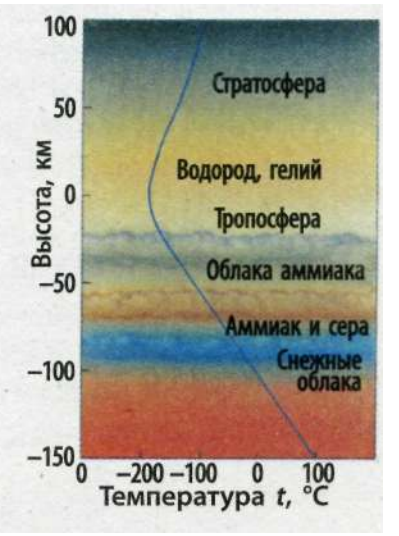


Рис. 9.2. Строение атмосферы Юпитера по результатам исследований АМС «Галилей» (США). Уровень, где давление достигает 1 атм, считают своего рода «поверхностью» планеты

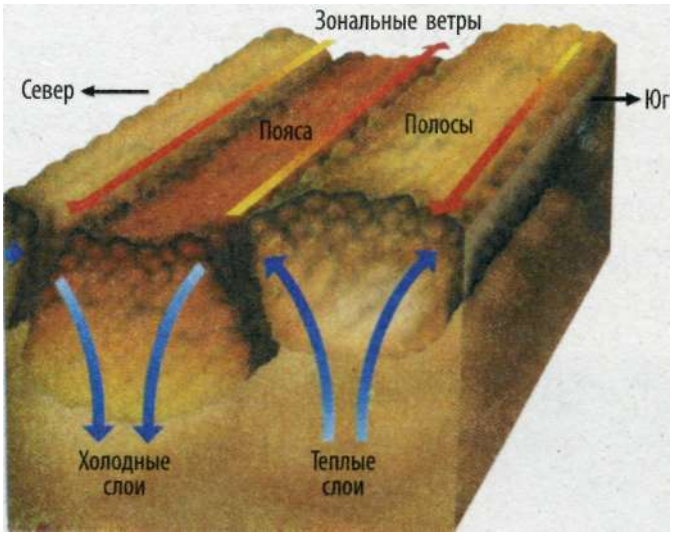


Рис. 9.3. Полосы облаков в атмосфере. Из недр Юпитера поступает поток энергии, который вызывает конвекцию — теплые слои воздуха поднимаются вверх, а холодные — опускаются вниз. Сильные горизонтальные ветры возникают из-за суточных перепадов температуры между ночным и дневным полушариями планеты

Рис. 9.4. Большое Красное Пятно, которое находится в южном полушарии Юпитера и по размерам почти вдвое больше, чем Земля, является огромным вихрем в атмосфере, в котором ветер дует с ураганной скоростью до 100 м/с (фото АМС «Вояджер», США). Почему этот вихрь, который заметили еще 300 лет назад, существует до настоящего времени, остается загадкой

Для любознательных

На глубине 20000 км водород переходит в металлическое состояние, и его физические свойства напоминают расплавленный металл, который хорошо про-

водит электрический ток. Такого агрегатного состояния водорода (плотность 4 г/см^3 при давлении 106 атм) на Земле не существует. Благодаря электрическому току, который генерируется в этой металлической оболочке, возникает мощное магнитное поле, поэтому вокруг Юпитера образуются радиационные пояса, которые в 104 раза интенсивнее земных. Юпитер является мощным источником радиоизлучения. В центре Юпитера существует твердое ядро, по химическому составу подобное планетам земной группы, которое может состоять из скальных пород.

3 Сатурн

Сатурн — самая удаленная планета, которую знали астрономы в древности,— названа в честь отца главного бога Юпитера. После изобретения телескопа обнаружили, что Сатурн является самой красивой планетой Солнечной системы, так как его сказочное кольцо завораживает как детей, так и взрослых (о природе кольца см. § 10). Сатурн не имеет того разнообразия красок, который наблюдается в атмосфере Юпитера, но структура атмосфер этих планет очень похожа. Желтоватый цвет верхним слоям атмосферы Сатурна придают снежные облака из аммиака (рис. 9.5). На глубине 300 км от верхних слоев облаков располагаются облака воды, в которых при повышении температуры снег превращается в дождь.

Сатурн ♄	
Радиус	9,4 $R_\oplus$
Масса	95 $M_\oplus$
Плотность	0,7 г/см^3
Ускорение свободного падения	$g = 1{,}1\ g_\oplus$
Орбита	$a = 9{,}5$ а. е.
Год	29,5 з. года
Сутки	10 ч 14 мин
Атмосфера	H_2, He
Температура, °С:	
облаков	−178
в ядре	+15 000

Средняя плотность Сатурна меньше, чем воды, что свидетельствует о небольшом количестве тяжелых химических элементов в ядре планеты.

Сатурн, как и Юпитер, имеет магнитное поле, радиационные пояса и является источником радиоизлучения.

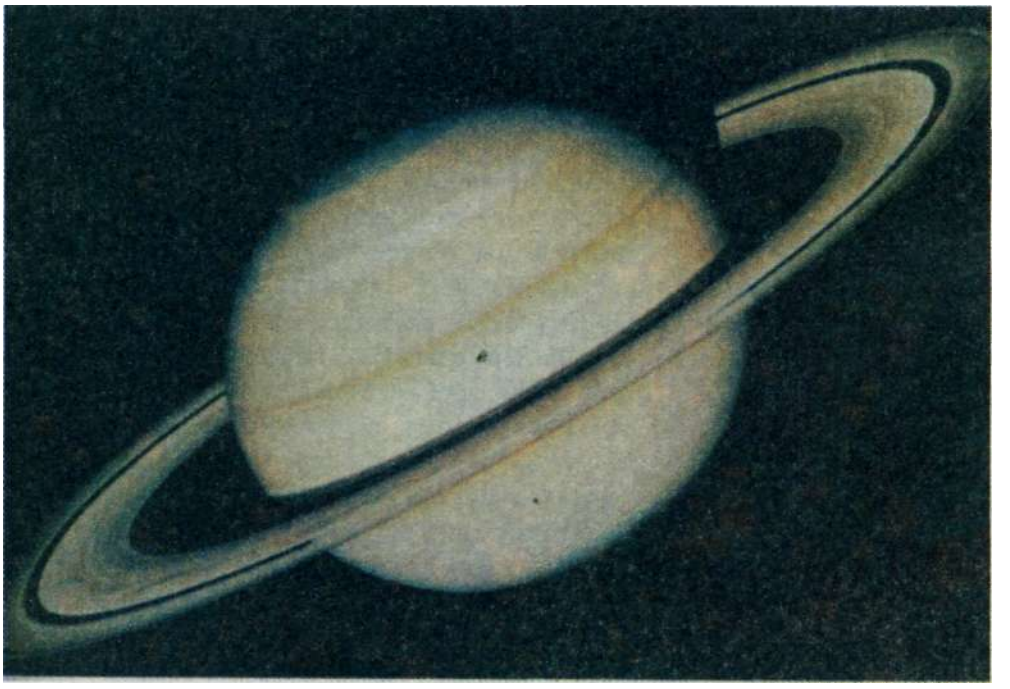


Рис. 9.5. Верхние слои облаков получают энергию как от Солнца, так и из глубин Сатурна. В результате взаимодействия этих потоков энергии возникают сильные ветры, направленные преимущественно с запада на восток, скорость которых достигает 400 м /с. Из-за ветров образуются темные полосы облаков, которые располагаются параллельно экватору.

Для любознательных

Сатурн излучает в космос больше энергии, чем получает от Солнца. Астрономы недавно обнаружили дефицит гелия в атмосфере Сатурна по сравнению с атмосферой Юпитера и предложили интересную гипотезу о возможном источнике его энергии. На Сатурне гелий не полностью растворяется в водороде. В водородной атмосфере Сатурна он образует капли, которые конденсируются в атмосфере как своеобразный туман и затем выпадают в виде дождя. Такие гелиевые осадки в верхних слоях атмосферы могут быть источником внутренней энергии, поскольку более плотный гелий (по сравнению с водородом) опускается ближе к центру. Потенциальная энергия капель гелия превращается в кинетическую, что приводит к повышению температуры в недрах. Со временем гелиевые дожди прекратятся и температура на Сатурне снизится.

4 Уран

Планета названа в честь бога неба Урана и является истинно голубой, так как одну седьмую ее атмосферы составляет метан. Существует одна особенность, которая выделяет Уран среди всех планет Солнечной системы: его экватор наклонен к плоскости орбиты под углом 98°. Такой большой угол наклона приводит к уникальной в Солнечной системе смене времен года — полярные круги располагаются почти на экваторе, а тропики — у полюсов. Это означает, что Солнце освещает один из полюсов планеты почти 42 земных года, в то время как на другом полюсе столько же длится полярная ночь (рис. 9.6). Уран получает от Солнца гораздо меньше энергии, чем Земля, и температура верхних слоев атмосферы не поднимается выше -215 °С.

Астрономы долгое время наблюдали за Ураном, но не обнаружили существенных изменений цвета или образований в атмосфере. Только в 2007 г., когда Солнце освещало одновременно оба полушария Урана (рис. 9.6), в телескопы были замечены полосы облаков.

Уран ⊙	
Радиус	$4\ R_\oplus$
Масса	$14{,}6\ M_\oplus$
Плотность	$1{,}2$ г/см^3
Ускорение свободного падения	$g = 0{,}9\ g_\oplus$
Орбита	$a = 19{,}2$ а. е.
Год	84 земных года
Сутки	17 ч 14 мин
Атмосфера	H_2, He, CH_4
Температура, °С:	
облаков	−215
в ядре	+10 000

Рис. 9.6. Ось вращения Урана лежит почти в плоскости орбиты, поэтому там тропики совпадают с полярным кругом. Продолжительность сезонов на Уране 21 земной год. Осевое вращение Урана происходит в направлении, противоположном направлению вращения других планет

5 Нептун

Планета, которую назвали в честь бога подводного мира, находится на окраине Солнечной системы и имеет период обращения 164,8 земного года. Со времени своего открытия в 1846 г. Нептун сделал полный оборот вокруг Солнца только в 2011 г. Планета имеет сильный внутренний источник энергии и излучает в космос тепла почти втрое больше, чем получает от Солнца.

Нептун ♆	
Радиус	$3{,}9\ R_\oplus$
Масса	$17{,}2\ M_\oplus$
Плотность	1,6 г/см^3
Ускорение свободного падения	$g = 1{,}2\ g_\oplus$
Орбита	$a = 30$ а. е.
Год	164,8 земн. года
Сутки	16 ч 06 мин
Атмосфера	H_2, He, CH_4
Температура, °С:	
облаков	–213
в ядре	+10 000

Под облаками температура атмосферы постепенно повышается до +700 °С, поэтому вода там не может находиться в жидком состоянии. Более реальна гипотеза о водяных облаках с раствором аммиака, плотность которых может превосходить плотность жидкой воды в несколько раз (рис. 9.7). Скорость ветров в облаках достигает 500 м/с. Почему возникают сильные ветры на такой холодной планете — это еще одна неразгаданная тайна Нептуна.

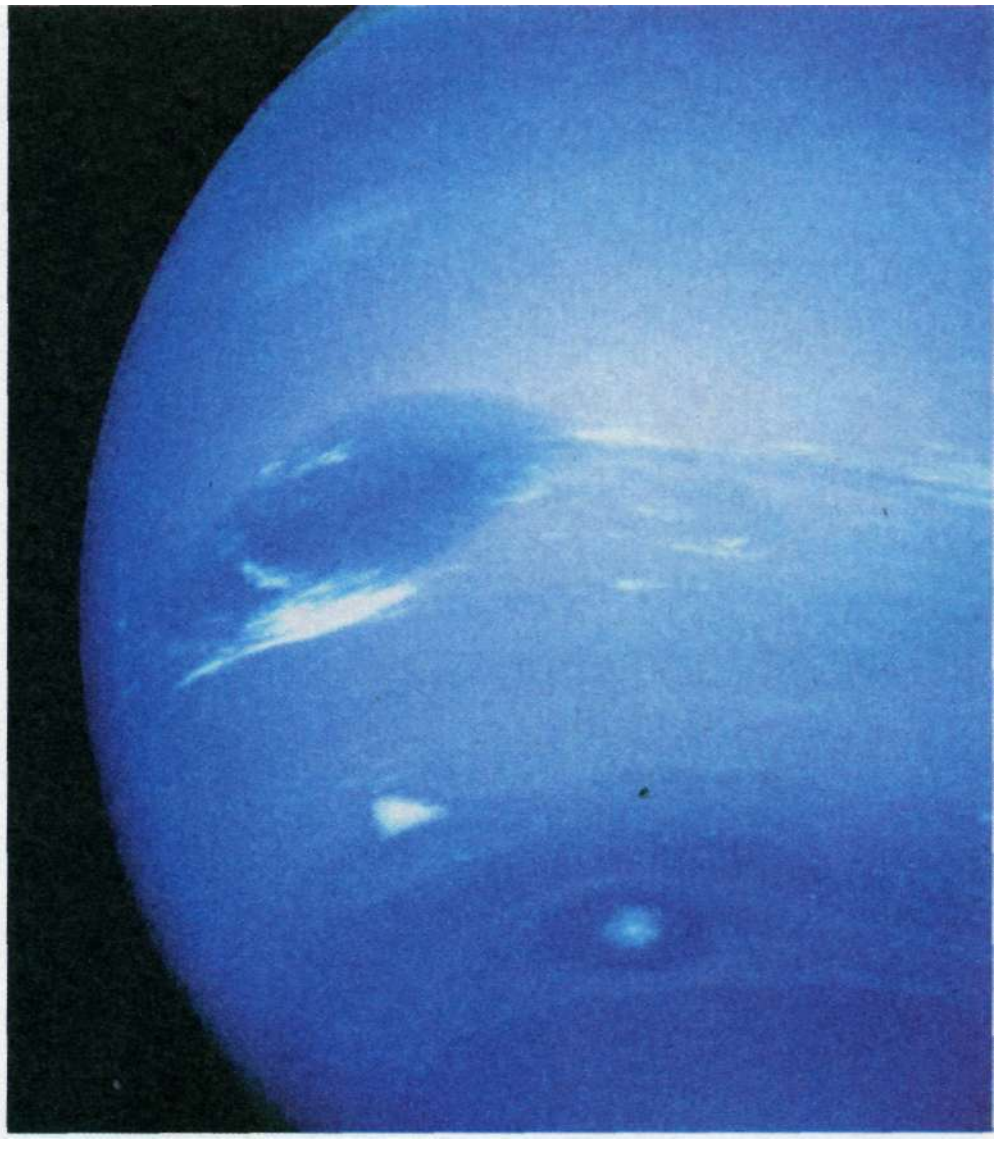


Рис. 9.7. На Нептуне обнаружен гигантский вихрь с диаметром более 1000 км, который называется Большое Черное Пятно

ВЫВОДЫ

По химическому составу планеты-гиганты напоминают звезды. У них нет твердой поверхности, и потому на эти планеты никогда не совершат посадку пилотируемые космические корабли. Под холодными облаками гиганты имеют горячие недра, температура которых достигает десятков тысяч градусов. Одной из тайн остается источник внутренней энергии планет-гигантов, так как все они, за исключением Урана, излучают в космос больше энергии, чем получают от Солнца.

Тесты

1. Какие планеты излучают в космос больше энергии, чем получают от Солнца?
   А. Все планеты-гиганты. Б. Юпитер, Сатурн, Нептун. В. Юпитер, Сатурн, Уран. Г. Уран.
2. Какие планеты вращаются вокруг оси в обратном направлении?
   А. Венера, Юпитер. Б. Все планеты-гиганты. В. Юпитер, Сатурн. Г. Уран, Венера.
3. На поверхности какой из этих планет наблюдается самая большая продолжительность дня?
   А. На Венере. Б. На Марсе. В. На Юпитере. Г. На Уране. Д. На Земле.
4. Сколько времени длится день на полюсах Урана?
   А. 21 земной год. Б. 17 ч 14 мин. В. 1 месяц. Г. 1 земной год. Д. 42 земных года.
5. Какие особенности у планет-гигантов?
6. Почему Юпитер можно считать очень похожим на звезду?
7. Что вызывает гелиевые дожди на Сатурне?
8. Чем обусловлена смена времен года на Уране?
9. Вычислите наименьшее и наибольшее расстояния между Землей и Юпитером (см. прил. 3, 4).
10. С помощью подвижной карты звездного неба определите, в какое время планеты-гиганты восходят и заходят в день вашего рождения в текущем году.

Диспуты на предложенные темы

11. Почему возникли гипотезы о возможной жизни в облаках Юпитера?

Задания для наблюдений

12. С помощью астрономического календаря отыщите на небе Юпитер и Сатурн и определите, в каком созвездии наблюдаются эти планеты.

13. Какие планеты-гиганты видны сегодня в вечернее время?

Ключевые понятия и термины:

Большое Красное Пятно, Большое Черное Пятно, планеты-гиганты, слои облаков, полосы облаков.

§10. Спутники планет

Изучив этот параграф, мы узнаем:

какие физические условия существуют на поверхности спутников планет;
возможна ли жизнь на некоторых спутниках планет;
почему вокруг планет существуют кольца.

1 Спутники Марса

Фобос (греч.— *страх)* и *Деймос* (греч.— *ужас)* названы в честь вечных спутников бога войны Марса. Эти космические тела по форме напоминают огромные картофелины: наибольший диаметр Фобоса — 28 км, а Деймоса — 16 км. На поверхности темного цвета есть множество кратеров (рис. 10.1). Космонавты на поверхности этих спутников вынуждены будут привязываться к кораблю, потому что маленькая сила тяжести доставит много хлопот при передвижении — толчок ноги может придать телу скорость, достаточную для межпланетных полетов.

Спутники Марса

Название	Радиус, км	Масса 10^{16} кг
Фобос	14	1,1
Деймос	8	0,2

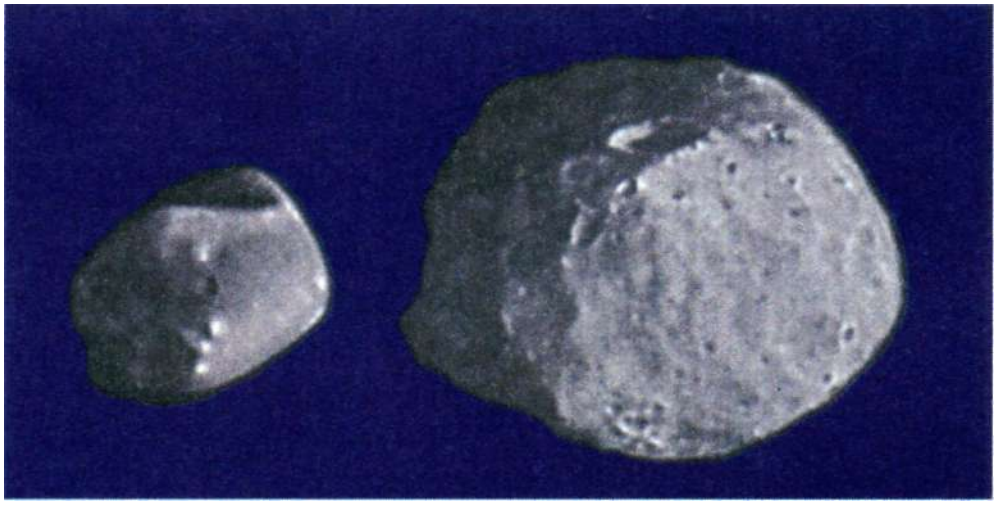


Рис. 10.1. И Деймос, и Фобос имеют твердую поверхность, которая покрыта слоем черной пыли и «засеяна» кратерами. На Фобосе видны странные борозды, похожие на пашню

Для любознательных

Существование спутников Марса предсказывал еще Кеплер, который верил в магическую силу цифр: Земля имеет 1 спутник, у Юпитера были известны в то время 4 спутника, поэтому вокруг расположенного посередине Марса должны обращаться 2 спутника. Затем эту идею развил Свифт, который в книге «Путешествие Гулливера» описал спутники Марса. Но только в 1877 г. А. Холл (США) открыл Фобос и Деймос. Периоды их обращений (7,7 ч и 30,3 ч) и расстояние до планеты оказались почти такими, как описал Свифт 150 лет назад. На самом деле никакой магии в этом странном предположении нет, потому что Свифт наверняка знал, что при помощи третьего закона Кеплера можно определить период обращения и расстояние спутника до Марса.

2 Спутники Юпитера

Галилеевы спутники Юпитера

Название	Радиус, км	Масса 10^{22} кг
Ио	1815	8,9
Европа	1570	4,8
Ганимед	2630	14,9
Каллисто	2400	10,8

Юпитер имеет, по меньшей мере, 63 спутника, которые были зарегистрированы до 2011 г., и тусклые кольца. Четыре крупнейших спутника — Ио, Европа, Ганимед, Каллисто (рис. 10.2) открыл Галилей при помощи своего первого телескопа, поэтому их называют Галилеевы спутники. *Ио* имеет наибольшую геологическую активность среди всех тел Солнечной системы — там зарегистрировано 8 постоянно действующих вулканов, из жерл которых выбрасываются раскаленные газы и магма (рис. 10.3). Ио привлекает внимание фантастической гаммой цветов — желтых, красных и коричневых, которые придают ему соединения серы, присутствующие в продуктах извержения вулканов. Поверхность Ио совсем ровная: жидкая магма при температуре +400 °С заполняет любые впадины.

Рис. 10.2. Галилеевы спутники Юпитера: Европа, Ганимед и Каллисто — покрыты снегом и льдом. Под ледовой корой может существовать океан жидкой воды, в которой не исключена вероятность жизни

Три других Галилеевых спутника — *Европа, Ганимед* и *Каллисто* — очень похожи между собой: на их поверхности видно много снега и льда (рис. 10.4). На этих спутниках под ледяной корой может существовать океан жидкой воды. Многочисленные кратеры свидетельствуют об интенсивной метеоритной бомбардировке в прошлом. При взрывах из кратеров вытекала вода, которая заполняла долины, поэтому на поверхности не видно участков с большими перепадами высоты. Правда, в некоторых местах замечены загадочные образования, напоминающие желобки и гребни горных хребтов, что свидетельствует о возможной тектонической деятельности в прошлом. Ганимед является самым крупным спутником в Солнечной системе, который по размерам превосходит даже Меркурий.

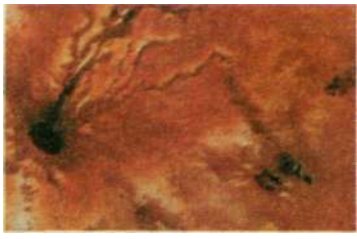


Рис. 10.3. На Ио много серы и действующих вулканов

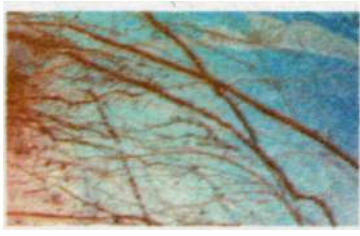


Рис. 10.4. Трещины в ледовом панцире Европы

Для любознательных

На поверхности Каллисто привлекает внимание серия концентрических гребней и гряды холмов, окружающих два больших участка, названные бассейнами.

Гряды холмов очень похожи на рябь — волны, которые образует брошенный в воду камень. Наверное, энергия, выделившаяся при падении гигантского метеорита, растопила лед, но при сильном морозе (-150°С) вода мгновенно замерзла.

3 «Семья» Сатурна

«Семья» Сатурна состоит из системы колец и 62 спутников, которые были открыты до 2011 г., но большинство из них имеют небольшие размеры (рис. 10.5, 10.6). Самый крупный спутник *Титан* окружен густой азотной атмосферой, и его поверхность спрятана под облаками из метана. Несмотря на малую силу тяготения (1/7 земного) атмосферное давление на поверхности Титана составляет 1,6 атм, потому что масса столба воздуха над единицей поверхности в 10 раз больше, чем на Земле.

Крупные спутники Сатурна

Название	Радиус, км
Титан	2575
Рея	765
Япет	720
Диона	560
Тефия	525
Энцелад	251
Мимас	197
Янус	100

Титан

Масса	$1{,}25 \cdot 10^{23}$ кг
Ускорение свободного падения	$g = 0{,}14\ g_{\oplus}$
Атмосфера	N_2, CH_4
Давление	1,6 атм
Температура поверхности, °С	−180°

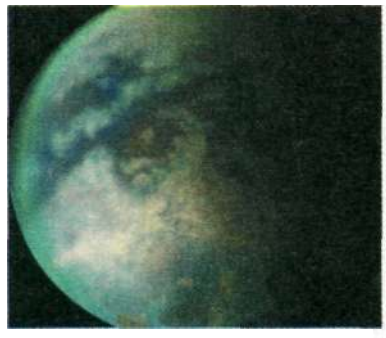


Рис. 10.5. Титан имеет густую азотную атмосферу с примесями метана. Возможно, там выпадают метановые дожди, а на поверхности существуют моря из жидкого метана

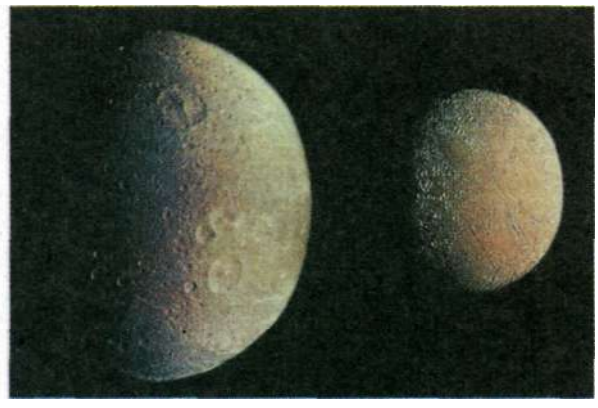


Рис. 10.6. Спутники Сатурна Энцелад (слива) и Диона. Множество кратеров на ледяной поверхности свидетельствуют, что там давно не происходила никакая тектоническая деятельность

Для любознательных

На поверхности Титана даже днем полумрак — сквозь 100-километровый слой тумана пробивается очень мало света, поэтому температура на поверхности -180°С. Именно такая низкая температура и обусловливает существование довольно плотной атмосферы, в то время как на Меркурии и на спутнике Юпитера Ганимеде атмосфера практически отсутствует, хотя они имеют большую массу. Фантасты утверждают, что на Титане даже может существовать жизнь, потому что в атмосфере обнаружено много компонентов органических соединений.

4 Кольца Сатурна

Кольца Сатурна (рис. 10.7) впервые увидел Галилей в 1610 г., но с помощью небольшого телескопа он не смог распознать истинную суть наблюдения. Он обнаружил, что по бокам Сатурн имеет две шишки, которые сливаются, если смотреть на них с большого расстояния. Только в 1659 г. датский астроном Х. Гюйгенс доказал, что шишки пред-

ставляют собой тонкое плоское кольцо вокруг Сатурна. Во время наблюдений с поверхности Земли в большие телескопы видны три концентрических кольца, но с помощью АМС было обнаружено, что эти кольца состоят еще из тысяч отдельных узких колец (рис. 10.8).

Исследования показывают, что диаметр частиц в кольцах колеблется в пределах от миллиметра до десятков метров и состоят эти маленькие спутники из снега и льда. Толщина колец очень мала по сравнению с их шириной, всего несколько десятков метров.

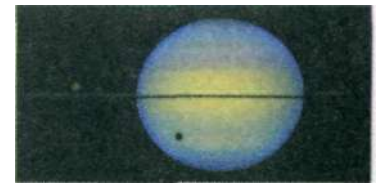


Рис. 10.7. В зависимости от того, как сориентирован Сатурн относительно Земли, его кольца могут быть видны максимально раскрытыми или, когда Земля находится в плоскости колец и они становятся невидимыми, мы их видим с ребра

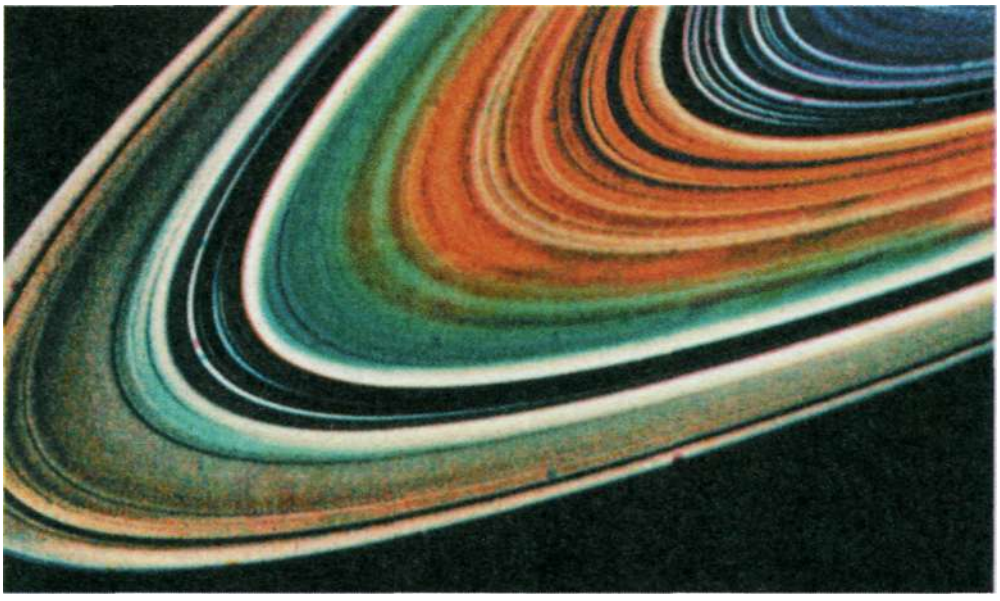


Рис. 10.8. На снимках АМС «Вояджер» видны тысячи концентрических колец Сатурна, которые удивительно переплетены между собой

Для любознательных

В 1848 г. французский астроном Рош доказал, что существует предел в расстоянии до планеты, и спутники планет не могут к ней приближаться, потому что гравитационные силы разорвут их на части. Если средняя плотность спутника такая же, как планеты, то этот предел Роша равен 2,4 радиуса планеты. Есть гипотеза: когда-то существовал спутник Сатурна, который вошел за предел Роша и был разорван приливными силами. Согласно другой гипотезе, кольца —- это остатки того строительного материала, из которого образовалась Солнечная система 5 млрд лет назад. Эту гипотезу подтверждают небольшие тусклые кольца вокруг других планет-гигантов.

5 Спутники Урана

Уран имеет темные кольца и 27 спутников, которые были зарегистрированы до 2011 г. При помощи телескопов открыты только 5 крупных спутников: *Ариэль, Умбриэль, Титания, Оберон и Миранда,* а все остальные впервые сфотографированы в 1986 г. АМС «Вояджер-2». Спутники повернуты к Урану одним полушарием, а их орбиты лежат в плоскости экватора, вследствие чего на всех спутниках происходит такая же странная смена времен года, как и на Уране (см. § 9).

Рис. 10.9. На поверхности Миранды видны странные овраги и долины, напоминающие трековые дорожки на стадионах

Большие спутники состоят изо льда и скалистых пород. Миранда (рис. 10.9) является наиболее интересным спутником, на котором видны территории с долинами, пропастями и грядами гор. Это все свидетельствует о периодах катастроф в его геологической истории, когда несколько раз неизвестные космические факторы меняли поверхность спутника. Титания и Оберон (рис. 10.10) имеют множество кратеров. Серый цвет поверхности свидетельствует о том, что снег на ней грязный.

Рис. 10.10. Оберон (слева), Титания (справа)

6 Спутники Нептуна

В наше время (2011 г.) известно 13 спутников Нептуна и выявлены тонкие тусклые кольца. При помощи телескопов было открыто 2 спутника — *Тритон и Нереида,* а другие сфотографировала АМС «Вояджер-2» в 1989 г. Самый крупный спутник Нептуна Тритон (радиус — 1380 км) имеет несколько загадочных образований. Светлая поверхность Тритона поглощает мало солнечной энергии, поэтому температура там не поднимается выше -236 °С. Это самая низкая дневная температура, которую зарегистрировали на спутниках планет Солнечной системы. Поверхность Тритона твердая (рис. 10.11).

Рис. 10.11. Южный полюс Тритона. Поверхность покрыта льдом и снегом, а в полярной шапке, возможно, присутствует замерзший азот

Тритон — единственный большой спутник среди тел Солнечной системы, который движется вокруг планеты в обратном направлении по сравнению с вращением Нептуна вокруг оси. Это свидетельствует о том, что Тритон, возможно, был когда-то захвачен гравитационным полем Нептуна и теперь по спирали приближается к планете. Когда расстояние между Нептуном и Тритоном уменьшится до 65000 км (предел Роша), приливные силы разрушат спутник, и вокруг Нептуна образуется огромное кольцо, подобное кольцам Сатурна.

Тритон

Радиус	1380 км
Масса	$2{,}15 \cdot 10^{22}$ кг
Температура	-236 °С

Выводы.

Спутники планет Солнечной системы имеют различные физические характеристики. Поверхность большинства спутников покрыта снегом и льдом, а на спутниках Юпитера Европе, Ганимеде и Каллисто, возможно, существуют океаны жидкой воды. Крупнейший спутник Сатурна Титан окружен плотной атмосферой, и на его поверхности могут быть океаны метана. В метановых морях при низких температурах органические соединения могли бы образовать формы жизни, которые не похожи на земные, так как там вместо воды растворителем мог бы служить жидкий метан. Спутники планет в будущем могут стать космическими базами для освоения Солнечной системы.

Тесты

1. Почему иногда кольца Сатурна исчезают?
   А. Испаряются. Б. Прячутся за Сатурн. В. Закрываются другими планетами. Г. Плоскость кольца совпадает с лучом зрения наблюдателя. Д. Закрываются облаками.
2. Какой из больших спутников движется вокруг планеты в обратном направлении?
   А. Европа. Б. Ио. В. Каллисто. Г. Ганимед. Д. Тритон.
3. На поверхности каких спутников может существовать жизнь?
   А. На Фобосе. Б. На Ио. В. На Ганимеде. Г. На Европе. Д. На Титане.
4. Какой из спутников имеет густую азотную атмосферу с примесями метана?
   А. Фобос. Б. Европа. В. Титан. Г. Оберон. Д. Тритон.
5. На каких спутниках обнаружены действующие вулканы?
   А. На Луне. Б. На Деймосе. В. На Ио. Г. На Тритоне. Д. На Хароне.
6. Чем объясняется удивительная окраска Ио?
7. О чем свидетельствуют многочисленные кратеры на спутниках Юпитера?
8. Какие спутники планет имеют атмосферу?
9. Что объясняет наличие плотной атмосферы на Титане?
10. Определите свой вес на поверхности одного из спутников планет, радиусы которых приведены в этом параграфе, если его плотность 2 г/см^3.
11. На поверхности какого спутника ваш вес будет самым большим?

Диспуты на предложенные темы

12. Поверхность каких спутников можно использовать для построения космических поселений?

Задания для наблюдений

13. С помощью бинокля или школьного телескопа можно наблюдать Галилеевы спутники Юпитера. Определите моменты затмения одного из этих спутников — когда он исчезает за диском Юпитера.

Ключевые понятия и термины: -

Галилеевы спутники, кольца вокруг планет, предел Роила.

§ 11. Малые тела Солнечной системы

Изучив этот параграф, мы узнаем:

о загадочном поясе астероидов;
об опасных астероидах, которые могут столкнуться с Землей;
чем отличаются метеоры и метеориты;
о светилах со странными «хвостами» — кометах;
когда в Солнечной системе появились планеты-карлики.

1 Астероиды

Первый астероид (от греч.— звездообразный) открыл итальянский астроном Д. Пиацци (1746—1826). В ночь на 1 января 1801 г. он увидел слабую звезду, которая на следующий вечер немного переместилась. Новой планете дали название *Церера* (по римской мифологии — богиня земледелия). За Церерой стали внимательно наблюдать — она оказалась небольшой, даже меньше Луны, и обращалась вокруг Солнца между орбитами Марса и Юпитера. Каково же было удивление астрономов, когда через несколько лет недалеко от Цереры обнаружили еще одну малую планету — ее назвали *Палладой* (одним из имен богини мудрости *Афины)*. Затем были открыты еще две — *Юнона и Веста*. Потом доказали, что первый открытый астероид является и самым большим — диаметр Цереры равен 960 км. В 2006 г. Цереру отнесли к классу *планет-карликов* (см. 11.7). На январь 2011 г. зарегистрировано более 500000 астероидов (рис. 11.1, 11.2), и меньшие из них имеют диаметр всего несколько десятков метров. В телескопы диски этих тел различить невозможно — они имеют вид светлых точек. Суммарная масса всех астероидов не превышает 0,1 массы Луны.

Крупнейшие астероиды

Номер и название	Диаметр, км
1 Церера	960
2 Паллада	608
3 Веста	555
10 Гигия	450
31 Ефросиния	370
52 Европа	289
65 Кибела	309
451 Пациенция	276
511 Давида	323
704 Интерамния	350

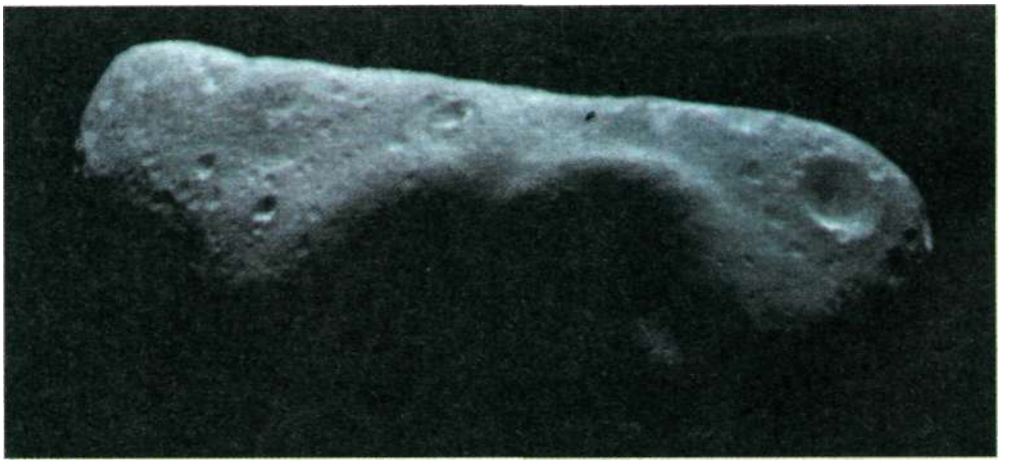


Рис. 11.1. Астероид 433 Эрос имеет вид гигантского седла длиной 33 км. АМС, совершив посадку на поверхность астероида в котловине вблизи центра, обнаружила, что его серая поверхность покрыта слоем реголита и похожа на поверхность Луны

Астероидам присваивают порядковый номер и название, которое предлагает автор открытия. Сначала по традиции астероидам давали название в честь мифологических богинь, но со временем число открытых малых планет превзошло все «божественное» население Олимпа, поэтому сейчас новые космические тела называют в честь стран, городов, выдающихся ученых, поэтов и деятелей искусства. Большое количество малых планет открыл в Крымской астрофизической обсерватории астроном Н. С. Черных (1931—2006).

Некоторые астероиды, названия которых связаны с Украиной

Номер	Название
1709	Украина
1855	Королев
2164	Ляля
2171	Киев
2325	Черных
2427	Кобзарь
2428	Каменяр
2606	Одесса
2616	Леся
2728	Яцкив
2883	Барабашов
3084	Кондратюк

2 Тайны астероидов

Почему между Марсом и Юпитером находится не одна большая планета, а множество малых тел? Для объяснения этой загадки немецкий астроном Г. Ольберс (1758—1840) выдвинул гипотезу, что между Марсом и Юпитером некогда существовала планета *Фаэтон,* которая почему-то взорвалась. Причиной катастрофы могла быть встреча планеты с другим космическим телом. В пользу теории взрыва планеты свидетельствует то, что большинство астероидов имеют вид осколков неправильной формы. Современные исследования распределения орбит малых планет показывают, что, скорее всего, между Марсом и Юпитером большой планеты никогда не было, а *пояс астероидов* — это остатки того вещества, из которого 4,5 млрд лет назад образовались планеты Солнечной системы.

Рис. 11.2. Астероид 243 Ида

За орбитой Нептуна находится кольцо мелких планетоподобных тел (так называемый *пояс Койпера;* см. § 11.7), которые из-за гравитационных возмущений могут изменять параметры своих орбит. Столкновение с другой планетой или спутником вызовет разрушение этих тел и образование отдельных фрагментов, которые будут обращаться по самостоятельным орбитам. Если учесть, что вероятность встречи осколков возрастает с увеличением их количества, то пояс астероидов может быть своеобразной машиной для дробления космических тел на меньшие фрагменты.

Для любознательных

О том, что малые планеты продолжают делиться, свидетельствует открытие так называемых семейств или групп астероидов. В 1918 г. японский астроном К. Хираяма обратил внимание на некоторые группы астероидов, имеющих сходные параметры орбит. Такие группы астероидов назвали *семействами Хирамы* — они могли образоваться после столкновения более крупных тел. Астероиды движутся вокруг Солнца в ту же сторону, что и планеты, и имеют, как правило, эллиптические орбиты.

3 Опасные астероиды

Наибольшее внимание астрономов- привлекают астероиды группы Аполлона, Амура и Атона, так как в перигелии они приближаются к Земле или даже пересекают ее орбиту. Например, в 1932 г. астероид 1862 Аполлон (диаметр 3 км) пролетел мимо Земли на расстоянии 0,028 а. е. Еще ближе от Земли в 1994 г. пролетел астероид 1994 ХМИ — от катастрофы нас отделяло всего 112000 км в пространстве и 1 час времени.

Степень риска — это произведение вероятности космической катастрофы на количество возможных человеческих жертв

Хотя вероятность встречи с отдельным астероидом достаточно мала, но, учитывая их большое количество и глобальные последствия столкновения, *степень риска* погибнуть от космической катастрофы оказалась такой же, как от обычного наводнения или авиакатастрофы. По современным данным, существуют около 2000 астероидов с диаметром более 1 км и несколько сотен тысяч с диаметром более 100 м,

В 2004 г. открыли 320-метровый опасный астероид Апофис, который 13 апреля 2029 пролетит мимо Земли на расстоянии около 37000 км

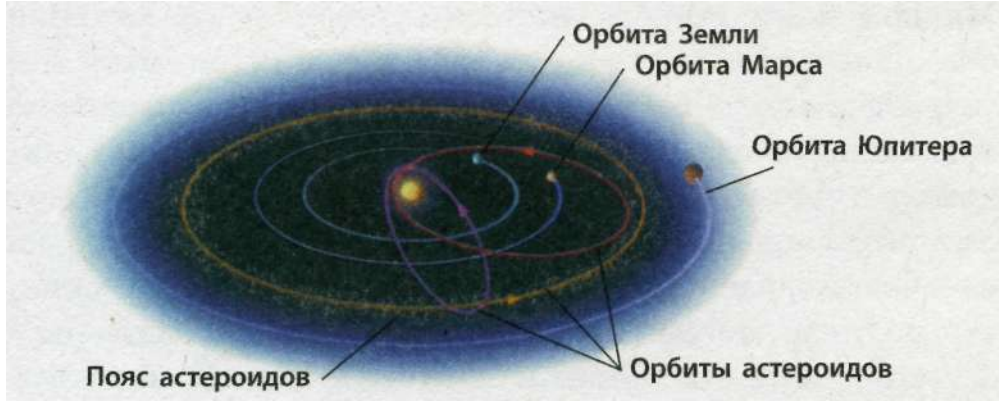


Рис. 11.3. Орбиты некоторых астероидов, пересекающих орбиту Земли

пересекающих орбиту Земли (рис. 11.3). При встрече Земли с астероидом диаметром 1 км выделится энергия, эквивалентная взрыву миллионов атомных бомб. Кроме того, выброс пыли в атмосферу приведет к образованию сплошной облачности, поэтому поверхность Земли будет получать меньше солнечной энергии. Снижение температуры может дать начало новому ледниковому периоду (см. § 7).

Для спасения нашей цивилизации создан международный Фонд «Космическая стража», разработана программа поисков опасных астероидов, комет и вычисления их орбит. Значительный вклад в эти исследования сделали украинские астрономы: В. Кручиненко, К. Чурюмов (Киев), М. Черных (Крым), Д. Лупишко (Харьков).

Для любознательных

В будущем технические возможности человечества позволят избежать вероятной катастрофы от встречи с астероидами, если можно будет как-то изменять параметры их орбит. Исследования астероида Эроса (рис. 11.1) показывают, что даже небольшие космические тела, состоящие из отдельных фрагментов, при взрыве могут разлететься на отдельные осколки, орбиты которых рассчитать заранее невозможно.

4 Метеоры и метеориты

Названия *метеор* и *метеорит* в переводе с греческого означает «тот, что находится в воздухе». Астрономы когда-то считали, что падающие звезды — чисто атмосферное явление, что-то вроде обычной молнии. **Метеорные частицы** — это космическая пыль, которая никогда не долетает до поверхности Земли, потому что она сгорает и испаряется в атмосфере на высоте нескольких десятков километров. То есть *метеором,* или *падающей звездой,* мы называем световое явление, которое вызывает ионизацию воздуха на пути полета метеорной частицы, так как саму микроскопическую пылинку заметить невозможно. *Метеориты* имеют большую массу, поэтому они могут достичь поверхности Земли (рис. 11.4). Когда метеоритное тело с большой скоростью летит в атмосфере, то из-за сопротивления воздуха оно нагревается до температуры выше 10000°С и начинает светиться, как раскаленный шар, который называют **болидом** (греч.— копье). Во время полета болида со сверхзвуковой скоростью в атмосфере возникает ударная волна, которая создает мощные звуковые колебания, поэтому человек слышит сильный грохот.

Рис. 11.4. Метеорит, найденный в Антарктике

Метеор — световое явление, возникающее в ионизированном воздухе на пути полета маленьких метеорных частиц

Болид — световое явление, которое сопровождает полет метеоритного тела в атмосфере

Метеоритное тело — это фрагмент астероида, который, обращаясь вокруг Солнца, сталкивается с нашей планетой. То есть метеориты имеют астероидное происхождение. Скорость, с которой метеор или метеорит влетает в земную атмосферу, зависит от направления его движения относительно вектора скорости Земли. Наибольшую скорость вхождения в атмосферу (50—70 км/с) имеют те метеоритные тела, которые летят навстречу движению Земли, тогда скорости болида и Земли складываются. Скорость метеора и метеоритного тела при вхождении в атмосферу Земли не может быть меньше 11,2 км/с, так как даже когда астероидное тело «догоняет» нашу планету, то из-за земного притяжения его скорость начинает возрастать. Сейчас за счет метеоритного вещества масса Земли увеличивается на 500000 т в год.

Рис. 11.5. Аризонский кратер (США) образовался 10000 лет назад. Его диаметр 1,2 км, глубина 200 м. Осколки метеорита находят на расстоянии 30 км от кратера

На Земле астрономы и геологи обнаружили более сотни метеоритных кратеров различного диаметра (рис. 11.5), которые называют астроблемами (от греч.— звездные раны), но большинство кратеров не сохранились, так как на протяжении веков атмосферные процессы уничтожали следы космических катаклизмов. Большую кольцевую структуру метеоритного происхрждения диаметром 7 км обнаружили в Украине в Ильинецком районе Винницкой области. Геологические исследования показывают, что начальная масса метеорита была не менее 10^{11} кг.

Для любознательных

На территорию Украины ежегодно падают несколько метеоритов массой 1 кг и более, поэтому астрономы обращаются ко всем ученикам с просьбой помочь в поисках этих космических путешественников. Обратите внимание на падение болидов, летящих со сверхзвуковой скоростью. При этом возникает резкий взрывной звук, как при полете реактивного самолета, когда он пересекает звуковой барьер. Ночью во время полета болида видно яркое свечение в виде раскаленного шара, который может разделиться на осколки. Для поисков метеорита определите направление, в котором летел болид, запишите время, когда наблюдалось это явление, и сразу сообщите об этом учителю астрономии или напишите в ближайшую астрономическую обсерваторию.

5 Загадка Тунгусского метеорита

Самым крупным метеоритом XX в. можно считать Тунгусский, упавший 30 июня 1908 г. в тайге у реки Подкаменная Тунгуска (приток Енисея) в Сибири. Его полет в атмосфере наблюдали по трассе длиной почти 5000 км. Яркость болида была настолько велика, что казалось, будто от Солнца отделился кусок и летит по небу. При падении произошел сильнейший взрыв, который был слышен на расстоянии 2000 км от места падения. Сейсмические станции зарегистрировали землетрясение, а сейсмические волны дважды обогнули Землю.

Рис. 11.6. Поваленный лес на месте падения Тунгусского метеорита

Расчеты показали, что при падении метеорита выделилась энергия 10^{17} Дж — такую энергию выделяет взрыв самых мощных водородных бомб.

В 1926 г. Академия наук Украины организовала первую экспедицию в район падения Тунгусского метеорита. Ее возглавил профессор Л. Кулик. Интересная тайна, которую обнаружила экспедиция,— отсутствие кратера и осколков на месте падения метеорита. Ученые выдвинули гипотезу, что метеорит мог взорваться в воздухе. Об этом свидетельствуют стволы поваленных деревьев на месте катастрофы (рис. 11.6). Площадь поваленного и сожженного леса занимает около 5000 км^2, но в эпицентре воздушного взрыва, где ударная волна распространялась перпендикулярно к поверхности Земли, стволы деревьев не были повалены.

Для любознательных

Остается тайной, куда делись осколки Тунгусского метеорита при взрыве. Наиболее вероятным объяснением этих аномальных явлений может быть гипотеза о том, что метеорит был ледяным ядром небольшой кометы (см. п. 11.6), вспыхнувшим в атмосфере Земли. Газовые компоненты ядра испарились, а твердые силикатные частицы расплавились и выпали на поверхность в виде микроскопических частиц.

6 Кометы

Кометы (от греч.— мохнатый) своим необычным видом привлекают наибольшее внимание людей, ибо они имеют необычный красивый хвост. Кометы являются остатками космического вещества, из которого образовались планеты Солнечной системы. По традиции комете дают название в честь тех астрономов, которые первыми увидели ее на небе (рис. 11.7, 11.8). Часто кометы открывали любители астрономии и даже школьники. В честь украинских астрономов названы кометы Герасименко, Неуймина, Скоритченко, Черных, Чурюмова, Шайна.

Самой знаменитой кометой можно считать *комету Галлея,* которую наблюдают уже несколько тысячелетий. Директор Гринвичской обсерватории Э. Галлей (1656—1742) впервые определил орбиту кометы, которую было видно в 1682 г. Для этого он изучил древние летописи и обратил внимание на то, что одна из комет появлялась на небе с постоянным периодом 76 лет. С помощью третьего закона Кеплера Галлей определил большую полуось орбиты и предсказал ее появление в 1758 г. Последний раз комету Галлея наблюдали в 1986 г., а следующий ее прилет к Земле ожидается в 2061 г.

Рис. 11.7. Комета Галлея

Рис. 11.8. Комета Хейла-Боппа

Долгое время загадкой для астрономов был длинный хвост кометы, который иногда простирается на миллионы или сотни миллионов километров, причем

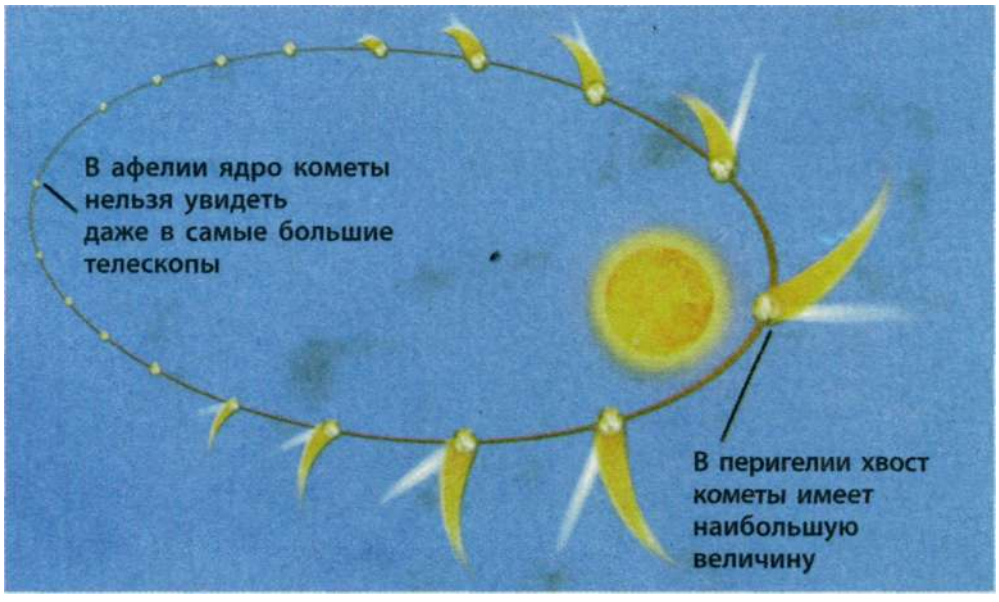


Рис. 11.9. Движение кометы вокруг Солнца. Под действием солнечного ветра хвост кометы отталкивается в противоположном от Солнца направлении

Рис. 11.10. Ядро кометы Галлея на расстоянии нескольких тысяч километров. Длина очень темного ядра 15 км, ширина — 8 км. Из отверстий, находящихся на поверхности, вырываются струи газа

направление хвоста изменяется таким образом, что он все время отклоняется в противоположную от Солнца сторону. Кажется, что хвост к Солнцу не притягивается, а, наоборот, отталкивается, будто бы от Солнца дует своеобразный ветер. Конечно, хвост кометы притягивается к Солнцу, но для частиц с диаметром менее чем 10—5 м сила отталкивания становится больше силы притяжения. Именно хвост комет и состоит из микроскопических частиц космической пыли, на которые действует отталкивающая сила солнечного ветра (рис. **11.9).**

Ядро кометы, из которого образуется хвост, состоит в основном изо льда. Впервые оно было сфотографировано советской АМС «Вега» в **1986** г. (рис. **11.10).** Диаметр таких ледяных ядер может быть всего несколько десятков километров, поэтому на большом расстоянии от Земли они не видны. Лед в ядрах комет, которые часто приближаются к Солнцу, со временем полностью испаряется. От кометы остаются твердые силикатные пылинки, которые продолжают движение по орбите и превращаются в *метеорные потоки.* Когда Земля пересекает орбиту такого метеорного потока, наблюдается *звездный дождь,* в это время на небе можно увидеть тысячи метеоров.

Солнечный ветер состоит из элементарных частиц и отдельных ядер легких химических элементов, летящих от Солнца

Датский астроном Я. Оорт выдвинул гипотезу, что за орбитой Нептуна могут быть миллионы таких кометных ядер **(облако Оорта),** но из них только небольшое количество подходит в перигелии близко к Солнцу. Под влиянием гравитационного возмущения больших планет кометы могут изменить свою орбиту и даже столкнуться с ними. Такой катастрофой мог быть взрыв Тунгусского метеорита (см. п. 11.5). В 1994 г. комета Шумейкера-Леви упала на Юпитер. Во время этого столкновения выделилась энергия, равная взрыву миллионов ядерных бомб.

Для любознательных

Можно ли использовать астероиды и кометы для нужд нашей цивилизации? Возможно, что в будущем астероиды можно приспособить под базы для межпланетных экспедиций. Некоторые астероиды, возможно, содержат редкие химические элементы, которые можно было бы применять при сооружении космических поселений как в космосе, так и на поверхности спутников планет. Во время космического строительства надо помнить, что ускорение свободного падения на астероидах очень мало, поэтому один неосторожный толчок ногой может придать космонавту вторую космическую скорость. Температура на поверхности астероидов зависит от цвета поверхности и расстояния до Солнца. В главном поясе астероидов, на расстоянии 2,8 а. е. от Солнца, температура на

дневной стороне редко поднимается выше 0°С, но астероиды группы Аполлона, Амура и Атона, движущиеся по очень вытянутым орбитам, в перигелии могут нагреваться до +500 °С.

7 Планеты-карлики

Впервые этот новый класс тел Солнечной системы выделили в августе 2006 г. на съезде Международного Астрономического Союза (МАС) в Праге. Тогда же был изменен статус *Плутона,* который до этого был девятой планетой Солнечной системы: отныне он стал первой *планетой-карликом.* После открытия Нептуна в 1846 г. (см. § 4) почти целый век астрономы искали девятую планету, которая могла вызвать небольшие возмущения орбиты Урана, потому что гравитационным воздействием Нептуна можно объяснить только 98% возмущений орбиты этой планеты.

Плутон ♇

Радиус	$0{,}18\ R_\oplus$
Масса	$0{,}002\ M_\oplus$
Плотность	2,1 г/см^3
Ускорение свободного падения	$g = 0{,}06\ g_\oplus$
Орбита	a = 39,5 а. е.
Год	248,6 земн. года
Сутки	6,4 земн. суток
Температура	–213 °С

Только 18 февраля 1930 г. в Ловеллской обсерватории (США) К. Томбо открыл неизвестную планету, которая получила название Плутон в честь мифического бога подземного царства.

В 1978 г. астрономы обратили внимание на то, что на фотографии Плутона видно небольшое выпячивание на его диске. Продолжая наблюдения, ученые пришли к выводу, что у Плутона есть спутник, и назвали его *Харон.* Он обращается вокруг планеты с периодом 6,4 суток. В 2006 г. при помощи Космического телескопа Хаббла были открыты еще два небольших спутника Плутона

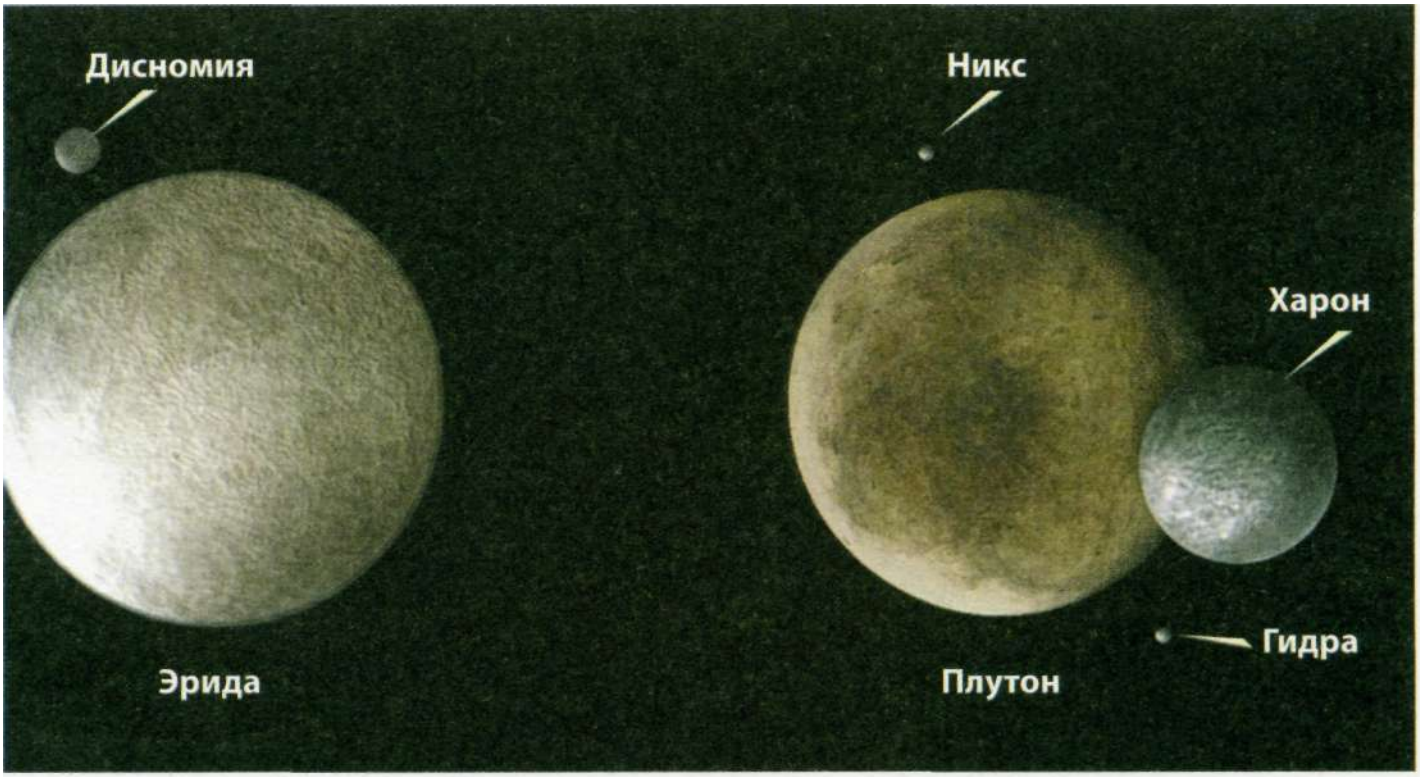


Рис. 11.11. Плутон, Харон, Эрида

Нике и Гидра. В связи с тем, что Плутон имеет очень вытянутую орбиту с большим, по сравнению с другими планетами, эксцентриситетом *(e* = 0,25) и по массе и размерам намного меньше других планет Солнечной системы, некоторые астрономы считают, что Плутон был когда-то спутником Нептуна. Ведь Юпитер, Сатурн, Нептун и Земля имеют спутники гораздо больших размеров, чем Плутон. Статус Плутона как планеты со временем становился подозрительным еще и потому, что его орбита наклонена под значительным углом к плоскости эклиптики по сравнению с любой планетой Солнечной системы и немного напоминает орбиты комет.

В 1951 г., анализируя орбиты комет, астроном Дж. Койпер предсказал существование за Нептуном пояса астероидов, который теперь официально назвали **поясом Койпера.** Астрономические наблюдения при помощи современных телескопов подтвердили эту гипотезу в **1990** г., когда за Плутоном начали открывать новые объекты пояса Койпера. С научной точки зрения стало очевидным, что Плутон больше похож на эти объекты, чем на остальные 8 планет Солнечной системы.

В июле **2005** г. был открыт новый объект пояса Койпера, который оказался больше Плутона, поэтому некоторые астрономы стали называть его десятой планетой. Новую планету неофициально прозвали *Ксеной* (с греч.— чужая). Это открытие стало роковым ударом для статус-кво девяти планет, потому что если Плутон считают планетой, то Ксена тоже должна относиться к классу планет. Поэтому перед астрономами встали вопросы, что делать с другими объектами пояса Койпера, которые поменьше, чем Плутон, ведь в будущем на окраинах Солнечной системы могут открыть еще большие тела.

К началу **2011** г. зарегистрировали более **1000** астероидов, орбиты которых располагаются за орбитой Нептуна в пределах пояса Койпера. Для решения этой проблемы в Международном Астрономическом Союзе был создан специальный комитет, который предложил модифицировать определение планеты, добавив, что *планета должна быть не только круглой формы, но должна также быть единым телом на своей орбите.* По этому определению *Плутон* утратил статус планеты, поскольку он является одним из многих объектов пояса Койпера, и к тому же его орбита фактически пересекается с орбитой Нептуна. **В 2006** г. Плутон был обозначен астероидным номером 134340; официальное название и номер получил и объект с условным названием *Ксена.* Ему присвоили номер **136199** и название *Эрида.*

На декабрь **2010** г. зарегистрировано 3 планеты-карлика: *Церера, Плутон, Эрида.*

Выводы

Малые тела Солнечной системы (планеты-карлики, астероиды, кометы, метеорные тела) являются остатками того огромного облака космического вещества,

из которого образовались Солнце и большие планеты. Основной пояс астероидов находится между Марсом и Юпитером, но за орбитой Нептуна существуют еще миллионы планетоподобных тел (пояс Койпера) и миллионы кометных ядер (облако Оорта). Астероиды, возможно, станут базами для исследования космоса, а металлические астероиды можно использовать как источник добычи полезных ископаемых. Существует опасность встречи Земли с теми астероидами, орбиты которых приближаются к Земле или пересекают ее орбиту.

Тесты

1. Метеором называется явление, когда:
   А. Звезды падают на Землю. Б. Камень падает на Землю. В. Пылинки сгорают в воздухе. Г. Молнии наблюдаются в воздухе. Д. Пыль выбрасывается в атмосферу.
2. Из чего состоит ядро кометы?
   А. Изо льда и пыли. Б. Из железа. В. Из камней. Г. Из раскаленных газов. Д. Из водяного пара.
3. С какой наименьшей скоростью метеориты влетают в атмосферу Земли?
   А. 1 м/с. Б. 1 км/с. В. 11,2 км/с. Г. 22,2 км/с. Д. 70 км/с. Е. 100 км/с.
4. С какой наибольшей скоростью метеорит может влететь в атмосферу Земли?
   А. 1 м/с. Б. 1 км/с. В. 11,2 км/с. Г. 22,2 км/с. Д. 70 км/с. Е. 100 км/с.
5. Тунгусский метеорит называют загадочным потому, что:
   А. Метеорит был космическим кораблем марсиан. Б. На месте падения не выявлено метеоритного кратера. В. В атмосфере произошла вспышка, напоминавшая взрыв ядерной бомбы. Г. Метеорит был глыбой льда. Д. После падения метеорита над Европой наблюдалось загадочное сияние в атмосфере и ночью не было видно звезд.
6. Почему большинство астероидов имеют неправильную форму?
7. Почему метеориты могут достигать поверхности Земли?
8. Какое семейство астероидов может вызвать угрозу для Земли?
9. Чем отличается метеор от метеорита?
10. Хвост кометы обычно притягивается к Солнцу или отталкивается от него?
11. Почему комета может изменить свою орбиту?
12. Какой самый большой метеоритный кратер обнаружили на территории Украины?
13. Вычислите свой вес на астероиде 1709 Украина, который имеет диаметр 20 км. Плотность астероида 3 г/см^3.

Диспуты на предложенные темы

14. Каково ваше мнение относительно практического использования астероидов как источника полезных ископаемых?

Задания для наблюдений

15. Посчитайте количество метеоров, пролетающих по небосводу в течение 30 мин.

Ключевые понятия и термины:

Астроблема, астероид, болид, комета, метеор, метеорит, пояс астероидов, пояс Койпера, степень риска, хвост кометы, облако Оорта, ядро кометы.

§ 12. Солнце — наша звезда

Изучив этот параграф, мы узнаем:

почему светит Солнце;

о природе солнечных пятен и их влиянии на биосферу Земли;

как в домашних условиях можно использовать солнечную энергию.

1 Физические характеристики Солнца

Солнце — одна из миллиардов звезд нашей Галактики, центральное светило в Солнечной системе, возраст которого около 5 млрд лет. Оно дает Земле тепло и свет, тем самым поддерживая жизнь на нашей планете. Солнце находится на близком расстоянии от Земли — всего 150 млн км, поэтому мы видим его в форме диска. Изучение Солнца имеет очень важное практическое значение для развития земной цивилизации.

Солнце ⊙	
Радиус	$109\ R_\oplus$
Масса	$330\,000\ M_\oplus$
Средняя плотность	1,4 г/см^3
Химический состав по массе, %:	
H_2	71
He	27
Светность	$4 \cdot 10^{26}$ Вт
Температура, К:	
фотосферы	5780
ядра	15 000 000

Температура Солнца измеряется при помощи законов излучения черного тела (см. § 6). Солнце излучает электромагнитные волны различной длины, которые нашим глазом воспринимаются как белый свет. На самом деле белый свет состоит из целого спектра электромагнитных волн от красного цвета до фиолетового, но Солнце излучает больше всего энергии в желто-зеленой части спектра, поэтому астрономы называют Солнце желтой звездой. Температура на поверхности Солнца **5780 К.**

Светимость Солнца определяет мощность его излучения, то есть количество энергии, которую излучает поверхность Солнца во всех направлениях за единицу времени. Для определения светимости Солнца надо измерить солнечную постоянную q — энергию, которую получает 1 м^2 пбверхности Земли за 1 с при условии, что Солнце находится в зените. Для определения светимости Солнца необходимо величину солнечной постоянной умножить на площадь сферы с радиусом R:

$$L_\odot = 4\pi R^2 \cdot q \approx 4 \cdot 10^{26}\ \text{Вт},$$

где $R = 1,5 \cdot 10^{11}$ м — расстояние от Земли до Солнца.

Солнечная постоянная q — энергия, которую получает 1 м^2 поверхности Земли за 1 с, если солнечные лучи падают перпендикулярно к поверхности. По современным данным на границе верхних слоев атмосферы Земли величина солнечной постоянной q=1,4кВт/м^2

2 Строение Солнца

Солнце — огромный раскаленный плазменный шар, имеющий сложное строение внешних и внутренних слоев.

В результате физических процессов, протекающих в недрах Солнца, непрерывно выделяется энергия, которая передается внешним слоям и распределяется на все большую площадь. Вследствие этого по мере приближения к поверхности температура солнечной плазмы постепенно снижается. В зависимости от температуры и характера процессов, определяемых этой температурой, Солнце условно разделяют на следующие области с различным физическим состоянием вещества и распределением энергии: *ядро, зона радиации, конвективная зона и атмосфера* (рис. 12.1).

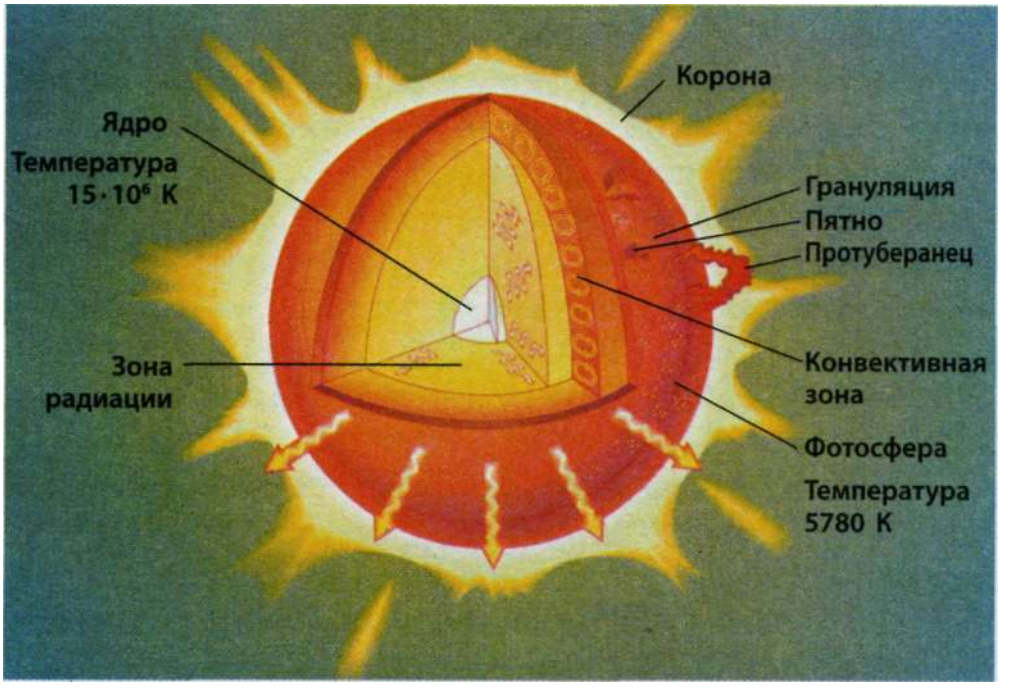


Рис. 12.1. Внутреннее строение Солнца

Центральная область (ядро) занимает относительно небольшой объем, но благодаря большой плотности ядра, которая увеличивается к центру, там сосредоточена значительная часть массы Солнца. Огромное давление и сверхвысокая температура обеспечивают протекание термоядерных реакций, которые являются основным источником энергии Солнца. Радиус ядра составляет примерно $1/3 R_\odot$.

В *зоне лучистого равновесия,* или *зоне радиации,* окружающей ядро на расстоянии до $2/3 R_\odot$, энергия распространяется путем последовательного поглощения и последующего переизлучения веществом квантов электромагнитной энергии.

В *конвективной зоне* (от верхнего слоя зоны радиации, почти до самой видимой границы Солнца —

Ядро — центральные области Солнца, где протекают термоядерные реакции.

Зона радиации — зона, где энергия переносится путем переизлучения отдельных квантов.

Конвективная зона — зона, где осуществляется передача энергии путем перемешивания — более горячие ячейки всплывают вверх, а холодные опускаются вниз

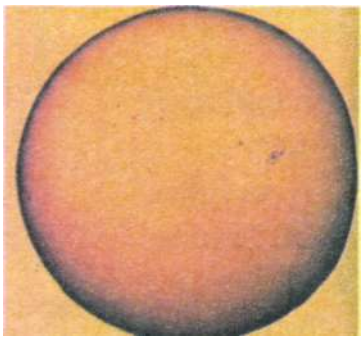


Рис. 12.2. Фотосфера — это самый глубокий слой атмосферы Солнца, который излучает свет

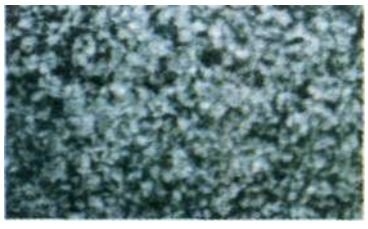


Рис. 12.3. Гранулы в фотосфере имеют диаметр 1000 км — это проявление конвекции

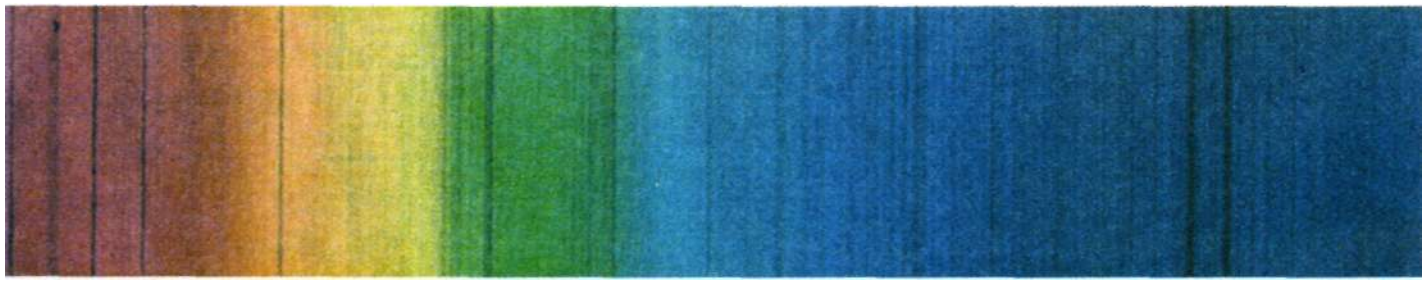
фотосферы) энергия передается уже не излучением, а за счет конвекции, то есть путем перемешивания вещества, когда образуются своеобразные отдельные ячейки, которые немного различаются температурой и плотностью.

Атмосферой считаются внешние слои Солнца, условно разделенные на три оболочки. Глубокий слой атмосферы Солнца, состоящий из газов,— **фотосфера** (от греч.— сфера света), 200—300 км толщиной, воспринимается нами как поверхность Солнца (рис. 12.2). Плотность газов в фотосфере в миллионы раз меньше плотности воздуха у поверхности Земли, а температура фотосферы уменьшается с высотой. Средний слой фотосферы, излучение которого мы воспринимаем, имеет температуру 5780 К.

В солнечный телескоп можно наблюдать структуру фотосферы, в которой конвекционные ячейки имеют вид светлых и темных зерен — *гранул* (рис. 12.3). Над фотосферой находится **хромосфера** (от греч.— цветная сфера), где атомами различных веществ образуются темные линии поглощения в спектре Солнца (рис. 12.4). Общая толщина хромосферы составляет 10—15 тыс. км, а температура в ее верхних слоях достигает **100000 К.**

Над хромосферой находится внешний слой атмосферы Солнца — **солнечная корона,** температура которой достигает нескольких миллионов градусов. Вещество короны, которое постоянно вытекает в межпланетное пространство, называется **солнечным ветром.**

Рис. 12.4. Спектр Солнца. Темные линии поглощения образуются в хромосфере



Для любознательных

Если сравнить светимость Солнца с его массой, то мы получим, что 1 кг солнечного вещества генерирует мизерную мощность ≈0,001 Вт, в то время как средняя мощность излучения человеческого тела равна примерно 100 Вт, то есть в тысячу раз больше мощности такой же массы солнечного вещества. Правда, Солнце светит на протяжении миллиардов лет, излучая почти одну и ту же энергию, надежно обогревая Землю и другие тела Солнечной системы.

3 Солнечная активность

Солнечная активность определяется количеством пятен и их общей площадью. Исследования показали, что температура внутри пятна достаточно высокая и достигает 4500 К, но пятно кажется темным на фоне более горячей фотосферы с температурой 5780 К (рис. 12.5, 12.6). Возникает вопрос: что снижает температуру внутри пятна? Пятна на Солнце могут существовать в течение нескольких месяцев, поэтому возникла гипотеза, что какой-то процесс тормозит конвекцию плазмы в солнечном пятне и поддерживает разницу температур. Сейчас доказано, что таким «изолятором» является сильное магнитное поле, которое, взаимодействуя с электрически заряженными частицами плазмы, тормозит конвекционные процессы внутри пятна.

Еще одна загадка активности Солнца связана с ее периодичностью — цикл изменения количества пятен повторяется примерно через каждые 11 лет (рис. 12.7).

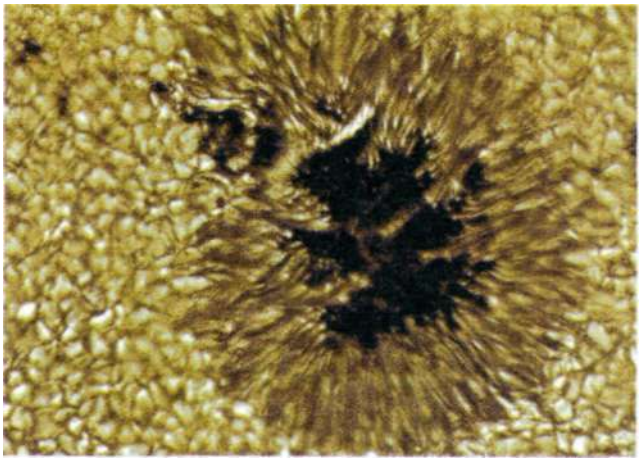


Рис. 12.5. Солнечное пятно

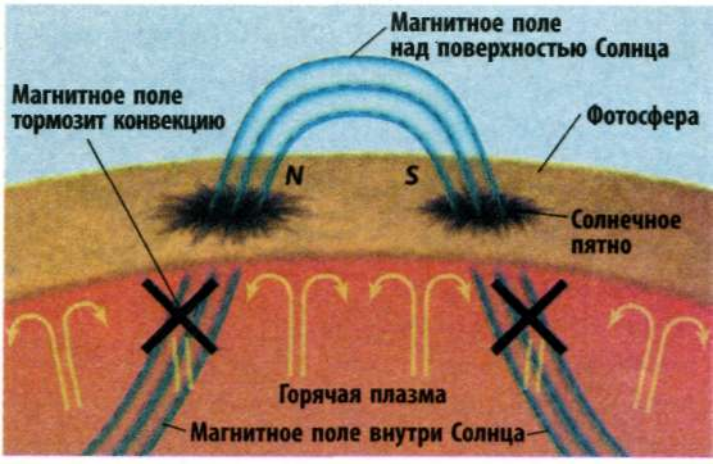
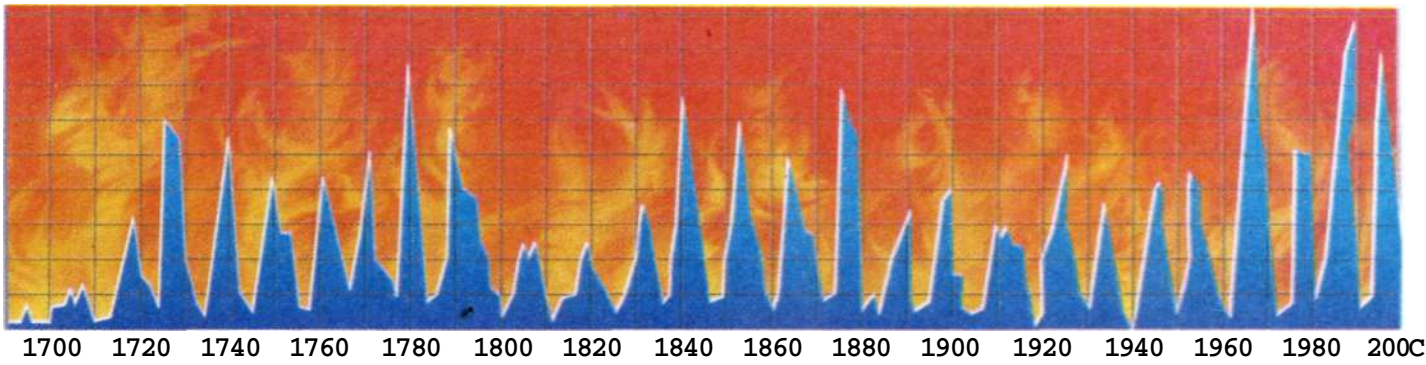


Рис. 12.6. Соединение пятен

Рис. 12.7. Изменение солнечной активности



Для любознательных

Пятна связаны между собой магнитными силовыми линиями подобно полюсам магнита — каждое пятно имеет свою полярность. Так же, как невозможно разделить северный и южный полюса магнита, так и солнечные пятна существуют только парами, которые имеют различные магнитные полярности. Если учесть полярность пятен, то цикл солнечной активности длится примерно 22 года.

Влияние солнечной активности на Землю

Исследуя Солнце при помощи спутников и АМС, астрономы обнаружили его сильное **корпускулярное излучение** — поток элементарных частиц (протонов, нейтронов, электронов). Например, во время так называемых *хромосферных вспышек,* которые взрываются вблизи пятен, выделяется такая огромная энергия, которую можно сравнить с излучением всей фотосферы Солнца. Не надо путать вспышки с протуберанцами. *Протуберанцы* (лат. *protubero* — сдуваюсь) существуют постоянно — это плотные холодные облака водорода, которые поднимаются в корону и движутся вдоль магнитных силовых линий. Благодаря протуберанцам происходит обмен веществ между хромосферой и короной.

Протуберанцы — плотные облака водорода, которые поднимаются в корону вдоль магнитных линий.

Вспышка возникает между двумя пятнами с противоположной полярностью, когда в течение нескольких часов температура в этой зоне возрастает до $5 \cdot 10^6$ К и выделяется энергия 10^{21}—10^{25} Дж, что почти соизмеримо со светимостью Солнца в видимой части спектра. Во время вспышки энергия излучается в основном в невидимой части спектра (радио-, ультрафиолетовом и рентгеновском диапазоне). При этом в межпланетное пространство также выбрасываются потоки заряженных частиц, летящих со скоростью до **20000** км/с (рис. 12.8). Через несколько часов после вспышки корпускулярные потоки могут долететь до Земли и вызвать возмущение ее магнитного поля и свечение ионосферы, что проявляется в виде интенсивных полярных сияний.

Хромосферная вспышка — временное значительное усиление яркости ограниченного участка хромосферы Солнца, взрывной выброс вещества и энергии, накопленной в магнитном поле солнечных пятен.

Магнитная буря — возмущения магнитного поля Земли под воздействием вспышки на Солнце. В это время возникают неполадки в радиосвязи и электронных приборах, ухудшается самочувствие людей

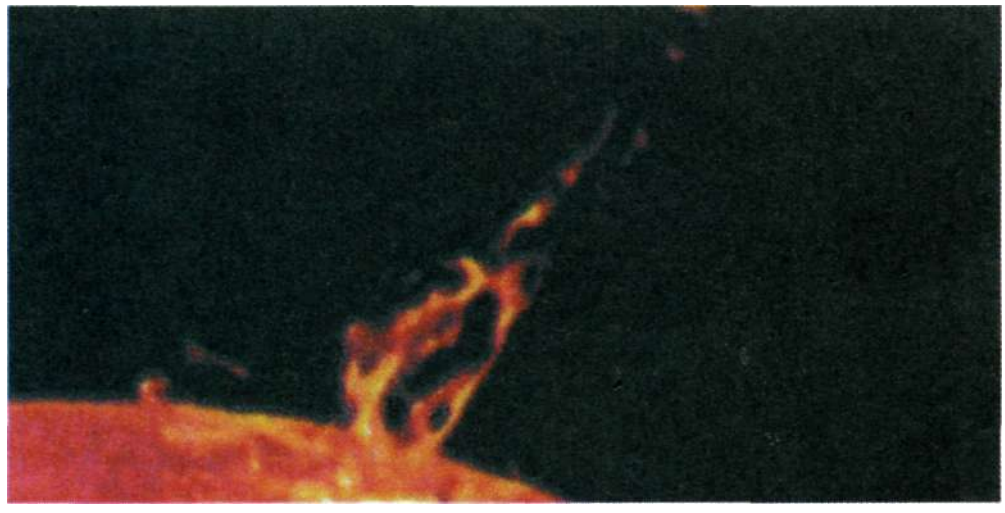


Рис. 12.8. Хромосферная вспышка на Солнце

Выводы

Основным источником энергии для нашей цивилизации является Солнце, которое не только дает нам тепло, но и существенно влияет на все процессы, происходящие на Земле. В будущем солнечный свет станет основным источни-

ком электрической энергии, как на Земле, так и в космических поселениях при освоении других планет.

Тесты

1. Солнечная постоянная определяет:
   А. Количество энергии излучения Солнца за год. Б. Количество энергии излучения Солнца за 1 с. В. Температуру Солнца. Г. Количество энергии, которую получает вся поверхность Земли за единицу времени. Д. Энергию, которую получает 1 $м^2$ поверхности Земли за 1 с, если солнечные лучи падают перпендикулярно к поверхности.
2. Для определения светимости Солнца необходимо знать:
   А. Радиус Солнца. Б. Радиус Земли. В. Расстояние от Земли до Солнца. Г. Температуру на поверхности Земли. Д. Температуру на поверхности Солнца.
3. Какие из этих химических элементов наиболее распространены на Солнце?
   А. Оксиген и железо. Б. Водород и гелий. В. Водород и Оксиген. Г. Азот и Оксиген. Д. Феррум и азот.
4. В результате какого процесса выделяется энергия в недрах Солнца?
   А. Ядерной реакции. Б. Гравитационного сжатия. В. Термоядерной реакции. Г. Горения водорода. Д. Падения метеоритов.
5. Грануляция в фотосфере образуется в результате того, что:
   А. Корона очень горячая. Б. Энергия передается конвекцией. В. Пятна очень холодные. Г. Излучаются нейтрино. Д. На поверхности Солнца появляются волны.
6. Солнце называют желтой звездой, в то время как для большинства людей оно имеет белый цвет. Как объяснить это противоречие?
7. Что снижает температуру внутри солнечных пятен?
8. Какое явление астрономы называют солнечной активностью?
9. Какие процессы на Солнце могут существенно влиять на состояние земной атмосферы?
10. Что является источником энергии Солнца?
11. Вычислите, какую солнечную энергию смогла бы поглотить за 1 час крыша вашего дома в полдень.

Диспуты на предложенные темы

12. Какие экологически чистые источники энергии можно предложить для использования в населенном пункте, где находится ваша школа?

Задания для наблюдений

Внимание! При наблюдениях нельзя смотреть на диск Солнца, как невооруженным глазом, так и в телескоп без специального светофильтра!

13. Подсчитайте общее количество солнечных пятен и зарисуйте их расположение на диске Солпца. Обратите внимание, что пятна часто появляются парами. Через несколько дней повторите наблюдения, и вы заметите вращение Солнца вокруг оси — пятна сместились. Количество пятен за это время тоже может измениться.

Ключевые понятия и термины: —•

Гранулы, зона конвекции, зона радиации, корпускулярное излучение, корона, магнитная буря, протуберанцы, светимость Солнца, солнечный ветер, солнечное пятно, солнечная постоянная, фотосфера, хромосфера, хромосферная вспышка, ядро.

§13. Физические характеристики звезд

Изучив этот параграф, мы узнаем:

- как измеряются расстояния до звезд;
  что необходимо знать для определения звездной величины;
  как без термометра можно измерить температуру звезды.

1 Измерение расстояний до звезд

Рис. 13.1. Годичный параллакс определяет угол, под которым было бы видно от звезды большую полуось земной орбиты (1 а. е.) в перпендикулярном к лучу зрения направлении

Расстояние до ближайших звезд

Звезда	Расстояние Св. г.	пк
Проксима	4,2	13
Барнарда	5,9	1,8
Вольф 359	7,5	2,4
Сириус	8,8	2,6
Росс 154	9,5	2,9
ε Эридана	11,0	3,3
Процион	11,4	3,5
Альта и р	16,5	5,1
Вега	26,5	8,1
Арктур	36,0	11,0
Капелла	45,0	13,8

Звезды находятся в миллионы раз дальше, чем Солнце, поэтому горизонтальные параллаксы звезд соответственно в миллионы раз меньше, и измерить такие малые углы еще никому не удавалось. Для измерения расстояний до звезд астрономы вынуждены определять годичные параллаксы, связанные с орбитальным движением Земли вокруг Солнца (рис. 13.1). В точке С находится Солнце; *A, B* — положение Земли на орбите с интервалом 6 месяцев; *BC* = 1 а. е.— расстояние от Земли до Солнца (большая полуось земной орбиты); *S* — звезда, до которой нужно определить расстояние; $\angle BSC = p$ — годичный параллакс звезды.

Расстояние от Земли до звезды определяется из прямоугольного треугольника *CBS:*

$$r = \frac{BC}{\sin p} = \frac{1\text{ а. е.}}{\sin p} \qquad (13.1)$$

Годичный параллакс можно измерять только в течение нескольких месяцев, пока Земля, а вместе с ней и телескоп, двигаясь вокруг Солнца, не переместится в космическом пространстве.

Годичные параллаксы звезд астрономы пытались определять еще во времена Коперника, что могло стать неоспоримым доказательством обращения Земли вокруг Солнца и подтверждением гелиоцентрической системы мира. Но только в 1837 г. В. Струве в Пулковской астрономической обсерватории (Россия) определил годичный параллакс звезды Вега (α Лиры). Самый большой параллакс у ближайшей к нам звезды *Проксимы Кентавра* р = 0,76", но ее в Европе не видно. Из ярких звезд, которые можно наблюдать в Украине, ближе всего к нам находится звезда Сириус (α Большого Пса), годовой параллакс которой $p = 0{,}376"$.

Расстояние до звезд измеряют в световых годах (см. § 1), но в астрономии еще используют единицу **парсек** (пк) — расстояние, для которого годичный параллакс $p = 1''$ (парсек — сокращение от параллакс-секунда).

$$1 \text{ пк} = \frac{1 \text{ а. е.}}{\sin 1''} = 206\,265 \text{ а. е.} \approx 3{,}08 \cdot 10^{13} \text{ км.} \qquad (13.2)$$

Соотношение между парсеком и световым годом следующее: 1 пк $\approx$ 3,26 св. года.

Если годичный параллакс измеряется угловыми секундами, то расстояние до звезд в парсеках можно выразить следующей формулой:

$$r \approx 1/p'' \text{ пк.} \qquad (13.3)$$

2 Видимые звездные величины

Впервые термин *звездная величина* был введен для определения яркости звезд во II в. до н. э. греческим астрономом Гиппархом. Тогда астрономы полагали, что звезды находятся на одинаковом расстоянии от Земли, поэтому их яркость зависит от размеров этих светил. Сейчас мы знаем, что звезды даже в одном созвездии располагаются на разных расстояниях (рис. 2.2), поэтому видимая звездная величина определяет только некоторое количество энергии, которую регистрирует наш глаз за какой-то промежуток времени. Гиппарх разделил все видимые звезды по яркости на 6 своеобразных классов — 6 звездных величин. Самые яркие звезды были названы звездами первой звездной величины, более слабые — второй, а самые слабые, еле видные на ночном небе,— шестой. В XIX в. английский астроном Н. Погсон **(1829—1891)** дополнил определение звездной величины еще одним условием: звезды первой звездной величины должны быть в **100** раз ярче звезды шестой величины (рис. 13.2). Видимую звездную величину обозначают буквой m. Для любых звездных величин, будет справедливо такое отношение их яркости E_1 и E_2:

Рис. 13.2. Звезды вблизи Полярной, которые используют как стандарт для определения видимых звездных величин

$$\frac{E_1}{E_2} = 10^{0{,}4(m_2 - m_1)} \qquad \mathbf{(13.4)}$$

Видимая звездная величина m определяет количество света, попадающего от звезды в наши глаза. Самые слабые звезды, которые еще можно увидеть невооруженным глазом, имеют звездную величину $\boldsymbol{m = +6^m}$.

Уравнение (13.4) называют формулой Погсона. Яркость E фактически определяет освещенность, создаваемую звездой на поверхности

Земли, поэтому величину E можно измерять *люксами* — единицами освещенности, применяющимися в физике. Согласно формуле (13.4), если разница звездных величин двух светил равна единице, то отношение яркости будет ~2,512.

Для определения видимых звездных величин небесных светил астрономы приняли за стандарт так называемый *северный полярный ряд* — это 96 звезд вокруг Северного полюса мира. Самая яркая среди них — Полярная, имеет звездную величину $m = +2^m$ (рис. 13.2). Относительно этого стандарта слабые звезды, которые еще можно увидеть невооруженным глазом, имеют звездную величину $+6^m$, в бинокль видны звезды до $+8^m$, в школьный телескоп видны светила до $+11^m$, а при помощи самых больших телескопов современными методами можно зарегистрировать слабые галактики до $+28^m$. Очень яркие небесные светила имеют отрицательную звездную величину. Например, самая яркая звезда нашего неба Сириус имеет видимую звездную величину $m = -1{,}6^m$, для самой яркой планеты Венеры $m = -4{,}5^m$, а для Солнца $m = -26{,}7^m$.

Видимые и абсолютные звездные величины некоторых звезд

Звезда	m	M
Солнце	-26,7	+4,8
Сириус	-1,6	+1,3
Арктур	-0,1	-0,3
Вега	0	+0,5
Капелла	+0,1	-0,7
Ригель	+0,1	-7,5
Процион	+0,4	+2,6
Бетельгейзе	+0,4	-6,0
Альтаир	+0,8	+2,2
Денеб	+1,3	-7,4

3 Абсолютные звездные величины и светимость звезды

Хотя Солнце является самым ярким светилом на нашем небе, это не значит, что оно излучает больше энергии, чем другие звезды. Из курса физики известно, что освещенность, создаваемая источниками энергии, зависит от расстояния до них, так небольшая лампочка в вашей комнате может казаться гораздо ярче, чем дальний прожектор. Для определения светимости, или общей мощности излучения, астрономы вводят понятие абсолютной звездной величины M. Звездную величину, которую имела бы звезда на стандартном расстоянии $r_0 = 10$ пк, называют **абсолютной звездной величиной.** Примерно на таком расстоянии (11 пк, или 36 световых лет) от нас находится звезда Арктур, она имеет видимую звездную величину, почти равную абсолютной. Солнце на расстоянии 10 пк имело бы вид достаточно слабой звезды пятой звездной величины, то есть абсолютная звездная величина Солнца ~5^m.

Абсолютная звездная величина M определяет яркость, которую имела бы звезда на стандартном расстоянии в 10 пк.

Светимость звезды определяет мощность излучения звезды.

За единицу светимости принимается мощность излучения Солнца $4 \cdot 10^{26}$ Вт

Если известно расстояние до звезды r в парсеках и ее видимая звездная величина m, то абсолютную звездную величину M можно определить при помощи такой формулы:

$$M = m + 5 - 5 \lg r \qquad (13.5)$$

Светимость звезды определяет количество энергии, излучаемое звездой за единицу времени, то есть мощность излучения звезды. За единицу светимости в астрономии принимают мощность излучения Солнца 4-Ю^{26} Вт. Если известна абсолютная звездная величина звезды M, то ее светимость определяется при помощи такой формулы:

$$L = \frac{E}{E_{\odot}} = 10^{0,4(5-M)}. \qquad (13.6)$$

Светимость L некоторых звезд

Звезда	L
Солнце	1
Денеб	90000
Ригель	70000
Бетельгейзе	25000
Полярная	17600
Капелла	150
Арктур	102
Вега	54
Сириус	23
Альтаир	10

4 Цвет и температура звезд

Температуру звезды можно определить при помощи законов излучения черного тела (см. § 6). Самый простой метод измерения температуры звезды заключается в определении ее цвета. Правда, невооруженным глазом можно определить только цвет ярких звезд, так как чувствительность нашего глаза к восприятию цветов при слабом освещении очень мала. Цвет слабых звезд можно определить при помощи бинокля или телескопа, которые собирают больше света, поэтому в окуляре телескопа звезды кажутся нам более яркими.

За температурой звезды разделили на 7 спектральных классов (рис. 13.3), которые обозначили буквами латинского алфавита: **O, *B, A, F, G, K, M*** (английская пословица: *«Oh, Be A Fine Girl, Kiss Me» — «будь хорошей девушкой, поцелуй меня»)/*

Самую высокую температуру на поверхности имеют голубые звезды спектрального класса O, которые излучают больше энергии в синей части спектра (рис. 13.4). Каждый спектральный класс делится на 10 подклассов: A0, A1..A9.

Обычно в спектре каждой звезды есть темные линии поглощения, которые образуются в разреженной атмосфере звезды и в атмосфере Земли и показывают химический состав этих атмосфер. Оказалось, что все звезды имеют почти одинаковый химический состав, так как основные химические элементы во Вселенной — водород

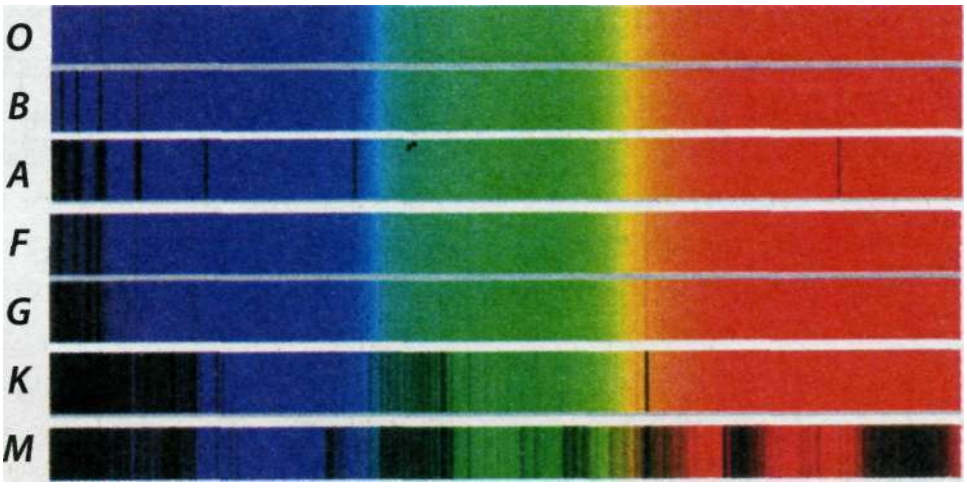


Рис. 13.3. Цвета звезд определяют 7 основных спектральных классов. Самые горячие звезды голубого цвета относятся к спектральному классу O, холодные красные звезды — к спектральному классу *M*. Солнце имеет температуру фотосферы +5780 K, желтый цвет и относится к спектральному классу G

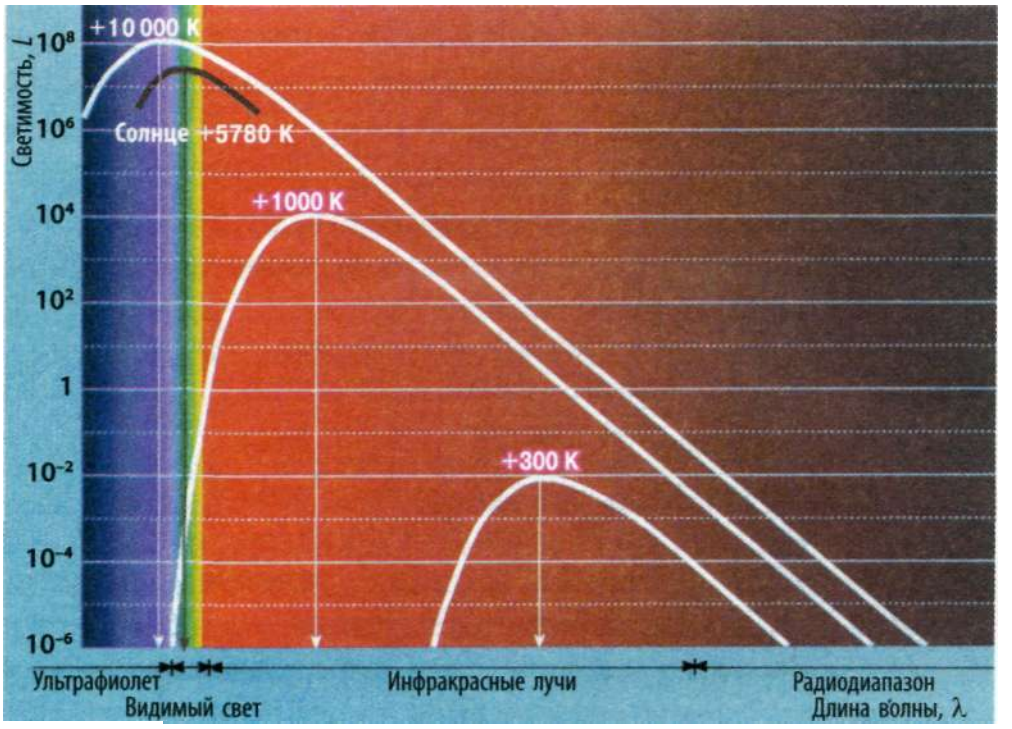


Рис. 13.4. Интенсивность излучения космических тел с разной температурой. Горячие звезды излучают больше энергии в синей части спектра, холодные звезды — в красной. Планеты излучают энергию преимущественно в инфракрасной части спектра

и гелий, а основное отличие различных спектральных классов обусловлено температурой звездных фотосфер.

5 Радиусы звезд

Для определения радиуса звезды нельзя использовать геометрический метод, потому что звезды находятся настолько далеко от Земли, что даже в большие телескопы еще до недавнего времени невозможно было измерить их угловые размеры — все звезды имеют вид одинаковых светлых точек.

Радиус звезды можно определить, измеряя ее светимость и температуру поверхности

Для определения радиуса звезды астрономы используют закон Стефана-Больцмана:

$$Q = \sigma \cdot T^4, \qquad (13.7)$$

где Q — энергия, излучаемая единицей поверхности звезды за *единицу времени*; σ — постоянная Стефана-Больцмана; T — абсолютная температура поверхности звезды.

Мощность, которую излучает звезда с радиусом R, определяется общей площадью ее поверхности, то есть:

$$E = 4\pi R^2 \cdot Q = 4\pi R^2 \cdot \sigma \cdot T^4. \qquad (13.8)$$

Рис. 13.5. Радиусы некоторых звезд по сравнению с Солнцем

С другой стороны, такое же соотношение мы можем записать для энергии, которую излучает Солнце:

$$E_{\odot} = 4\pi R_{\odot}^2 \cdot \sigma \cdot T_{\odot}^4 . \qquad (13.9)$$

Таким образом, из уравнений 13.8, 13.9 можно определить неизвестный радиус звезды, если известны радиус $R_{\odot}$, и температура $T_{\odot}$ Солнца:

$$\frac{R}{R_{\odot}} = (L)^{0,5} \frac{T_{\odot}^2}{T^2}, \qquad (13.10)$$

где — L светимость звезды в единицах светимости Солнца.

Оказалось, что существуют звезды, которые имеют радиус в сотни раз больший радиуса Солнца, и звезды, имеющие радиус меньший, чем радиус Земли (рис. 13.5).

6 Диаграмма спектр-светимость

Солнце по физическим параметрам относится к средним звездам — оно имеет среднюю температуру, среднюю светимость и т. д. По статистике, среди множества различных тел больше всего таких, которые имеют средние параметры. Например, если измерить рост и массу большого количества людей различного возраста, то больше будет людей со средними величинами этих параметров. Астрономы решили проверить, много ли в космосе таких звезд, как наше Солнце. Для этой цели Э. Герцшпрунг (1873—1967) и Г. Рессел (1877—1955) предложили диаграмму, на которой можно обозначить место каждой звезды, если известны ее температура и светимость. Ее назвали **диаграмма спектр-светимость,** или **диаграмма Герцшпрунга-Рессела.** Она имеет вид графика, на котором по оси абсцисс отмечают спектральный класс или температуру звезды, а по оси ординат — светимость (рис. 13.6). Если Солнце — средняя звезда, то на диаграмме должно быть скопление точек вблизи того места, которое занимает Солнце. То есть большинство звезд должны быть желтого цвета с такой же светимостью, как Солнце. Каково же было удивление астрономов, когда оказалось, что в космосе не нашли звезды, которую можно считать копией Солнца. Большинство звезд на диаграмме оказались в узкой полосе, которую называют **главной последовательностью.** Диаметры звезд главной последовательности отличаются в несколько раз, а их светимость по закону Стефана-Больцмана (см. §13.5) определяется температурой поверхности. В эту полосу вошли Солнце и Сириус. Существенная

Белые карлики — звезды, имеющие радиус в сотни раз меньший солнечного и плотность в миллионы раз большую плотности воды.
Красные карлики — звезды с массой меньшей, чем у Солнца, но большей, чем у Юпитера. Температура и светимость этих звезд остаются постоянными на протяжении десятков миллиардов лет.
Красные гиганты — звезды, имеющие температуру 3000-4000 К и радиус в десятки раз больший солнечного. Масса этих звезд не намного больше массы Солнца. Такие звезды не находятся в состоянии равновесия

разница в температуре на поверхности звезд различных спектральных классов объясняется разной массой этих светил: чем больше масса звезды, тем больше ее светимость. Например, звезды главной последовательности спектральных классов O и B в несколько раз массивнее Солнца, а *красные карлики* имеют массу в десятки раз меньшую, чем солнечная.

Отдельно от главной последовательности на диаграмме находятся *белые карлики* (слева внизу) и *красные сверхгиганты* (справа сверху), которые имеют примерно одинаковую массу, но значительно отличаются по размерам. Гиганты спектрального класса *M* имеют почти такую же массу, как белые карлики спектрального класса *B*, поэтому средние плотности этих звезд существенно различаются. Например, радиус *красного гиганта Бетельгейзе* в 400 раз больший радиуса Солнца, но масса этих звезд почти одинакова, поэтому красные гиганты спектрального класса *M* имеют среднюю плотность в миллионы раз меньшую, чем плотность земной атмосферы. Типичным представителем белых карликов является спутник Сириуса.

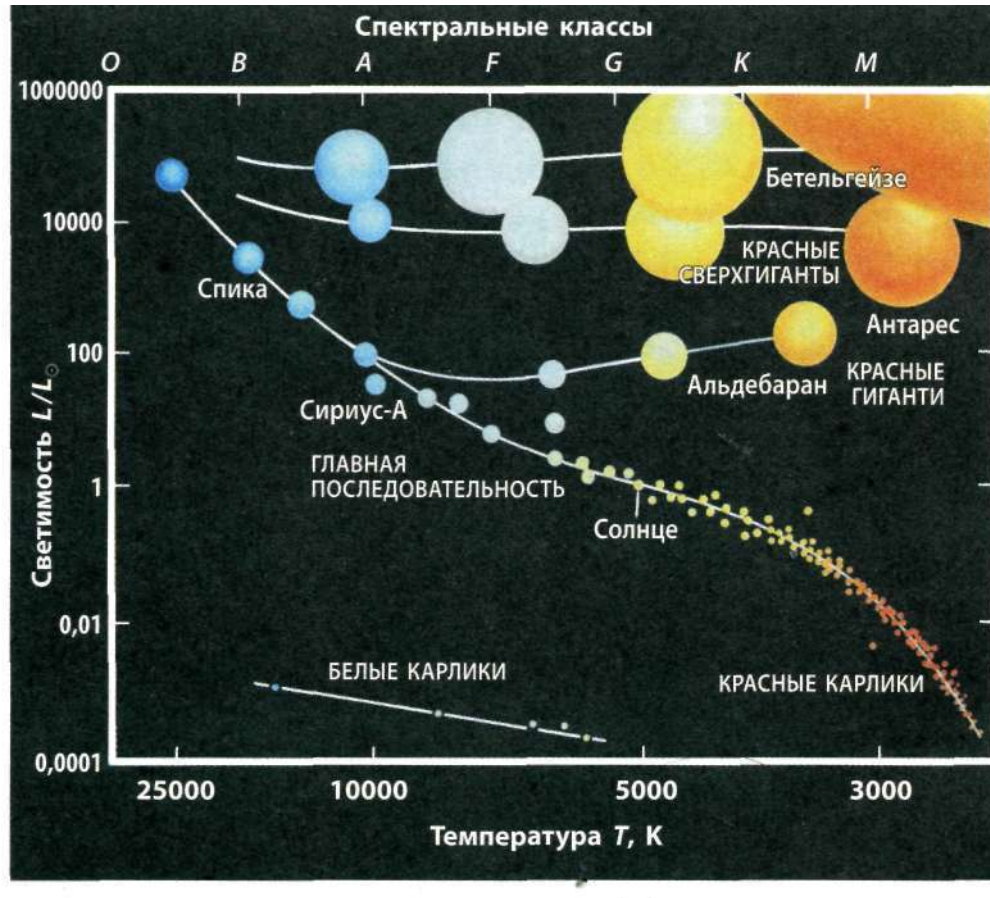


Рис. 13.6. *Диаграмма Герцшпрунга-Рессела.* По оси абсцисс отмечена температура звезд, по оси ординат — светимость. Солнце имеет температуру 5780 K и светимость 1. Холодные звезды на диаграмме расположены справа (красного цвета), а более горячие — слева (синего цвета). Звезды, излучающие больше энергии, находятся выше Солнца, а звезды-карлики — ниже. Большинство звезд, к которым относится и Солнце, находятся в узкой полосе, которую называют *главной последовательностью* звезд

Для любознательных

Главная загадка диаграммы спектр-светимость заключается в том, что в космосе астрономы еще не нашли хотя бы две звезды с одинаковыми физическими параметрами — массой, температурой, светимостью, радиусом. Наверное, в течение эволюции звезды меняют свои физические параметры, поэтому маловероятно, что мы сможем отыскать в космосе еще одну звезду, которая зародилась одновременно с нашим Солнцем, имея тождественные начальные параметры.

Выводы

Физические характеристики звезд: светимость, температура, радиус, плотность — существенно разнятся между собой. Между этими характеристиками существует взаимосвязь, отражающая эволюционный путь звезды. Солнце по своим параметрам относится к желтым звездам, находящимся в состоянии равновесия, и не меняющим своих размеров в течение миллиардов лет. В космосе существуют звезды-гиганты, которые в тысячи раз больше Солнца, и звезды-карлики, радиус которых меньший радиуса Земли.

Тесты

1. Какими единицами астрономы измеряют расстояние до звезд?
   А. Километрами. Б. Астрономическими единицами. В. Параллаксами. Г. Световыми годами. Д. Парсеками.
2. Видимая звездная величина определяет:
   А. Светимость звезды. Б. Радиус звезды. В. Яркость звезды. Г. Освещенность, которую создает звезда на Земле. Д. Температуру звезды.
3. На каком расстоянии абсолютная и видимая звездные величины имеют одинаковое значение?
   А. 1 а. е. Б. 10 а. е. В. 1 св. год. Г. 10 св. лет. Д. 1 пк. Е. 10 пк.
4. Какие из приведенных спектральных классов звезд имеют на поверхности наивысшую температуру?
   А. *A;* Б. *B;* В. *F;* Г. G; Д. *K.*
5. Выберите температуру на поверхности и спектральный класс, к которому относится Солнце:
   А. *A* +10000 К; Б. *B.* +10000 К; В. С +6000 К; Г. G. +6000 К; Д. М. +3000 К.
6. Какие звезды имеют самую высокую температуру на поверхности и какому спектральному классу они принадлежат?
7. В чем состоит разница между видимой и абсолютной звездными величинами?
8. Как астрономы измеряют температуру звезд?
9. Звезды какого цвета имеют самую высокую температуру на поверхности? Наименьшую температуру?
10. Существуют ли звезды, масса которых меньше массы Земли? Радиус которых меньше радиуса Земли?

Диспуты на предложенные темы

11. Определите радиус одной из ярких звезд, которая видна вечером в ваш день рождения. Как выглядела бы эта звезда на нашем небе, если бы она находилась на месте Солнца?

Задания для наблюдений

12. Годовой параллакс Беги (α Лиры) равен 0,12". Какое расстояние до нее в парсеках и световых годах?

Ключевые понятия и термины:

Абсолютная звездная величина, видимая звездная величина, диаграмма спектр-светимость, парсек, северный полярный ряд, светимость звезды, спектральные классы.

§ 14. Эволюция звезд

Изучив этот параграф, мы узнаем:

как рождаются новые звезды;

почему происходят космические катастрофы, когда взрываются старые звезды;

превратится ли Солнце в черную дыру.

1 Зарождение звезд

Астрономы создали теорию эволюции звезд благодаря тому, что в космосе можно наблюдать миллиарды звезд разного возраста. Это немного похоже на то, как за несколько часов можно описать рост и развитие дерева, которое растет десятки лет,— надо только пойти в лес и изучить деревья разных возрастов. Вселенная — это своеобразный космический парк, в котором звезды рождаются, некоторое время светят, а затем погибают.

Рис. 14.1. Туманность Ориона можно увидеть даже невооруженным глазом. Расстояние до нее около 1000 св. лет

Рис. 14.2. Туманность в звездном скоплении Плеяды, из которой образуются молодые звезды

Трудно увидеть звезду до ее рождения, пока она не начнет светиться в видимой части спектра. Звезды зарождаются вместе с планетами с разреженных газопылевых облаков, которые образуются после взрыва старых звезд. При помощи современных телескопов астрономы обнаружили в космосе сотни таких огромных газопылевых туманностей, где происходит образование молодых миров. Например, такие своеобразные «ясли» новорожденных звезд можно увидеть в созвездии Орион (рис. 14.1) и звездном скоплении Плеяды (рис. 14.2).

Судьба звезды и продолжительность ее жизни зависят от начальной массы зародыша звезды — **протозвезды**. Если она была в несколько раз больше, чем масса Солнца, то во время гравитационного сжатия образуются горячие звезды спектральных классов *O* и *B*. Протозвезды с такой начальной массой, как масса Солнца, во время гравитационного сжатия нагреваются до температуры **6000 К.** Протозвезды с массой в несколько раз меньшей, чем солнечная, могут превратиться только в красных карликов. Наименьшая масса, необходимая для начала термоядерных реакций в недрах звезды, равна почти 0,08 массы Солнца. Объекты меньшей массы никогда в звезды не превратятся — они будут излучать энергию только в инфракрасной части спектра. Такие космические тела мы наблюдаем даже в Солнечной системе — это планеты-

гиганты Юпитер, Сатурн, Нептун (см. § 9). Возможно, что в межзвездном пространстве количество таких холодных инфракрасных тел (их еще называют *коричневыми карликами)* может быть намного больше, чем видимых звезд.

2 Звезда в состоянии гравитационного равновесия

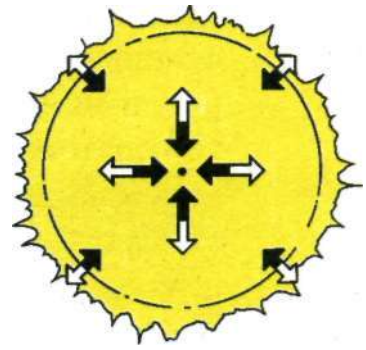


Рис. 14.3. Звезда в состоянии равновесия: внешние силы гравитации уравновешены силами газового давления

В течение своей долгой жизни каждая звезда может как увеличивать, так и уменьшать свои основные параметры — температуру, светимость и радиус. Звезды главной последовательности (рис. 13.6) находятся в состоянии гравитационного равновесия, когда внешние слои за счет гравитации давят к центру, в то время как давление нагретых газов действует в противоположном направлении — от центра (рис. 14.3). Звезда в состоянии гравитационного равновесия не изменяет своих параметров, поскольку интенсивное излучение энергии с поверхности компенсируется источником энергии в недрах — термоядерными реакциями. Такой процесс продолжается до тех пор, пока половина водорода в ядре не превратится в гелий, и тогда интенсивность термоядерных реакций может уменьшиться. Продолжительность такой стационарной фазы в жизни звезды, когда ее параметры долгое время остаются постоянными, зависит опять же от ее массы. Расчеты показывают, что такие звезды, как Солнце, в состоянии равновесия светят не менее 10 млрд лет. Более массивные звезды спектральных классов O, *B,* в недрах которых термоядерные реакции протекают интенсивнее, в равновесии светят 100 млн лет, а дольше всего «мерцают» маленькие красные карлики — их возраст может превосходить 10^{11} лет.

3 Переменные звезды

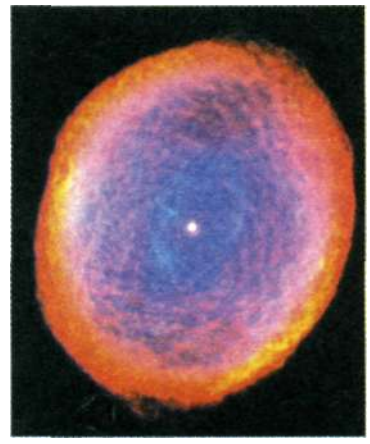


Рис. 14.4. Планетарная туманность образуется, когда нарушается равновесие и звезда сбрасывает внешние слои

Переменные звезды в течение некоторого времени могут изменять свою яркость. Различают следующие типы переменных звезд:

- блеск звезды может изменяться в кратных системах, когда происходят периодические затмения объектов, имеющих разную светимость. Примером такой переменной звезды является *Алголь* — известная двойная звезда β Персея;
- другой тип переменных звезд называют *физически переменными.* Изменение яркости таких звезд связано с тем, что термоядерные реакции в центре звезды со временем будут протекать не так интенсивно, тогда нарушение

гравитационного равновесия будет заметно в изменении ее размеров и температуры на поверхности — на диаграмме спектр-светимость такие звезды не имеют постоянного положения и смещаются с главной последовательности вправо.

Из различных типов физически переменных звезд привлекают внимание *цефеиды*. Их название происходит от созвездия, в котором впервые заметили такую переменную звезду — δ Цефея. Расчеты периода изменения яркости показали, что цефеиды меняют свой радиус, поэтому их можно считать своеобразными маятниками, которые колеблются в своем гравитационном поле. Период пульсаций зависит от массы и радиуса звезды, например δ Цефея пульсирует с периодом 5,4 суток. Пульсации приводят к тому, что цефеида со временем превращается в гиганта, который может постепенно сбрасывать свою оболочку. Такие объекты астрономы ошибочно назвали *планетарными туманностями* — когда-то считали, что так рождается новая планетная система (рис. 14.4). Горячее ядро такой планетарной туманности постепенно сжимается и превращается в белый карлик.

4 Новые и Сверхновые звезды

Рис. 14.5. Туманность Краб, образовавшаяся после возгорания Сверхновой в 1054 г.

Новая звезда — взрывная переменная двойная звезда, которая внезапно увеличивает свою светимость в 100—10000000 раз (10^2—10^7раз).

Сверхновая — звезда, светимость которой увеличивается за несколько дней в миллиарды раз

Звезды с массой в несколько раз большей, чем солнечная, заканчивают свою жизнь грандиозным взрывом. В 1054 г. китайские астрономы наблюдали чрезвычайно яркую новую звезду, которую было видно днем в течение нескольких недель. Эту необычную звезду заметили также летописцы в Киевской Руси, так как это был год смерти Ярослава Мудрого. Считалось, что появление новой звезды предсказывало «Божье знамение» на печальное событие в жизни Руси. Сегодня на том месте, где вспыхнула эта таинственная звезда, видна *туманность Краб* (рис. 14.5). Звезды спектральных классов О и В, которые в течение нескольких дней увеличивают свою яркость в сотни миллионов раз, называют *Новыми*. Иногда Новая излучает почти столько же энергии, сколько выделяют вместе все звезды в галактике — такие звезды называются *Сверхновыми*. Туманность Краб в созвездии Тельца является остатком такой Сверхнобой, вспыхнувшей 4 июля 1054 г. Вернее, если учесть, что туманность Краб находится на расстоянии 6500 св. лет от Земли, то вспышка Сверхновой произошла еще 7500 лет назад.

Последнюю вспышку Сверхновой астрономы наблюдали в прошлом тысячелетии 24 февраля 1987 г. в соседней галактике — *Большом Магеллановом Облаке*. Взорвалась гигантская звезда спектрального

класса B, которая несколько недель светила ярче всех звезд в галактике (рис. 14.6). Примерно за 20 часов перед вспышкой Сверхновой была зарегистрирована ударная волна нейтринного потока, который длился 13 с и по мощности был в десятки тысяч раз больше, чем энергия в оптическом диапазоне. Таким образом, в 1987 г. астрономы впервые получили информацию о далеком космическом событии, которое произошло почти 200000 лет назад.

Белый карлик
Сириус — *B*

Масса	$1{,}1M_\odot$
Радиус	$0{,}008R_\odot$
Светимость	0,002
Температура	10000 K,
Плотность	$3 \cdot 10^6$ г/см^3

После вспышки звезды все планеты, обращающиеся вокруг нее, испаряются и превращаются в газопылевую туманность, из которой в будущем может образоваться новое поколение звезд. То есть во Вселенной наблюдается своеобразный круговорот вещества: звезды — вспышка звезд — туманность — и снова рождение молодых звезд (рис. 14.7).

Рис. 14.6. Вспышка Сверхновой в соседней галактике Большое Магелланово Облако (1987 г.)

Рис. 14.7. Круговорот вещества при образовании и взрыве звезд. Во время вспышки Новых образуются тяжелые химические элементы, поэтому новое поколение планетных систем образуется с другим химическим составом. Планеты земного типа, имеющие твердую поверхность, могли возникнуть только на руинах старой планетной системы, когда во время вспышки Новых синтезируются Si, Fe, Al

Для любознательных

После вспышки Новой или Сверхновой остается ядро, в котором отсутствует источник энергии. Такая звезда постепенно уменьшает свой радиус и светит только благодаря гравитационному сжатию — потенциальная энергия звезды превращается в тепло. При сжатии масса остается постоянной, поэтому увеличивается плотность и звезда превращается в белый карлик. Если начальная масса звезды была в несколько раз больше, чем солнечная, то белый карлик может превратиться в нейтронную звезду, радиус которой не превышает нескольких десятков километров, а плотность достигает фантастической величины 10^{15} г/см^3. Первую нейтронную звезду случайно открыли в Кембриджском университете в 1967 г. При помощи небольшой антенны астрономы зарегистрировали радиосигнал, который повторялся с постоянным периодом 1 с. Ночью в том направлении, откуда поступали импульсы, не было видно ни одной звезды, поэтому астрономы даже выдвинули гипотезу, что радиосигнал искусственного происхождения от внеземной цивилизации. Затем наблюдения показали, что такие периодические сигналы поступают на Землю от сотен других невидимых источников, которые были названы *пульсарами.* Один из пульсаров был обнаружен даже в центре знаменитой туманности Краб.

5 Пульсары и нейтронные звезды

Современные теоретические расчеты показывают, что *пульсары* и *нейтронные звезды* — одни и те же объекты. Вследствие сжатия нейтронной звезды должен действовать закон сохранения момента импульса. Этот закон часто используют на льду фигуристы, когда надо вызвать быстрое вращение своего тела вокруг оси. Спортсмены сначала начинают медленно обращаться вокруг оси с вытянутыми в стороны руками. Затем постепенно подводят руки к туловищу, при этом угловая скорость обращения резко возрастает. Такой же рост угловой скорости наблюдается при уменьшении радиуса звезды. Например, сейчас Солнце обращается вокруг своей оси с периодом примерно 28 суток. Если бы радиус Солнца уменьшился до 10 км, то его период обращения равнялся бы 1 с.

Рис. 14.8. Периодические сигналы пульсаров объясняются большой угловой скоростью вращения нейтронной звезды вокруг своей оси

При гравитационном сжатии возрастает напряженность магнитного поля звезды, она «выпускает» излучение только через магнитные полюса в виде своеобразных «прожекторов», которые описывают в космосе огромный конус. Возможно, что в Галактике существуют миллионы нейтронных звезд, но зарегистрировано только несколько сотен в виде пульсаров (рис. 14.8), поскольку большинство таких «прожекторов» не направлены на Землю.

Пульсар — источник электромагнитных волн, который излучает энергию в виде импульсов с определенным периодом

6 Черные дыры

Черные дыры (рис. 14.9) образуются на последней стадии эволюции звезд с массой большей чем $3M_{\odot}$. Такое странное название связано с тем, что эти тела должны быть невидимыми, так как не выпускают за свои пределы свет. Кроме того, такие объекты втягивают все из окружающего пространства. Если космический корабль попадает на границу черной дыры, то вырваться из ее поля тяготения он не сможет, потому что вторая космическая скорость у ее поверхности равна скорости света 300000 км/с. Если в формулы 5.5 и 5.2 вместо V_2 подставить скорость света, то получим предел, до которого может сжиматься звезда, пока вторая космическая скорость у ее поверхности не достигнет скорости света:

$$R_0 = \frac{2GM}{c^2}, \qquad (14.1)$$

где R_0 — предельное значение радиуса, G — гравитационная постоянная, M — масса объекта, $c = 300\,000$ км/с — скорость света.

Черная дыра не выпускает из поля тяготения ни элементарных частиц, ни электромагнитные волны

Из формулы 14.1 можно определить критический радиус любого космического тела с известной массой. Например, для Земли $R_0 = 1$ см, а для Солнца $R_0 = 3$ км — такой объект не будет выпускать из гравитационного поля даже квантов света, поэтому он становится невидимым, и от него мы не можем получить информацию при помощи электромагнитных волн. Подобных черных дыр, или своеобразных звездных могил, в космосе может насчитываться даже больше, чем обычных звезд. Получить информацию о черной дыре можно при помощи гравитационного поля, которое не может исчезнуть бесследно.

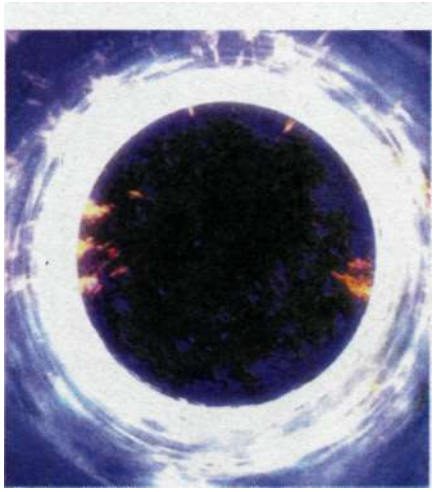


Рис. 14.9. Черная дыра

Для любознательных

Представьте себе, что космический корабль приближается к черной дыре. Его скорость должна постепенно возрастать до скорости света. Но, согласно теории относительности, скорость материального тела, масса покоя которого отличается от нуля, никогда не достигнет скорости света. То есть по земным часам воображаемый космический корабль никогда не долетит до границы черной дыры, поскольку время для космонавтов на борту корабля будет замедляться. Если космонавты будут поддерживать связь с Землей при помощи радио, то замедление времени проявится в том, что сигналы с корабля будут поступать все реже и реже. С другой стороны, космонавты на космическом корабле будут наблюдать совершенно другое течение времени — сигналы от землян будут поступать все чаще и чаще. То есть космонавты на корабле, который падает в черную дыру, могли бы увидеть далекое будущее нашего мира, но они не смогут передать нам информацию о нашем будущем, потому что сигнал через границу черной дыры никогда не достигнет Земли.

7 Эволюция Солнца

Теоретические расчеты показывают, что такие звезды, как Солнце (рис. 14.10), никогда не станут черными дырами, поскольку они имеют недостаточную массу для гравитационного сжатия до критического радиуса. В состоянии гравитационного равновесия Солнце может светить 10^{10}, но мы не можем точно определить его возраст, то есть сколько времени прошло от момента его образования. Правда, при помощи радиоактивного распада тяжелых химических элементов можно определить примерный возраст Земли — 4,5 млрд лет, но Солнце могло образоваться раньше, чем сформировались планеты. Если все же звезды и планеты формируются одновременно, то Солнце может светить в будущем еще 5 млрд лет. После того как в ядре весь водород превратится в гелий (см. § 12), нарушится равновесие в недрах Солнца, и оно может превратиться в переменную пульсирующую звезду — цефеиду. Затем из-за нестабильности радиус

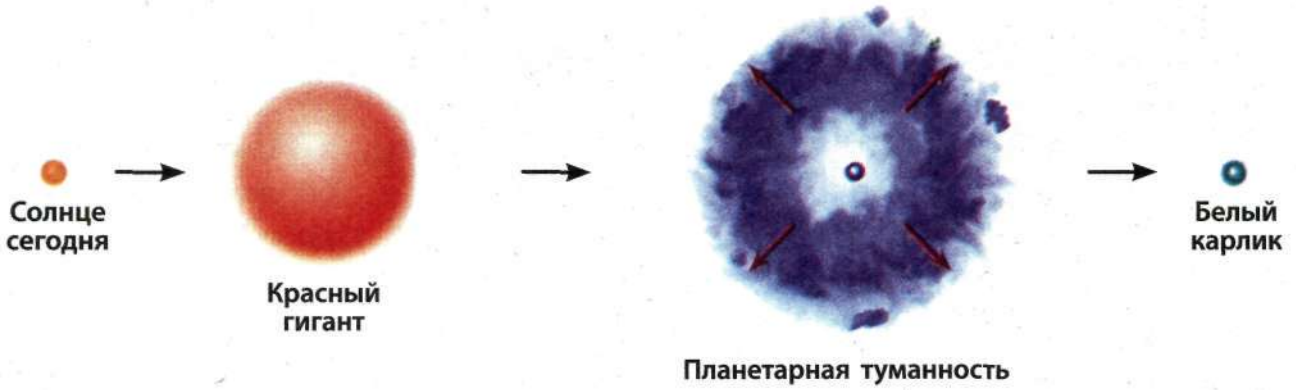
Рис. 14.10. Солнечная система образовалась 5 млрд лет назад из огромного газопылевого облака

Солнца начнет увеличиваться, а температура фотосферы снизится до 4000 К — Солнце превратится в красного гиганта. На небосклоне Земли будет светить гигантский красный шар, угловой диаметр которого увеличится в 10 раз по сравнению с современным Солнцем и будет достигать 5°. Голубого неба на Земле не станет, потому что светимость будущего Солнца вырастет в десятки раз, а температура на поверхности нашей планеты будет больше чем 1000 К. Выкипят океаны, и Земля превратится в страшную горячую пустыню, чем-то похожую на современную Венеру. В Солнечной системе такая температура, которая сейчас на Земле, будет только на окраинах — на спутниках Сатурна и Урана. В стадии красного гиганта Солнце будет светить примерно 100 млн лет, после чего верхняя оболочка оторвется от ядра и начнет расширяться в межзвездное пространство в виде планетарной туманности (рис. 14.11). При расширении наверняка испарятся все планеты земной группы, и на месте Солнца останется белый карлик — маленькое горячее ядро, в котором когда-то протекали термоядерные реакции. Радиус белого карлика будет не больше, чем у Земли, но плотность достигнет 10^{10} кг/м^3. Белый карлик не имеет источников энергии, поэтому температура его поверхности постепенно понизится. Последняя стадия эволюции нашего Солнца — холодный черный карлик.

Рис. 14.11. Эволюция Солнца в будущем. Солнце может светить еще 5 млрд лет. Затем оно преобразуется в красного гиганта, который сожжет все живое на Земле

Для любознательных

Солнечная система образовалась 5 млрд лет назад из гигантского облака газа и пыли. А раньше вместо этого облака существовала звезда, которая взорвалась как Сверхновая. То есть наше Солнце относится уже ко второму (а возможно и третьему) поколению звезд, имеющих много тяжелых химических элементов, из которых образовались планеты земной группы.



Выводы

В космосе постоянно происходит рождение молодых звезд из газопылевых туманностей и взрывы старых, когда образуются новые туманности. Солнечная система образовалась около 5 млрд лет назад из гигантского газопылевого облака, возникшего на месте взрыва старой звезды. В состоянии равновесия Солнце будет светить еще несколько миллиардов лет, а потом превратится в красный гигант, который уничтожит все живое на Земле.

Тесты

1. Какие из этих звезд светят дольше всех?
А. Гиганты спектрального класса О. Б. Белые звезды спектрального класса А. В. Солнце. Г. Красные гиганты спектрального класса М. Д. Красные карлики спектрального класса М.

2. Звезды какого спектрального класса имеют самую краткую жизнь?
А. *А.* Б. *В.* В. F. Г. G. Д. *К.* Е. *М.*

3. Какой космический объект называют пульсаром?
А. Красный гигант. Б. Нейтронную звезду. В. Белый карлик. Г. Пульсирующую звезду. Д. Красный карлик.

4. Термин «новая звезда» означает:
А. В космосе образовалась молодая звезда. Б. Взорвалась старая звезда. В. Периодически увеличивается яркость звезды. Г. Происходят столкновения звезд. Д. Космические катастрофы с неизвестным источником энергии.

5. В будущем Солнце может превратиться:
А. В черную дыру. Б. В нейтронную звезду. В. В пульсар. Г. В красный гигант. Д. В красный карлик. Е. В белый карлик.

6. Когда параметры звезды остаются постоянными?
7. Какие звезды светят дольше всего?
8. Сколько времени может светить Солнце в состоянии равновесия?
9. Как гибнут звезды большой массы?
10. Может ли звезда красный карлик превратиться в белый карлик?
11. Почему пульсары периодически изменяют интенсивность излучения?
12. Определите плотность звезды белый карлик, имеющей диаметр 1000 км и массу 10^{30} кг.
13. Определите плотность звезды Бетельгейзе, если ее радиус в 400 раз больше радиуса Солнца, а масса приблизительно равна массе Солнца.

Диспуты на предложенные темы

14. Как, по вашему мнению, могла бы выжить в Солнечной системе наша цивилизация, если Солнце в будущем превратится в красный гигант?

Задания для наблюдений

15. Отыщите на небе Большую туманность в созвездии Орион и определите время ее восхода, захода и кульминации.

16. Отыщите на небе яркие звезды, которые видны в вечернее время, и сравните их с Солнцем.

Ключевые понятия и термины:

Переменная звезда, коричневый карлик, круговорот вещества, сверхновая звезда, нейтронная звезда, новая звезда, протозвезда, планетарная туманность, пульсар, цефеида, черная дыра.

§ 15. Строение Вселенной

Изучив этот параграф, мы узнаем:

о строении Галактики — звездной системы, где мы находимся;
какими были другие галактики 10 млрд лет назад;
имеет ли Вселенная границу в пространстве.

1 Строение Галактики

Звезды в Галактике образуют определенные системы, которые длительное время существуют в общем гравитационном поле. Большинство звезд движется в двойных и кратных системах, в которых компоненты обращаются вокруг общего центра масс подобно обращению планет Солнечной системы. Многочисленные системы объединения звезд насчитывают сотни тысяч объектов — это *звездные скопления* и *ассоциации*. *Шаровые* звездные скопления состоят из миллионов звезд (рис. 15.1). *Рассеянные* звездные скопления имеют несколько тысяч объектов (самые яркие из них *Плеяды (Стожары;* рис. 14.2) и *Гиады* видны невооруженным глазом в созвездии *Тельца)*. В звездные ассоциации входят относительно молодые звезды, которые имеют общее происхождение.

Наша Галактика

Количество звезд	$4 \cdot 10^{11}$
Масса	$7 \cdot 10^{11} M_{\odot}$
Диаметр диска,	$3 \cdot 10^5$ св. лет:
Расстояние от Солнца до центра	30 000 св. лет
Галактический год	$2{,}5 \cdot 10^8$ лет

Рис. 15.1. Шаровое звездное скопление *М13* в созвездии Геркулес: расстояние — 16000 св. лет, диаметр — 75 св. лет, количество звезд — 10^6

Галактику часто изображают как звездную систему в виде гигантского блина, в котором звезды движутся в одной плоскости. На самом деле Галактика имеет сферическую форму с диаметром почти 300000 св. лет, но большинство звезд большой светимости находится примерно в одной плоскости, поэтому их видно на небе как туманную светлую полосу, которую в Украине называют *Чумацкий Шлях*. Название *Галактика* пришло из Древней Греции и в переводе означает Млечный Путь (см. § 1). Обратите внимание, что все яркие звезды (созвездие *Орион, Лебедь, Лира, Орел)* находятся в полосе Млечного Пути. В этой плоскости располагается значительная часть газопылевых туманностей (рис. 15.2), из которых образуются новые поколения звезд и планет. Все эти объекты формируют так называемую *плоскую составляющую Галактики,* в которую входит и Солнечная система (рис. 15.3). Старые звезды малой светимости, входящие в шаровые скопления, относятся к *сферической составляющей Галактики*. По химическому составу звезды шаровых скоплений содержат в сотни раз меньше тяжелых химиче-

Рис. 15.2. Газопылевая туманность Трифид в созвездии Стрельца

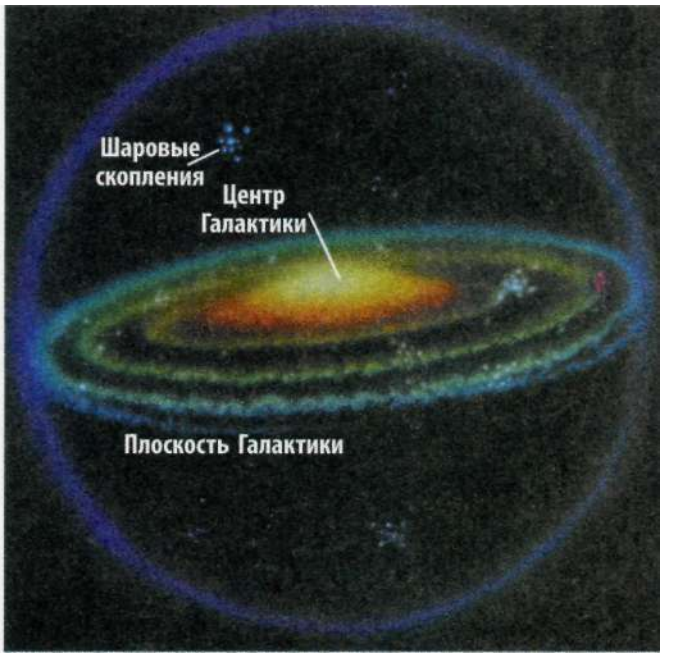


Рис. 15.3. Строение Галактики. В плоскости Галактики существуют газопылевые туманности, в которых рождаются молодые звезды и планетные системы

ских элементов, чем Солнце, потому что это звезды первого поколения, которые сформировались одновременно с образованием Галактики еще 10—15 млрд лет назад. Зарождение новых звезд и планетных систем сейчас происходит только в плоскости Галактики, где газопылевые туманности образуются после взрыва Новых и Сверхновых звезд.

2 Центр Галактики

Центр Галактики находится в направлении созвездия Стрельца, но эта область спрятана от нас огромными облаками пыли, которые поглощают излучение в видимой части спектра (рис. 15.4). В центре Галактики находится ядро диаметром 1000—2000 пк. Существует гипотеза, что в ядре Галактики располагается черная дыра с массой в миллионы раз большей, чем масса Солнца. В центре Галактики вблизи ядра существует своеобразная выпуклость — округлый выступ, где концентрируются звезды и облака горячего газа, которые находятся от нас на расстоянии почти 10000 пк. Эти облака окружают центр Галактики густым покрывалом, поэтому с помощью оптических телескопов непосредственно наблюдать ее ядро мы не можем. Только с помощью радиотелескопов и телескопов инфракрасного и рентгеновского диапазонов удается зарегистрировать интенсивное излучение центра (ядра) Галактики.

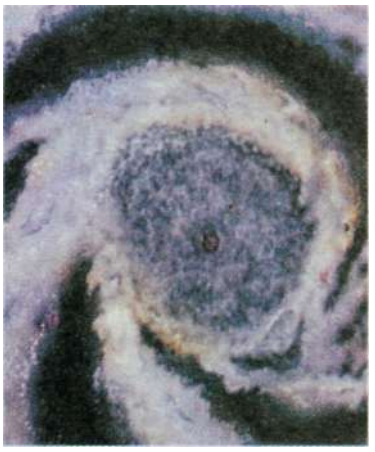


Рис. 15.4. Центр галактики, который виден в направлении созвездия Стрельца

3 Обращение звезд в Галактике

Солнце расположено вблизи плоскости Галактики на расстоянии 25000 св. лет от ее ядра. Вектор скорости Солнца относительно ближайших звезд направлен к созвездию *Геркулес*. Вместе со всеми соседними звездами Солнце обращается вокруг ядра Галактики со скоростью 250 км/с. Период обращения Солнца вокруг ядра называется *галактическим годом* и равен 250 000 000 земных лет. Анализ скорости обращения звезд свидетельствует о существенном отличии между поведением объектов в *сферической* и *плоской* составляющих Галактики. Если звезды плоской составляющей обращаются вокруг центра Галактики вблизи одной плоскости, то звезды сферической составляющей объединены в огромные *шаровые скопления,* которые обращаются вокруг центра по вытянутым орбитам в разных плоскостях. К тому же, период обращения этих скоплений показывает, что значительная масса Галактики распределена именно в сферической составляющей. Это могут быть объекты малой массы, которые не излучают энергию в видимой части спектра, либо черные дыры малой массы (рис. 15.5).

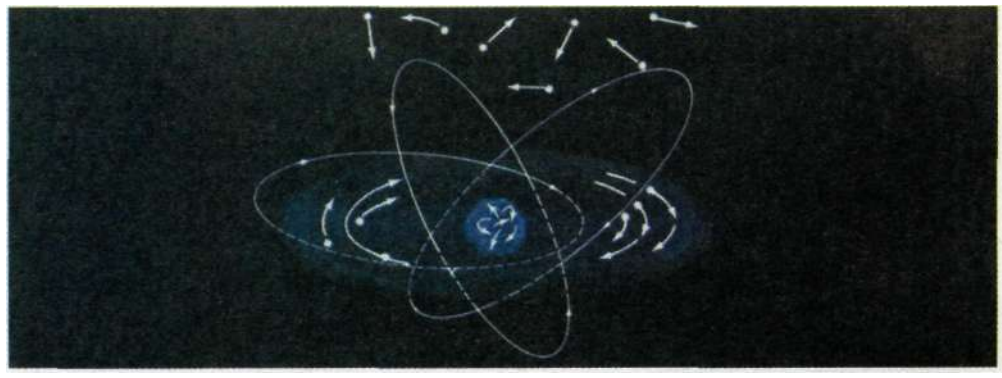


Рис. 15.5. Обращение звезд в Галактике

Одной из тайн Галактики являются так называемые *спиральные рукава,* которые зарождаются где-то в ее центре. Солнце находится на периферии одного из таких рукавов, который закручен в плоскости галактического диска. Астрономы считают, что спиральные рукава возникают как спиральные волны плотности, которые создаются при сжатии облаков межзвездного газа на начальном этапе формирования звезд (см. § 14). В свою очередь, при возникновении звезд в межзвездных облаках газа и пыли возникают ударные волны, что приводит к образованию молодых звезд. Когда массивные звезды вспыхивают как Сверхновые, то образуются новые туманности и новые ударные волны, которые распространяются в межзвездном пространстве. То есть формирование одной группы звезд обеспечивает создание механизма для образования нового поколения звезд. Этот процесс иногда называют формированием звезд при помощи саморазмножения о

Галактический год — период обращения Солнца вокруг ядра Галактики. Продолжается 250 млн земных лет.

Спиральные рукава возникают в некоторых галактиках как странные волны плотности, где формируются новые поколения звезд

4 Ближайшие соседи Галактики

Наблюдая другие галактики, астрономы обратили внимание на то, что не все они имеют спиральную структуру. Существуют три типа галактик — *спиральные, эллиптические и неправильные.* Наша Галактика, так же как и галактика в созвездии Андромеды М31, относится к типу спиральных. Они имеют схожий вид, почти одинаковые размеры и примерно одинаковое количество звезд. Галактика М31 находится на расстоянии 2 млн св. лет от Земли — это самый дальний объект во Вселенной, который еще можно наблюдать невооруженным глазом (рис. 15.6). Ближайшие к нам галактики, Большое и Малое Магеллановы Облака (БМО, ММО), можно увидеть на небе Южного полушария.

Ближайшие галактики

Название	Расстояние, св. лет	Видимая звездная величина
БМХ	$1{,}6 \cdot 10^5$	$+0{,}6^m$
ММХ	$1{,}8 \cdot 10^5$	$+2{,}8^m$
М 31	$2{,}3 \cdot 10^6$	$+4{,}3^m$
М 32	$2 \cdot 10^6$	$+9{,}1^m$
М 33	$2 \cdot 10^6$	$+6{,}2^m$

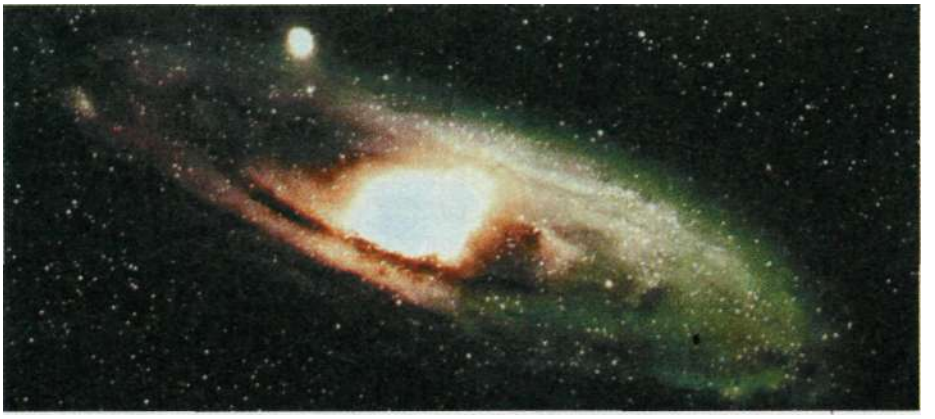


Рис. 15.6. Галактику М31 в созвездии Андромеды видно невооруженным глазом — она находится на расстоянии 2300 тыс. св. лет

В спиральных рукавах галактик сейчас происходит интенсивное рождение молодых звезд и формирование планетных систем, в то время как в эллиптических галактиках больше старых желтых и красных звезд. Возможно, что в эллиптических галактиках процесс образования звезд уже закончился.

5 Распределение галактик во Вселенной

Наблюдая гравитационное взаимодействие планет и звезд, астрономы обратили внимание на своеобразную иерархическую структуру движения космических тел.

1. *Планеты и их спутники,* обращающиеся вокруг своей звезды.
2. *Звездные скопления,* насчитывающие тысячи и даже миллионы объектов.
3. *Галактики,* которые объединяют в общее гравитационное поле сотни миллиардов звезд, обращающихся вокруг одного ядра.
4. *Скопление галактик,* насчитывающих миллионы объектов.

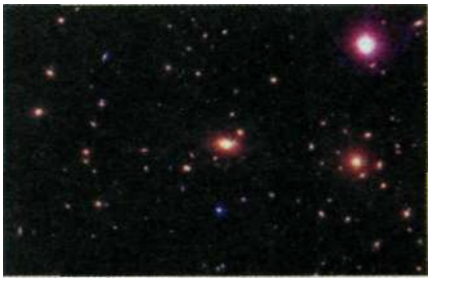


Рис. 15.7. Скопление галактик в созвездии Волосы Вероники

Наша Галактика и галактика М31 входят в *Местную группу* галактик. Наибольшие скопления галактик наблюдаются в созвездиях *Дева* и *Волосы Вероники* (рис. 15.7). В этом направлении астрономы открыли своеобразную Великую стену, где на расстоянии 500 млн св. лет наблюдается значительное увеличение количества галактик по сравнению с другими направлениями.

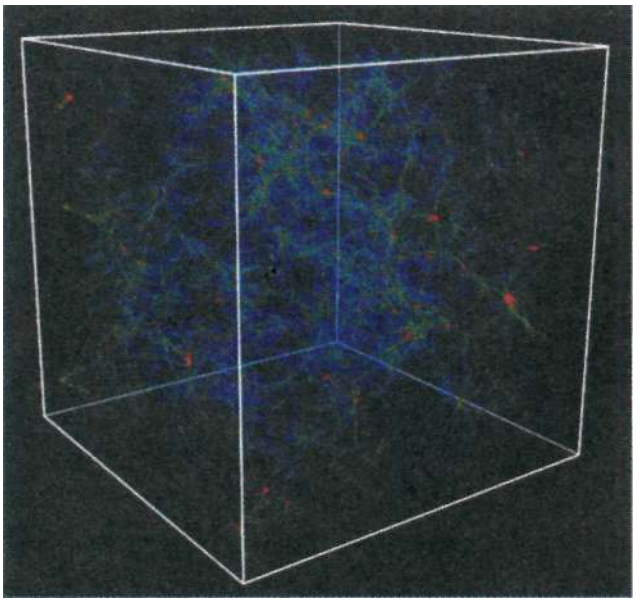
Великая стена — огромные скопления галактик в направлении созвездий Дева и Волосы Вероники

Отдельные галактики взаимодействуют между собой, происходят даже их столкновения, когда одна галактика поглощает другую,— наблюдается своеобразный *галактический «каннибализм»* (рис. 15.8). На последней, четвертой, ступени иерархической структуры скопления галактик почти не взаимодействуют между собой, поэтому не выявлено ни одного общего центра, вокруг которого могли бы обращаться миллионы галактик.

Еще одной характерной чертой распределения галактик в пространстве является то, что они размещены во Вселенной в большом масштабе не хаотично, а образуют очень странные структуры, напоминающие огромные сетки из волокон. Эти волокна окружают гигантские, относительно пустые области — пустоты. Некоторые пустоты имеют диаметр 300 млн св. лет. Вероятным объяснением волокнистой структуры Вселенной является то, что галактики в пространстве расположены на поверхности огромных пузырей, а пустоты являются их внутренней областью. С поверхности Земли нам кажется, что галактики расположены подобно ожерельям, которые нанизаны на волокна, потому что мы их видим на оболочках огромных космических пузырей (рис. 15.9).

Рис. 15.8. Столкновение галактик

Рис. 15.9. Волокнистая структура Вселенной. Галактики расположены на поверхности огромных пузырей, а мы их видим в виде ожерелья



6 Закон Хаббла

Разлетание галактик — удивительный процесс расширения Вселенной, который сопровождается увеличением расстояний между галактиками

В 1929 г. американский астроном Э. Хаббл исследовал спектры галактик и обратил внимание на то, что линии поглощения во всех спектрах смещены в красную сторону. Согласно эффекту Доплера, это свидетельствует о том, что все галактики от нас удаляются. Кроме того, по величине смещения спектральных линий можно определить скорость, с которой они удаляются. Оказалось, что скорость, с которой «убегают» от нас другие галактики, увеличивается прямо пропорционально расстоянию до этих галактик *(закон Хаббла):* $V = Hr$, где V — скорость галактики, H — постоянная Хаббла, r — расстояние до галактики в мегапарсеках. По последним измерениям H~70км/(с·Мпк).

Постоянная Хаббла
$H \approx 70$ км/(с·Мпк)
Скорость разлетания галактик увеличивается на 70 км/с на каждый миллион парсек

Для любознательных

По закону Хаббла, если известно смещение спектральных линий, то можно определить скорость галактики, а следовательно, и расстояние до нее. Самый удаленный объект, который удалось зарегистрировать, находится на расстоянии 14 млрд св. лет и имеет скорость 280000 км/с. То есть мы его видим в то время, когда еще не было не только нашей Земли и Солнца, но даже нашей Галактики. На первый взгляд, кажется, что наша Галактика находится в центре этого расширения, но оказывается, что никакого центра у Вселенной не существует. Житель любой другой галактики будет наблюдать такое же расширение, поэтому он может считать, что его галактика тоже находится в центре Вселенной.

7 Модели Вселенной

Для построения модели Вселенной необходимо ответить на вопрос: «Имеет ли Вселенная какую-то границу в пространстве?». Бесконечная и безграничная в пространстве и времени Вселенная привлекает к себе внимание тем, что она не имеет краев и содержит бесконечное количество звезд и галактик. Но в такой вечной и бесконечной Вселенной возникают противоречия, которые в астрономии называют *космологическими парадоксами.* Существует три космологических парадокса: фотометрический, гравитационный и «теплой смерти» Вселенной.

Космологические парадоксы — противоречия, возникающие в вечной и бесконечной Вселенной

Мы рассмотрим только *фотометрический парадокс,* который был сформулирован в 1744 г. швейцарским астрономом Ж. Шезо и дополнен немецким астрономом И. Ольберсом в 1826 г. Кратко суть этого парадокса можно выразить следующим вопросом: «Если Вселенная бесконечна, то почему ночью темно?» Кажется, что на него сможет ответить каждый ученик, ведь смену дня и ночи изучают

Рис. 15.10. Окружность может служить моделью безграничного одномерного мира, который имеет конечную длину. В таком пространстве можно совершить кругосветное путешествие и вернуться на место старта

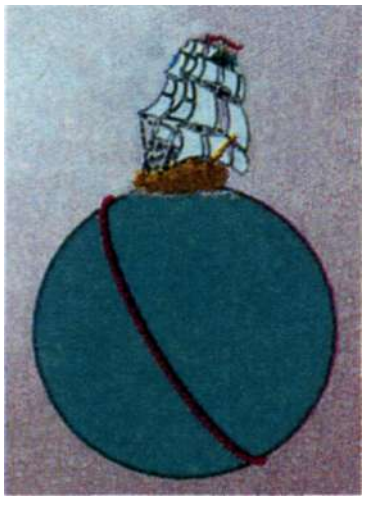


Рис. 15.11. Сфера может быть моделью двумерного безграничного мира, который имеет конечную площадь. В таком пространстве тоже можно совершить кругосветное путешествие — так Магеллан доказал, что поверхность Земли не имеет предела

в начальной школе. Но надо помнить, что над ночной поверхностью Земли светит множество звезд безграничной Вселенной, которые излучают бесконечное количество энергии, поэтому освещения звезд и галактик должно быть не меньше освещения, создаваемого Солнцем. Но по собственному наблюдению мы видим, что ночью небо гораздо темнее, чем днем. Математики предложили такую модель Вселенной, в которой можно опровергнуть фотометрический парадокс. Вселенная может быть *безграничной,* но *конечной.* В *одномерном* пространстве такой безграничный конечный мир — это обычная окружность или любая другая замкнутая кривая (рис. 15.10). Закрытое *двумерное* пространство — поверхность сферы, которая не имеет границ, но площадь поверхности сферы является конечной величиной (рис. 15.11).

Мы живем в трехмерном пространстве, и трудно представить себе такую закрытую Вселенную, которая не имеет границы, но имеет конечный объем и, следовательно, ограниченное количество звезд и галактик. В такой Вселенной нет центра, все точки в ней равноправны и во всех направлениях пространство однородно. На практике трудно проверить, в каком пространстве обитают некие существа, и узнать, является ли пространство конечным. Если пространство закрыто, то путешественник, передвигаясь в одном направлении, может совершить кругосветное путешествие и вернуться в точку старта. В истории *земной цивилизации* первое такое путешествие совершил Магеллан (1480—1521), который доказал, что поверхность Земли является закрытым двумерным пространством.

В трехмерной Вселенной космонавты никогда не смогут завершить такое кругосветное путешествие, поэтому проверку можно сделать только с помощью теоретических рассуждений, которые мы рассмотрим в следующем параграфе.

Выводы

Вселенная имеет сложную ячеистую структуру, в которой происходит гравитационное взаимодействие всех космических тел. Вокруг звезд обращаются другие звезды и планеты. Кроме того, звезды образуют огромные скопления, насчитывающие сотни тысяч и миллионы объектов. В общем поле тяготения галактик находятся уже сотни миллиардов звезд, которые обращаются вокруг общего центра. Галактики тоже образуют отдельные скопления, которые размещены в большом масштабе не хаотично, а образуют очень странные структуры, напоминающие огромные сетки из волокон. Мы живем во Вселенной, которая расширяется в безграничном пространстве.

Тесты

1. Слово «галактика» в переводе с греческого языка означает:
А. Млечный Путь. Б. Серебристый путь. В. Черный путь. Г. Большая дорога. Д. Чумацкий Шлях.

2. Что находится в центре Галактики?
А. Звездное скопление. Б. Черная дыра. В. Красный гигант. Г. Белый карлик. Д. Черная туча.

3. Галактический год определяет:
А. Период вращения Галактики вокруг оси. Б. Период обращения Солнца вокруг центра Галактики. В. Расстояние, которое пролетает свет до галактики в созвездии Андрдмеды. Г. Период обращения Галактики вокруг центра мира. Д. Период обращения звезд по сферической составляющей вокруг центра Галактики.

4. Термин «Великая стена» в астрономии означает:
А. Зарождение новых звезд и планетных систем. Б. Огромное скопление галактик в направлении созвездий Девы и Волосы Вероники. В. Оборонительные сооружения, которые создали галактические цивилизации. Г. Скопление газа и пыли в межгалактическом пространстве. Д. Скопление неизвестного темного вещества, поглощающего свет далеких галактик.

5. Согласно закону Хаббла, все галактики разлетаются в разных направлениях. Что находится в центре этого расширения?
А. Земля. Б. Наша Галактика. В. Галактика М31 в созвездии Андромеды. Г. Скопление галактик в созвездии Девы. Д. Центра не существует, поскольку в безграничной Вселенной отсутствуют центр и окраины.

6. Какие звезды входят в плоскую составляющую Галактики?
7. Какие структуры имеют галактики?
8. Как при помощи закона Хаббла можно измерить расстояние до галактик?
9. Могут ли происходить столкновения галактик?

10. Вычислите, с какой скоростью удаляется от нас галактика, если свет от нее летит к Земле $4 \cdot 10^8$ л.

Диспуты на предложенные темы

11. Как, по вашему мнению, можно было бы объяснить фотометрический парадокс безграничной и бесконечной Вселенной: «Если Вселенная бесконечна, то почему ночью темно?»

Задания для наблюдений

12. Определите, через какие созвездия проходит Млечный Путь.

13. Отыщите, в каком направлении находится центр Галактики. В какое время восходит и заходит центр Галактики в день вашего рождения?

14. Найдите на небе Туманность Андромеды (галактика в созвездии Андромеды). В какое время года эту галактику видно всю ночь?

Ключевые понятия и термины:

Великая стена, галактическое ядро, галактический год, звездные скопления, разлет галактик, спиральные галактики, постоянная Хаббла.

§ 16. Эволюция Вселенной

Изучив этот параграф, мы узнаем:

о Большом Взрыве, с которого началось расширение Вселенной;
могут ли существовать параллельные миры;
о возможных сценариях эволюции Вселенной в будущем.

1 Большой Взрыв и возраст Вселенной

Астрономические исследования, которые проводились в XX в., помогли астрономам понять суть разбегания галактик, которое свидетельствует о том, что сама Вселенная не остается постоянной во времени — она меняет свои параметры. Если расстояние между галактиками сейчас увеличивается, то раньше они находились ближе друг к другу. При помощи постоянной Хаббла можно подсчитать, когда все галактики до начала расширения могли находиться в одной точке. Моментом начала расширения Вселенной стал *Большой Взрыв,* который связан с возрастом T Вселенной: $T = 1/H$.

По современным данным, постоянная Хаббла H~70 км/(с·Мпк), то есть Большой Взрыв мог произойти примерно 15 млрд лет назад. Если учесть, что возраст нашей Галактики не может быть больше возраста самых старых шаровых звездных скоплений, которые существуют уже более 13 млрд лет, то эту цифру можно считать нижней границей возраста нашей Вселенной.

Большой Взрыв — процесс, который состоялся во время зарождения Вселенной, когда началось загадочное расширение космического пространства и образование элементарных частиц, атомов и крупных тел — планет, звезд, галактик

На первый взгляд кажется, что для построения теории эволюции Вселенной большое значение имеет определение места Большого Взрыва. Если бы Большой Взрыв был процессом, напоминающим взрыв бомбы, то можно было бы определить место этого события. В действительности расширение Вселенной включает не только разлет самих галактик относительно космического пространства, но и *изменение параметров* самой Вселенной. Иными словами, галактики не летят относительно остальной Вселенной, потому что сама Вселенная тоже расширяется. Таким образом, конкретного места, где произошел Большой Взрыв, во Вселенной не существует, равно как нет центра, от которого удаляются галактики.

2 Главные эры в истории Вселенной

Вселенная в начале существования имела столь маленькие размеры, что тогда не было ни галактик, ни звезд и даже еще не суще-

ствовали элементарные частицы. Плотность и температура новорожденной Вселенной достигали таких фантастических значений, что ученые не могут определить, в каком состоянии при этом находилась материя. Этот начальный момент рождения Вселенной называют *сингулярностью* (от лат.— единственный). Затем плотность и температура Вселенной начали снижаться и стали образовываться элементарные частицы, атомы и галактики.

Сингулярность — начальный момент зарождения Вселенной, когда плотность и температура материи достигали чрезвычайно больших значений

Всю историю нашей Вселенной можно разделить на четыре эры — *адронная, лептонная, излучения* и *вещества* (см. таблицу).

Эра Вселенной	Возраст Вселенной, лет	Фазы эволюции	Температура, К	Плотность, кг/м^3
Вещества	$1{,}5\cdot10^{10}$	Современная эпоха	2,7	$5\cdot10^{-27}$
	$1{,}2\cdot10^{10}$	Возникновение жизни на Земле		
	10^{10}	Формирование Солнечной системы		
	$6\cdot10^{9}$	Образование первых звезд		
	$5\cdot10^{9}$	Образование нашей Галактики		10^{-26}
	10^{9}	Квазары		
	$3\cdot10^{8}$	Появление облаков водорода и гелия		
	10^{8}	Образование атомов водорода и гелия		10^{-13}
	$3\cdot10^{5}$	Формирование вещества. Вселенная становится нейтральной и темной	3	10^{-10}
Излучения	300 с	Конец эры излучения	10	
	10 с	Образование ядра Дейтерия и Гелия	10^{4}	10^{16}
Лептонная	10^{-4}с	Электроны и позитроны в состоянии теплового равновесия с излучением	10^{10}	
Адронная	10^{-7} с	Разделение электромагнитного и слабого взаимодействия	10^{15}	
	10^{-10}с	Образование нейтронов и протонов	10^{27}	
	10^{-32} с	Отделение сильного взаимодействия		
	10^{-43} с	Отделение сил гравитации	10^{32}	10^{95}
Сингулярность	0	Все четыре фундаментальные силы объединены в единую. Размеры Вселенной приближаются к нулю		

Для любознательных

С философской точки зрения между элементарными частицами и электромагнитными волнами нет существенной разницы, ибо все сущее в природе есть материя. Но с физической точки зрения принципиальная разница между этими видами материи состоит в том, что скорость элементарных частиц (электронов, протонов, нейтронов), из которых образованы звезды, планеты и, наконец, мы с вами, никогда не сможет достигнуть скорости света, в то время как кванты электромагнитных волн никогда не смогут иметь скорость, меньшую чем скорость света.

3 Реликтовое фоновое излучение

Реликтовое излучение — кванты света, образовавшиеся 15 млрд лет назад. Они отделились от элементарных частиц и начали самостоятельное распространение во Вселенной. С помощью этого излучения измерили среднюю температуру Вселенной 2,7 К.

Те кванты электромагнитного излучения, которые оторвались от элементарных частиц в эру излучения, доходят до нас со всех сторон и отвечают электромагнитному излучению черного тела с температурой 2,7 К (рис. 16.1). В начале существования кванты имели большую энергию, поэтому излучение происходило в высокочастотной части спектра электромагнитных волн в *гамма-диапазоне*. Со временем гамма-кванты теряли энергию, поэтому длина электромагнитных волн увеличивалась, и через 105 лет после Большого Взрыва максимум излучения приходился уже на видимую часть спектра — тогда *молодая Вселенная* действительно выглядела ярким огненным шаром и была похожа на взрыв ядерной бомбы. Через 10 млн лет максимум излучения уже находился в *инфракрасной части спектра,* а через 14 млрд лет средняя температура Вселенной уменьшилась до 2,7 К, поэтому сейчас максимум излучения находится в *радиодиапазоне на волне длиной 1 мм*. Такое излучение поступает на Землю отовсюду, его интенсивность и частота не зависят от направления, и это свидетельствует о том, что средняя температура Вселенной повсеместно одинакова. Интересно, что еще 60 лет назад уроженец города Одессы Г. Гамов (США) предсказал существование горячей ранней Вселенной, но зарегистрировали эти реликтовые электромагнитные волны только в 1965 г.

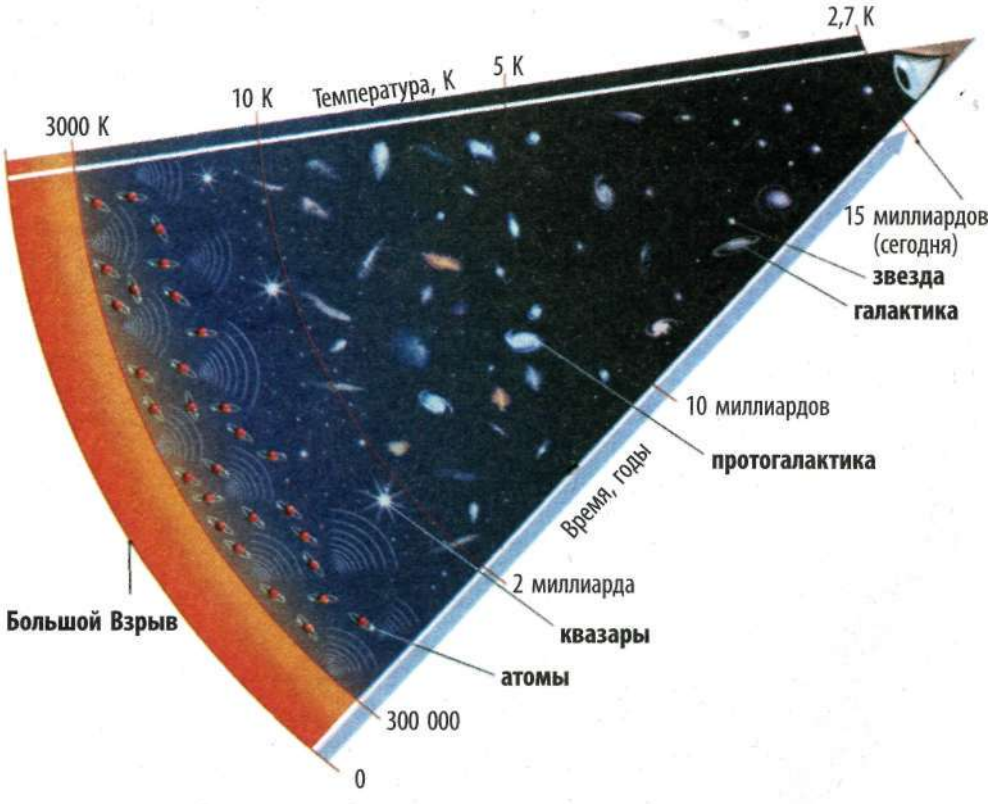


Рис. 16.1. Чем дальше от Земли находится космический объект, тем более молодым мы его видим, потому что свет от него достигает поверхности Земли через миллиарды лет. На границе видимой части Вселенной с расстояния 10 млрд св. лет поступает излучение, которое образовалось во времена Большого Взрыва. На расстоянии 5 млрд св. лет мы видим квазары, из которых позже сформируются галактики

4 Будущее Вселенной

Гравитационное взаимодействие вещества в будущем может уменьшить скорость расширения Вселенной. Оказывается, если средняя плотность Вселенной имеет критическое значение $5 \cdot 10^{-27}$ кг/м^3, а постоянная Хаббла $H \approx 70$ км/(с·Мпк), расширение может происходить вечно. Расчеты показывают, что будущая судьба нашей Вселенной зависит от значения настоящей средней плотности относительно критической плотности ρ_0. Могут быть три сценария будущего развития событий:

$$1)\ \rho < \rho_0;\ 2)\ \rho > \rho_0;\ 3)\ \rho = \rho_0.$$

Рассмотрим эти модели возможной эволюции нашего мира:

1. Если средняя плотность Вселенной $\rho < \rho_0$, то галактики будут разлетаться вечно, и в будущем температура фонового излучения постепенно будет снижаться, приближаясь к абсолютному нулю, а максимум излучения со временем будет смещаться в сантиметровый и метровый диапазоны электромагнитных волн (рис. 16.2). Такую Вселенную называют *открытой,* она не имеет границ в пространстве и может существовать вечно, постепенно превращаясь в ничто.

2. Если в космосе окажется значительная скрытая масса и средняя плотность будет $\rho > \rho_0$, тогда расширение Вселенной через некоторое время прекратится. Такую Вселенную называют *закрытой* — она не имеет предела в пространстве, но имеет *начало и конец во времени* (рис. 16.3).

Через несколько миллиардов лет разбегание галактик может остановиться, а затем начнется сжатие Вселенной, потому что гравитационная сила заставит галактики сближаться. Сближение галактик приведет

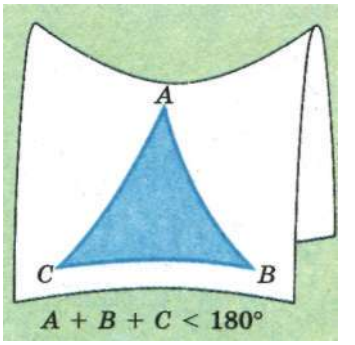


Рис. 16.2. В открытой Вселенной справедлива неэвклидова геометрия, когда сумма углов в треугольнике меньше 180°

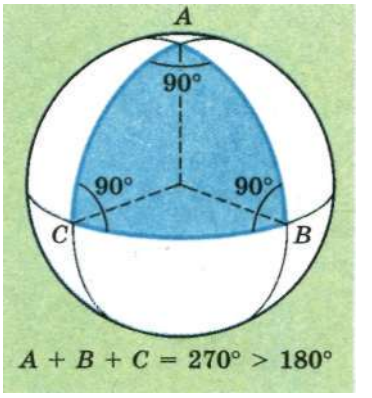


Рис. 16.3. Для закрытой Вселенной справедлива неэвклидова геометрия, когда сумма углов в треугольнике больше 180°

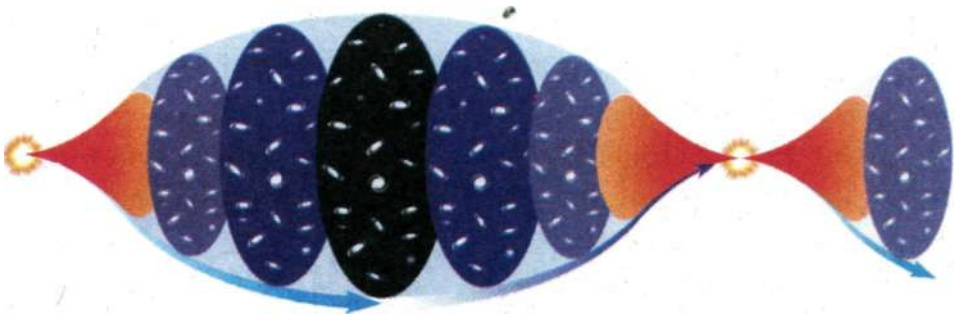


Рис. 16.4. Эволюция закрытой Вселенной. Такой мир увеличивается до определенных максимальных размеров, после чего галактики начнут сближаться. Начало и конец такой Вселенной имеют бесконечно большую температуру и плотность

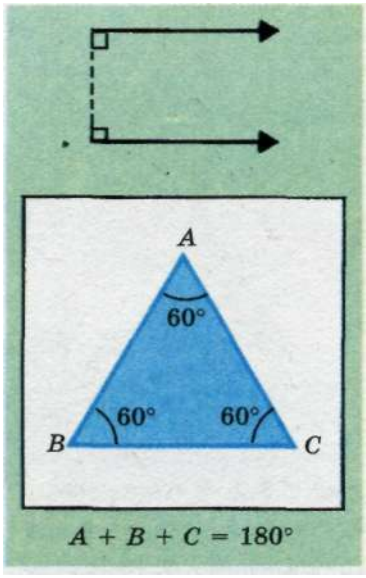


Рис. 16.5. В геометрии Эвклида параллельные прямые не пересекаются, а сумма углов в треугольнике равна 180°

к трагическим последствиям для живых организмов, поскольку энергия фонового излучения и температура Вселенной будут расти (рис. 16.4). Небо загорится сначала красным цветом, а потом станет синим. Температура возрастет настолько, что все живые существа погибнут, потом исчезнут звезды, планеты, элементарные частицы и Вселенная вновь превратится в вещество с чрезвычайно высокой плотностью.

3. Существует также вероятность того, что средняя плотность Вселенной равна критической плотности $\rho = \rho_0$. В этом случае безграничная и бесконечная Вселенная имеет нулевую кривизну, и для нее справедлива геометрия Эвклида (рис. 16.5). Галактики будут разлетаться вечно, температура Вселенной будет вечно приближаться к абсолютному нулю. Этот сценарий эволюции интересен еще и тем, что при нем общая энергия Вселенной остается равной нулю: $E_к + E_п = 0$. То есть если считать потенциальную энергию притяжения отрицательной, а кинетическую энергию движения — положительной, то Вселенная могла возникнуть из ничего в физическом вакууме как удивительное возмущение, поэтому со временем она тоже может превратиться в ничто.

Для любознательных

Современные наблюдения подтверждают существование во Вселенной скрытой массы (так называемой *темной материи),* которая сосредоточена в телах, излучающих незначительную энергию в виде электромагнитных волн — черные дыры, пульсары, нейтринное излучение, гравитационные волны и т. д. Астрономы, занимающиеся проблемами космологии, предложили гипотезу о существовании нового класса элементарных частиц, которым дали такое условное название — *Слабо Взаимодействующие Массивные Частицы* (СВМЧ). Если гипотезы о скрытой Массе подтвердятся, то средняя плотность Вселенной может быть больше критической и будущая эволюция Вселенной будет происходить по сценарию, который изложен в п. 2 (рис. 16.3, 16.4). Такая Вселенная напоминает сказочную птицу Феникс, которая периодически сгорает, а затем вновь возрождается из пепла.

Последние исследования движения звезд в галактиках подтверждают гипотезу о существовании класса элементарных частиц со скрытой массой, получивших название *темная материя.* Кроме того выявлено, что в межгалактическом пространстве существуют сильные поля неизвестной природы, которые астрономы назвали *темная энергия.* Новейшие гипотезы предполагают, что в наше время с помощью телескопов мы наблюдаем только 5% материи Вселенной, а 95% приходится на загадочные поля темной энергии и темной материи, которая не излучает электромагнитные волны.

Выводы

Эволюция Вселенной началась с Большого Взрыва чрезвычайно плотной материи 13—20 млрд лет назад, когда произошло загадочное расширение космического пространства. Об этом свидетельствует разбегание галактик, которое продолжается до сих пор, и содержание гелия (25%) и водорода (75%) в веществе. Чрезвычайно высокую температуру молодой Вселенной подтверждает реликтовое электромагнитное излучение. Будущее Вселенной зависит от средней плотности вещества, которое взаимодействует по закону всемирного тяготения. Возможно, что Вселенная является открытой и бесконечной, и ее расширение будет продолжаться вечно. Но если средняя плотность вещества во Вселенной больше, чем некоторая критическая величина, то такая Вселенная может периодически расширяться, а потом сжиматься.

Тесты

1. Что означает в астрономии термин «Большой Взрыв»?
   А. Взрыв новой звезды. Б. Взрыв ядра галактики. В. Столкновение галактик. Г. Момент, когда началось расширение космического пространства. Д. Момент, когда образовались галактики.
2. Когда произошел Большой Взрыв?
   А. 10 лет назад. Б. 2011 лет назад. В. 1 млн лет до н. э. Г. 1 млрд лет до н. э. Д. 15 млрд лет до н. э.
3. Когда образовалась Солнечная система?
   А. 6000 лет до н. э. Б. 100000 лет до н. э. В. 1 млн лет до н. э. Г. 5 млрд лет до н. э. Д. 15 млрд лет до н. э.
4. В каком месте космоса произошел Большой Взрыв?
   А. В центре Вселенной. Б. В ядре нашей Галактики. В. В скоплении галактик в созвездии Девы. Г. Везде, потому что галактики не летят относительно остальной Вселенной, ведь само пространство тоже расширяется. Д. В другом измерении за пределами нашей Вселенной.
5. Чему равна средняя температура Вселенной?
   А. 0°С. Б. 0 К. В. -270 °С. Г. 2,7 К. Д. -300 °С. Е. 300 К.
6. С какого события началось расширение Вселенной?
7. О чем свидетельствует реликтовое излучение Вселенной?
8. Галактика находится на расстоянии 100 млн ПК. Вычислите, сколько лет летит свет от нее до Земли.

Диспуты на предложенные темы

9. Какая судьба закрытой Вселенной?
10. Что ждет в будущем открытую Вселенную?
11. С какой скоростью удаляется от нас галактика, находящаяся на расстоянии 109 св. лет от Земли?

Задания для наблюдений

12. Можно ли с помощью школьного телескопа увидеть, что галактики от нас удаляются?

Ключевые понятия и термины:

Большой Взрыв, открытая Вселенная, закрытая Вселенная, параллельные миры, пульсирующая Вселенная, реликтовое фоновое излучение, сингулярность.

§17. Жизнь во Вселенной

Изучив этот параграф, мы узнаем:

почему во Вселенной появляются живые существа, которые хотят понять смысл своего существования;

могут ли существовать цивилизации за пределами Солнечной системы;

как можно обмениваться данными с инопланетными цивилизациями.

1 Антропный принцип

Жизнь является одной из великих тайн Вселенной. Мы видим на Земле различные живые организмы, но ничего не знаем о других формах жизни на чужих планетах. Все живые существа производят потомство, а потом рано или поздно умирают, то есть превращаются в неживую материю. Но на Земле еще никто не наблюдал непосредственного зарождения живых биологических клеток из неживых химических соединений. По этому поводу английский биолог Ф. Крик сказал: «Мы не видим пути от первобытного бульона до естественного отбора. Можно сделать вывод, что происхождение жизни — чудо, но это свидетельствует лишь о нашем незнании».

«Считать Землю единственным обитаемым миром было бы также нелепо, как утверждать, что на огромном засеянном поле мог бы вырасти только один колосок»

Митридор (III век до н. э).

Астрономические наблюдения показывают, что параметры орбиты Земли, ее масса, радиус и химический состав наиболее благоприятны для существования жизни. Для этого также необходимо стабильное Солнце, которое в течение нескольких миллиардов лет почти не меняло своей светимости. Расширение Вселенной тоже способствует существованию жизни, ибо в фазе сжатия смертельное коротковолновое фоновое излучение могло бы уничтожить все живое (см. § 16). Возникает такое впечатление, что все сущее в космосе существует для того, чтобы на Земле жили разумные люди. Так была сформулирована философская основа космологии — **антропный** принцип (от греч. Антропос — человек): «Мы наблюдаем Вселенную такой, какой мы ее видим, поскольку мы существуем». То есть, возможно, где-то в космосе существуют миры с другими параметрами, но там нет разумных существ, которые могли бы описать свое бытие и передать эту информацию *из прошлого в будущее.*

Антропный принцип. Мы наблюдаем Вселенную такой, какой мы ее видим, поскольку мы существуем.

Открытая система обменивается с окружающей средой энергией и информацией

2 Жизнь как открытая система

Рассмотрим жизнь как открытую систему, которая хранит и передает информацию из прошлого в будущее. Общие характеристики живых существ можно описать с помощью некоторых терминов теории сложных систем, поведение и эволюцию которых изучает новая наука *синергетика*. Все живые существа с помощью генов создают огромный объем информации, которая сохраняется и передается потомкам (рис. 17.1). Объем информации, который сохраняет только одна клетка живого организма, оценивается в 10^{22}—10^{23} бит. Для сравнения напомним, что объем информации, которую хранят современные компьютерные диски, в миллиарды раз меньше. Биологическая эволюция живых организмов происходит в направлении увеличения объема информации, который передается потомкам. Например, общая масса всех живых существ 100 млн лет назад была не меньше, чем масса современных живых существ, но объем новой информации, которой владеет наша цивилизация, в миллиарды раз больше, чем информация, хранившаяся в огромных телах динозавров. Гигантский скачок в увеличении потока информации состоялся 100 000 лет назад с появлением разумного человека — *homo sapiens*. Биологи доказывают, что тогда на Земле параллельно существовали два вида разумных людей — *кроманьонцы и неандертальцы*. Хотя неандертальцы были физически более развитыми, но во время ледникового периода они погибли. Выжили кроманьонцы, которые научились не только добывать и сохранять огонь, но и передавать свои знания потомкам, то есть передавать информацию из прошлого в будущее не только при помощи генов. Почти все животные для обмена информацией пользуются звуками, но только разумный человек для хранения информации стал применять различные знаки и символы, которые со временем превратились в письменность. Благодаря компьютерам на современном этапе развития нашей цивилизации тоже наблюдается значительное увеличение потока информации, которой владеет человечество. При помощи АМС мы начали собирать информацию о далеких планетах и приступили к непосредственным поискам внеземных форм жизни. Вероятность существования жизни на других телах Солнечной системы достаточно мала (см. § 7—11), поэтому поиски внеземных цивилизаций сейчас ведутся вблизи других звезд.

Синергетика — наука, изучающая законы и эволюцию сложных систем

Живой организм — сложная открытая система, состоящая из химических и биологических соединений, которая имеет высокую степень упорядоченности и сохраняет огромный объем информации о себе и окружающем мире

Объем информации одной клетки живого существа 10^{22}—10^{23} бит, человека — 10^{25} бит

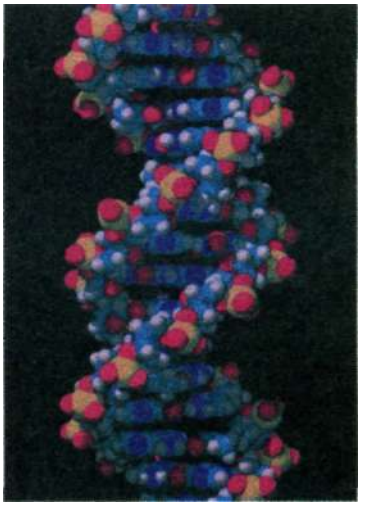


Рис. 17.1. Цепь ДНК, с помощью которой записывается и хранится информация о живом организме

3 Проблемы контактов с внеземными цивилизациями

Контакты между цивилизациями прежде всего означают обмен информацией. Если во Вселенной существуют другие цивилизации и они имеют определенный объем информации о своей части Галактики, то обмен информацией между ними может привести к общему росту информации, поэтому такой процесс, согласно теории биологической эволюции, можно считать прогрессивным.

Контакты с другими цивилизациями могут быть трех типов:

1. Обмен информацией при помощи электромагнитных волн или другого излучения, которое может быть носителем информации (рис. 17.2).

2. Обмен информацией при помощи автоматических систем, управлять которыми будут компьютеры и роботы.

3. Встреча живых представителей инопланетных цивилизаций.

Рис. 17.2. Радиотелескоп, при помощи которого можно принимать радиосигналы от внеземных цивилизаций

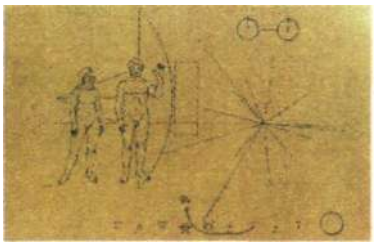


Рис. 17.3. Первая попытка установить контакт второго типа. На золотой пластинке высечены фигуры людей и координаты Земли в Галактике. До ближайшей звезды АМС «Пионер» (США) будет лететь 105 лет

На данном этапе развития земной цивилизации мы можем осуществить контакты первого типа — современные радиотелескопы способны передавать и принимать информацию от цивилизации интеллектуального уровня, подобного нашему, с расстояния **1000** св. лет. На таком расстоянии существуют миллионы звезд, поэтому отыскать подходящий объект для наблюдения очень сложно. В 1967 г. впервые зарегистрировали периодические сигналы, поступавшие из межзвездного пространства, их назвали **пульсарами.** Анализ сигналов показал, что пульсары никакого отношения к инопланетным цивилизациям не имеют, такие периодические сигналы излучают нейтронные звезды (см. § 14).

От Земли распространяется своеобразная интеллектуальная волна, которую излучают земные радиостанции. Если учесть, что первые радиостанции начали передавать информацию в космос **100** лет назад, то эти «разумные» сигналы распространились только на расстояние **100** св. лет от Земли. Если на таком расстоянии находится цивилизация подобного нашему интеллектуального уровня, получившая наши сигналы, то ответ придет к нам не раньше чем через **200** лет. То есть установление контактов между цивилизациями с помощью электромагнитных волн может происходить достаточно длительное время.

Налаживание контактов второго типа с помощью автоматических систем тоже требует длительного времени. Например, космические аппараты «Пионер-10, 11» и «Вояджер-1, 2» через миллионы лет выйдут за пределы Солнечной системы и будут самостоятельно обращаться вокруг центра Галактики. Не исключена возможность, что эти аппараты станут спутниками какой-либо звезды. Если АМС не сгорят болидом в атмосфере чужой планеты, то инопланетяне смогут прочитать информацию, которую несут эти аппараты (рис. 17.3).

4 Возможные последствия контактов с чужими цивилизациями

Сейчас создана международная организация *SETI* (англ. *Search of Extra Terrestrial Intelligence* — поиски внеземного разума), которая разработала широкую программу поиска жизни во Вселенной. Возникает вопрос: для чего мы ведем поиски инопланетных цивилизаций? Может ли контакт с внеземным разумом принести нам какую-либо дополнительную информацию и поможет ли выжить человечеству в этом мире?

Дело в том, что наша цивилизация сейчас находится в своеобразной изоляции, ибо Земля по многим параметрам является также закрытой системой. Согласно законам эволюции сложных систем, в закрытой системе растет беспорядок и уничтожается информация, поэтому закрытая система обречена на смерть. Примером такой своеобразной деградации закрытой системы являются обычные тепловые процессы — в изолированной колбе выравниваются температура и плотность.

Контакты третьего рода — непосредственная встреча землян с инопланетянами, которая может случиться на любой планете или в космическом пространстве

Интересно, что этот закон роста беспорядка в закрытой системе действует и в человеческом обществе, только в этом случае мерилом служит не температура, а информация. Человек является существом общественным, и он может оставаться человеком, только общаясь с другими людьми.

Помните! Общая информация двух разумных людей после их общения возрастает только в случае, если они имеют разную информацию. Рост интеллекта нашей цивилизации состоит в том, что люди не являются копиями своих родителей, так же как и каждая нация и государство вносят свой вклад в рост могущества человечества

Возникают и предостережения о возможных последствиях контактов с цивилизацией, которая находится на высшей ступени развития. Если чужая цивилизация по интеллекту намного опередила землян, то она может уже осуществлять межзвездные перелеты. То есть контакты третьего рода могут произойти и на Земле, если к нам прилетят чужие космические корабли. В этом случае возникнет главная проблема: захотят ли разумные существа из других миров общаться с нами? Контакты между цивилизациями могут привести к конфликтам — своеобразным «звездным войнам», и мы должны быть готовы к этому.

5 Прогнозы эволюции земной цивилизации

Время существования отдельной цивилизации влияет на определение общего количества цивилизаций в Галактике. Например, в Средневековье, когда средняя продолжительность жизни человека была 20—30 лет, население Земли не превышало 100 млн человек, и только в конце XX в., когда значительно возрос средний возраст людей, население Земли достигло 6 млрд. Сколько времени может существовать отдельная цивилизация, мы не знаем, потому что наблюдаем только за развитием человечества. Существуют несколько научных оценок продолжительности жизни цивилизации. Согласно «пессимистичной» точки зрения, средняя продолжительность существования отдельной изолированной цивилизации не превышает **10000** лет. Соответственно этой шкале земная цивилизация приближается к смерти, ибо человечество столкнулось с целым рядом проблем, которые могут привести к катастрофическим последствиям.

Интернет
Позволяет нам значительно увеличить объем новых знаний и получить информацию не только из любой библиотеки на Земле, но и увидеть происходящее в космосе на других планетах

Ученые, имеющие не такую безнадежную точку зрения, считают, что все эти проблемы в будущем могут быть решены, поэтому «оптимистичная» оценка продолжительности существования нашей цивилизации - **100 000** лет. То есть по этой шкале наша цивилизация только зарождается, и в будущем нас ждет расцвет, освоение межзвездного пространства и встречи с инопланетными цивилизациями. Для этой цели в школах и изучают астрономию — науку о таинственном и удивительном космосе.

Основные причины, которые могут вызвать гибель нашей цивилизации:

1. Экологическая катастрофа, которая может возникнуть вследствие загрязнения окружающей среды промышленными отходами предприятий.

2. Изменение климата на Земле из-за увеличения количества углекислого газа в атмосфере, усиления парникового эффекта и повышения температуры.

3. Увеличение озоновых дыр в атмосфере может вызвать повышение доли ультрафиолетового излучения Солнца, которое достигает поверхности Земли, вследствие чего могут пбгибнуть флора и фауна нашей планеты (кроме живых организмов в воде и под поверхностью Земли).

4. Катастрофическое столкновение с астероидом или кометой может привести к резкому снижению температуры и возникновению нового ледникового периода.

5. Цивилизация может погубить себя атомной войной.

6. Интеллектуальная деградация человечества.

ВЫВОДЫ :

Жизнь — это сложная открытая система химических и биологических соединений с высокой степенью упорядоченности, которая сохраняет огромный объем информации о себе и окружающем мире. Земля по многим параметрам является закрытой системой, поэтому проблема выживания человечества связана с освоением космоса. Наша цивилизация сделала первые шаги в этом направлении — мы начали исследование Солнечной системы. Но у человечества могут возникнуть проблемы при попытке установить контакт с чужими цивилизациями, находящимися на высшей, по сравнению с нами, степени интеллекта.

Тесты

1. Синергетика — это новая наука, изучающая:
   А. Космическое право. Б. Эволюцию сложных систем. В. Мировую экономику. Г. Мировую экологию. Д. Экологию космоса.
2. Контакты с инопланетными цивилизациями определяют:
   А. Звездные войны с чужими цивилизациями. Б. Обмен информацией. В. Спортивные соревнования с инопланетянами. Г. Торговлю с инопланетянами. Д. Передачу информации инопланетянами.
3. Как расшифровывается аббревиатура НЛО?
   А. Нелетающие легкие объекты. Б. Неопознанные легкие объекты. В. Неопознанные летающие объекты. Г. Новые летающие объекты. Д. Сверхновые летающие объекты.
4. Над какой проблемой работает Международная организация *SETI?*
   А. Поиски жизни во Вселенной. Б. Поиски жизни за пределами Вселенной. В. Поиски радиосигналов от других цивилизаций. Г. Поиски инопланетных космических кораблей. Д. Поиски марсиан.
5. Какую роль играют космические катастрофы в эволюции жизни на Земле?
6. Какие существуют основания для поисков жизни за пределами Солнечной системы?
7. Сколько времени современные космические корабли должны лететь до ближайшей звезды?
8. Можно ли с помощью современных радиотелескопов установить контакт с внеземными цивилизациями?
9. Что означает выражение «обычная жизнь»? Какие другие формы жизни могли бы существовать во Вселенной?
10. Космический корабль стартовал с поверхности Земли с третьей космической скоростью (см. § 5). Вычислите, сколько времени будет продолжаться полет к границе Солнечной системы, находящейся на расстоянии 100000 а. е. от Солнца. (Указание: можно считать, что корабль летит по огромному эллипсу, когда в перигелии расстояние до Солнца 1 а. е., в афелии — 100000 а. е.)

Диспуты на предложенные темы .

11. Какие идеи для осуществления межзвездных перелетов вы можете предложить?
12. Могут ли быть НЛО космическими аппаратами чужих цивилизаций?
13. Каково ваше мнение относительно возможности существования компьютерной цивилизации?

Ключевые понятия и термины: '

Антропный принцип, контакты между цивилизациями, космическая эволюция, синергетика, смерть цивилизации.

Примеры решения задач по астрономии

§ 1. Звезда Вега находится на расстоянии 26,4 св. лет от Земли. Сколько лет летела бы к ней ракета с постоянной скоростью 30 км/с?

Дано:
D = 26,4 св. лет
c = 300 000 км/с
V=30 км/с

t = ?

Решение:

$$t=\frac{cD}{V}=264\,000 \text{ лет.}$$

Скорость ракеты в 10000 раз меньше скорости света, поэтому космонавты будут лететь к Веге в 10000 раз дольше.

§ 2. В полдень ваша тень в два раза меньше, чем ваш рост. Определите высоту Солнца над горизонтом.

Дано:
$H=2L$

h = ?

Решение:

Высота Солнца h измеряется углом между плоскостью горизонта и направлением на светило. Из прямоугольного треугольника, где катетами является L (длина тени) и H (ваш рост), находим

$$h=\operatorname{arctg}(H/L)=\operatorname{arctg}2=63°26'.$$

§ 3. На сколько отличается местное время в Симферополе от киевского времени?

Дано:
$\lambda_к$ = 30° = 2 ч 00 мин
$\lambda_с$ = 34°06' = 2 ч 16 мин

ΔT = ?

Решение:

Зимой $\Delta T=T_с-T_к=\lambda_с-\lambda_к=$ = 16 мин.

То есть зимой местное время в Симферополе опережает киевское время. Весной стрелки всех часов в Европе переводят на 1 час вперед, поэтому киевское время опережает на 44 мин местное время в Симферополе.

Астероид Амур движется по эллипсу с эксцентриситетом 0,43. Может ли этот астероид столкнуться с Землей, если его период обращения вокруг Солнца 2,66 года?

Дано:
T = 2,66 года
e = 0,43

r_{min} = ?

Решение:

Астероид может встретиться с Землей, если он пересечется с орбитой Земли, то есть если расстояние в перигелии $r_{min} =< 1$ а. е.

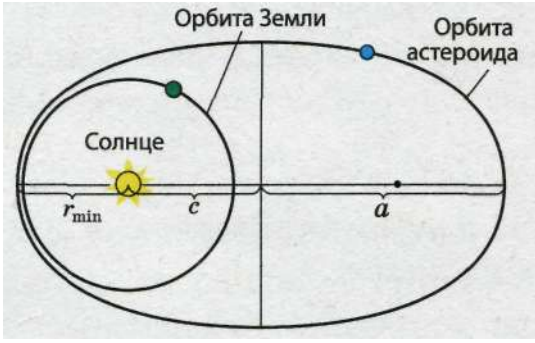
1. При помощи третьего закона Кеплера определяем большую полуось орбиты астероида:

$$a_1 = a_2 (T_1/T_2)^{2/3},$$

где a_2=1 а. е.— большая полуось орбиты Земли; T_2=1 год — период обращения Земли вокруг Солнца.

$$a_1 = T_1^{2/3} = T^{2/3} = 1{,}92 \text{ а. е.}$$

2.



$a = c + r_{min}$;
$c = ea$;
$r_{min} = a\ (1 - e)$;
$r_{min} = 1{,}09$ а. е.

Ответ. Астероид Амур не пересечет орбиту Земли, поэтому не может столкнуться с Землей.

§ 5. На какой высоте над поверхностью Земли должен обращаться геостационарный спутник, который висит над одной точкой Земли?

Дано:
T=1 сутки
H=?

Решение:

1. При помощи третьего закона Кеплера определяем большую полуось орбиты спутника:

$$a_1 = a_2 (T_1/T_2)^{2/3},$$

где a_2 = 380 000 км — большая полуось орбиты Луны; T_1 = 1 сутки — период обращения спутника вокруг Земли; T_2=27,3 суток — период обращения Луны вокруг Земли.

$$a_1 = 41900 \text{ км}.$$

2. $H = a_1 - R_\oplus = 35\,500$ км.

Ответ. Геостационарные спутники обращаются с запада на восток в плоскости экватора на высоте 35500 км.

§ 6. Могут ли космонавты с поверхности Луны невооруженным глазом увидеть Черное море?

Дано:
D = 1000 км
L = 380 000 км
α = ?

Решение:

Определяем угол, под которым с Луны видно Черное море. Из прямоугольного треугольника, в котором катетами являются расстояние до Луны и диаметр Черного моря, определяем угол:

$$\alpha = \operatorname{arctg}(D/L) \approx 9'$$

Ответ. Если в Украине день, то с Луны Черное море можно увидеть, потому что его угловой диаметр больше разрешающей способности глаза.

§ 8. На поверхности какой планеты земной группы вес космонавтов будет наименьшим?

Решение:

$$P=mg;\ g=GM/R^2,$$

где G — гравитационная постоянная; M — масса планеты, R — радиус планеты. Наименьший вес будет на поверхности той планеты, где меньше ускорение свободного падения. Из формулы $g=GM/R^2$ определяем, что на Меркурии $g=3{,}78$ м/с^2, на Венере $g=8{,}6$ м/с^2, на Марсе $g=3{,}72$ м/с^2, на Земле $g=9{,}78$ м/с^2.

Ответ. Вес будет наименьший на Марсе — в 2,6 раза меньше, чем на Земле.

§ 12. Когда, зимой или летом, в окно вашей квартиры в полдень попадает больше солнечной энергии? Рассмотрите случаи: А. Окно выходит на юг. Б. Окно выходит на восток.

Решение:

А. Количество солнечной энергии, которую получает единица поверхности за единицу времени, можно посчитать с помощью формулы:

$$E=q\cos i\ ,$$

где q — солнечная постоянная; i — угол падения солнечных лучей.

Стена расположена перпендикулярно к горизонту, поэтому зимой угол падения солнечных лучей будет меньше. Итак, как ни странно, зимой в окно вашей квартиры от Солнца поступает больше энергии, чем летом.

Б. Если окно выходит на восток, то солнечные лучи в полдень никогда не освещают вашу комнату.

§ 13. Определите радиус звезды Вега, которая излучает в 55 раз больше энергии, чем Солнце. Температура поверхности 11000 К. Какой вид имела бы эта звезда на нашем небе, если бы она светила на месте Солнца?

Дано:
L = 55
T=11000 K
R=?

Решение:

Радиус звезды определяют с помощью формулы (13.11):

$$\frac{R}{R_\oplus}=\frac{T_\oplus^2}{T^2}\sqrt{L}\ ,$$

где $R_\oplus=695\,202$ км — радиус Солнца; $T_\oplus=6000^\circ$C — температура поверхности Солнца.

$$\frac{T_\oplus^2}{T^2}\sqrt{L}\approx 2;\ R=R_\oplus\approx 1\,400\,000\ \text{км}.$$

Ответ. Звезда Вега имеет радиус в 2 раза больший, чем у Солнца, поэтому на нашем небе она имела бы вид синего диска с угловым диаметром 1°. Если бы Вега светила вместо Солнца, то Земля получала бы в 55 раз больше энергии, чем теперь, и температура на ее поверхности была бы выше 1000 °C. Таким образом, условия на нашей планете стали бы не пригодными для любых форм жизни.

Лабораторные работы

Лабораторная работа № 1

Определение географической широты на местности с помощью Полярной звезды

Цель: научиться ориентироваться на местности с помощью Полярной звезды.

Оборудование: транспортир, штатив, нить, отвес.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Для ориентировки на поверхности Земли применяют горизонтальную систему координат, в которой основной плоскостью является математический горизонт и отвесная линия. Отвесную линию *OZ* (рис. 2.4) определяют с помощью обычного отвеса, подвешенного на нитке. Математический горизонт является плоскостью, которая перпендикулярна к отвесной линии в точке наблюдения.

Плоскость небесного меридиана (рис. 2.5) совпадает с географическим меридианом на поверхности Земли и пересекает горизонт в точках *N* (север) и *S* (юг), а точки пересечения небесного экватора и горизонта — *E* (восток) и *W* (запад). Линия *NS* пересечения плоскостей меридиана и горизонта называется полуденной линией.

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

1. Найдите на небе с помощью карты звездного неба Полярную звезду в созвездии Малой Медведицы (см. рис. 2.8).
2. Прикрепите на штативе транспортир с отвесом (рис. Л. 1.1).
3. Направьте транспортир на Полярную звезду так, чтобы ваш глаз находился на одной прямой с линейкой транспортира и звездой. Плоскость транспортира при этом будет находиться в плоскости меридиана.
4. Измерьте угол φ между отметкой 90° на транспортире и нитью отвеса, который равен географической широте места наблюдения.
5. Отметьте на поверхности Земли направление полуденной линии.

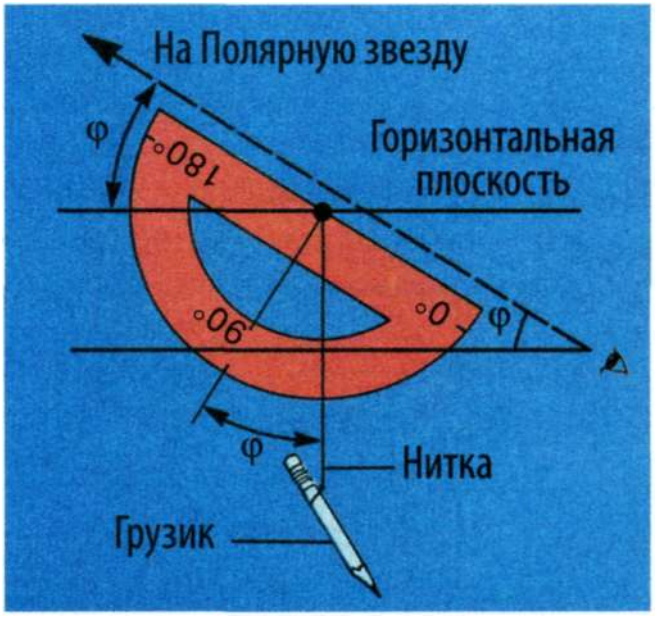


Рис. Л.1.1. Определение географической широты при помощи Полярной звезды. Угол между плоскостью горизонта и направлением на полюс мира равняется географической широте места наблюдения

6. Определите географическую долготу $\lambda_к$ и широту $\varphi_к$ вашего населенного пункта при помощи карты или прил. 5.
7. Результаты запишите в таблицу.

Географические координаты населенного пункта на карте		Географическая широта места наблюдения φ
Широта $\varphi_к$	Долгота $\lambda_к$	
	,	

8. Сравните $\varphi_к$ и φ.
9. Сделайте вывод.

Лабораторная работа № 2

Определения географической долготы при помощи солнечных часов

Внимание! При выполнении этой работы нельзя смотреть на Солнце без специального светофильтра.

Цель: научиться ориентироваться на местности при помощи солнечных часов.

Оборудование: бумага, ножницы, клей.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

При измерении времени сохранились две системы отсчета — звездное время и солнечное время (§ 3). В повседневной жизни мы используем только солнечное время, которое можно определить при помощи солнечных часов — обычной палочки, тень от которой определяет местное время. Местный полдень — 12 часов по местному времени, наступает при верхней кульминации Солнца, когда тень от палочки самая короткая.

Разница географических долгот места наблюдения $\lambda_м$ и Киева $\lambda_К$ определяется разницей между местным временем $T_м$ и киевским временем $T_К$:

$$\Delta t = T_м - T_К = \lambda_м - \lambda_К. \quad (1)$$

Внимание! *Весной, в последнее воскресенье марта, все часы в Европе переводят на один час вперед, поэтому летом киевское время будет опережать местное время всех городов Украины.*

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

1. Сделайте солнечные часы. Для этого перенесите их выкройку (рис. Л.2.1) на лист бумаги, разрежьте отдельные полосы и склейте их, совмещая соответствующие буквы на них, как показано на рис. Л.2.2.

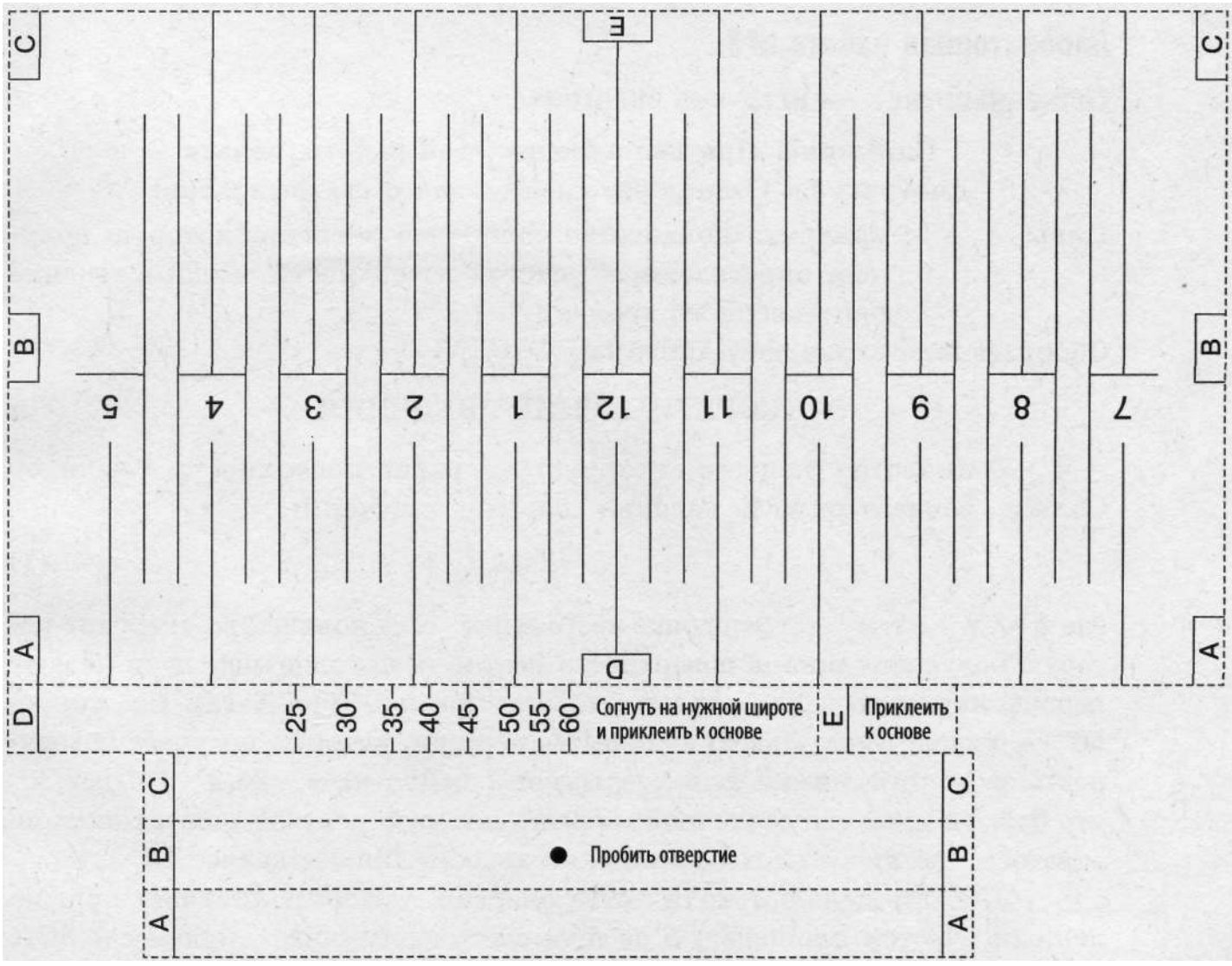


Рис. Л.2.1. Части солнечных часов. Пунктиром показаны линии, по которым надо разрезать выкройку

2. Установите часы в направлении на юг так, чтобы в момент кульминации Солнца «зайчик» от дырочки показывал 12 ч. Это будет соответствовать 12 ч по местному времени ($T_м$).
3. Вычислите $\Delta t = T_м - T_К$.
4. Найдите долготу места наблюдения $\lambda_м$ по форму-, ле (1).
5. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу:

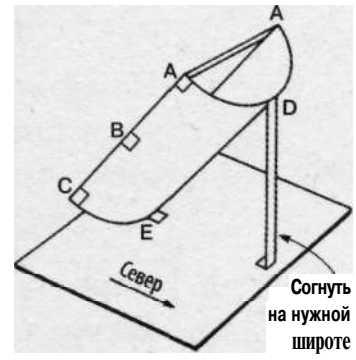


Рис. Л.2.2. Готовые солнечные часы

Время		Δt	Долгота	
киевское $T_К$	местное $T_м$		, Киева $\lambda_К$	места наблюдения $\lambda_м$

6. Найдите географическую долготу места наблюдения λ вашего населенного пункта с помощью географической карты или прил. 5.
7. Сравните λ и $\lambda_м$.
8. Сделайте вывод.

Лабораторная работа №3

Солнечный свет — источник энергии*

Внимание! При выполнении этой работы нельзя смотреть на Солнце без **специального светофильтра!**

Цель: измерить количество солнечной энергии, которую получает определенный участок поверхности Земли в течение определенного времени.

Оборудование: карандаш, линейка.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Количество энергии, которую получает поверхность Земли от Солнца, зависит от угла падения солнечных лучей *i:*

$$E = q\cos i, \qquad (1)$$

где $q \approx 1{,}4$ кВт/м^2 — солнечная постоянная, или количество энергии, которую получает единица поверхности Земли, если солнечные лучи падают перпендикулярно к поверхности, то есть при $i=0°$ (см. § 12). На широте 50° (Харьков, Киев, Львов) количество энергии, которую получает поверхность за долгий летний день, достигает 7 (кВт · ч)/м^2 = $25{,}2 \cdot 10^6$ Дж/м^2, что больше даже той солнечной энергии, которую получает поверхность на экваторе, где круглый год продолжительность дня составляет 12 часов.

Для определения количества энергии, которую получает определенный участок площадью *S* за промежуток времени *t,* будем считать, что угол падения солнечных лучей за это время остается постоянным:

$$E = qSt\cos i. \qquad (2)$$

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

1. Измерьте длину карандаша *H* и тени *L* от солнечного света. Для этого установите карандаш перпендикулярно к плоскости стола. Найдите угол падения солнечных лучей по формуле:
$$i = \operatorname{arctg}(H/L)$$
2. Определите площадь школьного двора *S*.
3. Вычислите по формуле (2) энергию, которую получает от Солнца школьный двор в течение 1 часа.
4. Результаты запишите в таблицу:

H, м	*L,* м	*i,* °	S, м^2	*E,* кВ · ч

5. Определите, сколько времени сможет светиться электрическая лампа мощностью **100** Вт, если на ее работу будет потрачено 50% полученной солнечной энергии.
6. Сделайте вывод.

* Эту работу можно выполнить дважды в год — зимой и осенью или весной.

Приложения

1. ГРЕЧЕСКИЙ АЛФАВИТ

A, α — альфа	I, ι — йота	P, ρ — ро
B, β — бета	K, κ — каппа	Σ, ς, σ — сигма
Γ, γ — гамма	Λ, λ — лямбда	T, τ — тау
Δ, δ — дельта	M, μ — мю	Y, υ — ипсилон
E, ε — эпсилон	N, ν — ню	Φ, φ — фи
Z, ζ — дзета	Ξ, ξ — кси	X, χ — хи
H, η — эта	O, o — омикрон	Ψ, ψ — пси
Θ, θ — тета	Π, π — пи	Ω, ω — омега

2. АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ЗНАКИ И СИМВОЛЫ

Символы		Знаки		Отметки	
Земля	⊕	Овен	♈	Градус дуги	$1^\circ = 60'$
Солнце	☉	Телец	♉	Минута дуги	$1' = 60''$
Луна	☽	Близнецы	♊	Секунда дуги	$1''$
Меркурий	☿	Рак	♋	Час времени	$1^h = 60^m$
Венера	♀	Лев	♌	Минута времени	$1^m = 60^s$
Марс	♂	Дева	♍	Секунда времени	1^s
Юпитер	♃	Весы	♎	Сутки	$1^d = 24^h$
Сатурн	♄	Скорпион	♏	Год	$1^a = 365^d 5^h 48^m 46^s$
Уран	♅	Стрелец	♐	Склонение	δ
Нептун	♆	Козерог	♑	Прямое восхождение	α
Плутон	♇	Водолей	♒	Географическая широта	φ
Звезда	*	Рыбы	♓	Географическая долгота	λ

3. ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЯ

А. На Земле	Б. В космосе
1 метр ~1/40 000 000 длина меридиана	1 а. е. ~1,496 • 10^{11} м
1 английская миля = 1609 м	1 парсек ~ 206265 а. е. « 3 • 10^{16} м
1 морская миля = 1852 м	1 св. год ~ 9,46 • 10^{15} м
1 верста = 500 саженей = 1066 м	
1 сажень = 3 аршина = 2,13 м	
1 фут = 12 дюймов = 30,48 см	

4. НЕКОТОРЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ И АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

Гравитационная постоянная	$6{,}67 \cdot 10^{-11}$ Н·м^2/кг^2
Скорость света в вакууме	$c = 2{,}997925 \cdot 10^8$ м/с
Постоянная Планка	$6{,}63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с
Масса протона	$1{,}673 \cdot 10^{-27}$ кг $= 1836 m_e$
Масса нейтрона	$1{,}675 \cdot 10^{-27}$ кг
Масса электрона	$9{,}11 \cdot 10^{-31}$ кг
Постоянная Авогадро	$6{,}02 \cdot 10^{23}$ моль
Универсальная газовая постоянная	8,31 Дж/моль·К
Постоянная Больцмана	$1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
Постоянная Стефана-Больцмана	$5{,}67 \cdot 10^{-8}$ Вт/м^2·К^4
Количество секунд в тропическом году	$31556925{,}9747 = 3{,}16 \cdot 10^7$
1 астрономическая единица	а. е. = 149 600 000 км
1 световой год	1 св. г. $= 9{,}46 \cdot 10^{15}$ м
1 парсек	1 пк $= 3{,}09 \cdot 10^{16}$ м
Диаметр Галактики	200 000 св. г.
Расстояние до галактики М31 (Андромеда)	2,3 млн св. г. $\approx 10^{22}$ м
Постоянная Хаббла	70 км/с·Мпк

5. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ КООРДИНАТЫ ГОРОДОВ УКРАИНЫ

№ п/п	Город	Широта	Долгота		Разность между местным и киевским временем	
			градусы	часы	зимой	летом
1	Винница	49° 14'	28° 30'	1 ч 54 мин	-0 ч 06 мин	-1 ч 06 мин
2	Днепропетровск	48° 30'	35° 05'	2 ч 20 мин	+0 ч 20 мин	-0 ч 40 мин
3	Донецк	47° 59'	37° 45'	2 ч 31 мин	+0 ч 31 мин	-0 ч 29 мин
4	Житомир	50° 16'	28° 40'	1 ч 55 мин	-0 ч 05 мин	-1 ч 05 мин
5	Запорожье	47° 58'	35° 15'	2 ч 21 мин	+0 ч 21 мин	-0 ч 39 мин
6	Ивано-Франковск	48° 56'	24° 45'	1 ч 39 мин	-0 ч 21 мин	-1 ч 21 мин
7	Киев	50° 27'	30° 30'	2 ч 02 мин	+0 ч 02 мин	-0 ч 58 мин
8	Кировоград	48° 30'	32° 15'	2 ч 09 мин	+0 ч 09 мин	-0 ч 51 мин
9	Луганск	48° 35'	39° 15'	2 ч 37 мин	+0 ч 37 мин	-0 ч 23 мин
10	Луцк	50° 45'	25° 15'	1 ч 41 мин	-0 ч 19 мин	-1 ч 19 мин
11	Львов	49° 51'	24° 02'	1 ч 36 мин	-0 ч 24 мин	-1 ч 24 мин
12	Николаев	46° 58'	32° 00'	2 ч 08 мин	+0 ч 08 мин	-0 ч 52 мин
13	Одесса	46° 28'	30° 45'	2 ч 03 мин	+0 ч 03 мин	-0 ч 57 мин
14	Полтава	49° 36'	34° 34'	2 ч 18 мин	+0 ч 18 мин	-0 ч 42 мин
15	Ровно	50° 35'	26° 00'	1 ч 44 мин	-0 ч 16 мин	-1 ч 16 мин
16	Симферополь	44° 58'	34° 06'	2 ч 16 мин	+0 ч 16 мин	-0 ч 44 мин
17	Сумы	50° 53'	34° 45'	2 ч 19 мин	+0 ч 19 мин	-0 ч 41 мин
18	Тернополь	49° 34'	25° 30'	1 ч 42 мин	-0 ч 18 мин	-1 ч 18 мин
19	Ужгород	48° 38'	22° 15'	1 ч 29 мин	-0 ч 31 мин	—1 ч 31 мин
20	Харьков	50° 00'	36° 13'	2 ч 25 мин	+0 ч 25 мин	—0 ч 35 мин
21	Херсон	46° 38'	32° 30'	2 ч 10 мин	+0 ч 10 мин	-0 ч 50 мин
22	Хмельницкий	49° 24'	27° 00'	1 ч 48 мин	-0 ч 12 мин	-1 ч 12 мин
23	Черкассы	49° 27'	32° 00'	2 ч 08 мин	+0 ч 08 мин	-0 ч 52 мин
24	Черновцы	48° 17'	25° 57'	1 ч 44 мин	-0 ч 16 мин	-1 ч 16 мин
25	Чернигов	51° 29'	31° 18'	2 ч 05 мин	+0 ч 05 мин	-0 ч 55 мин

6. ДАТЫ НОВОЛУНИЙ 2001—2057 гг.

Год			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2001	2020	2039	25	23	25	23	23	21	21	19	18	17	16	15
2002	2021	2040	13	12	14	12	12	10	10	8	7	6	5	4
2003	2022	2041	2	—	3	2	1, 31	29	29	27	26	25	24	23
2004	2023	2042	21	20	21	20	20	18	18	16	15	14	13	12
2005	2024	2043	10	9	10	9	9	7	7	5	4	3	2	1, 31
2006	2025	2044	29	28	29	28	28	26	26	24	23	22	21	20
2007	2026	2045	19	17	19	17	17	15	15	13	12	11	10	9
2008	2027	2046	8	6	7	6	6	4	4	2	1	1, 30	29	28
2009	2028	2047	26	25	26	25	25	23	23	21	20	19	18	17
2010	2029	2048	15	14	15	14	14	12	12	10	9	8	7	6
2011	2030	2049	4	3	4	3	3	2	1, 31	28	27	26	25	24
2012	2031	2050	23	22	23	21	21	19	19	17	16	15	14	13
2013	2032	2051	11	10	11	10	10	8	8	6	5	4	3	3
2014	2033	2052	1, 31	—	1, 31	29	29	27	27	25	24	23	22	22
2015	2034	2053	20	19	20	18	18	16	16	14	13	12	11	11
2016	2035	2054	10	8	9	7	7	5	5	3	2	1, 31	29	29
2017	2036	2055	28	26	28	26	26	24	23	22	21	20	19	18
2018	2037	2056	17	15	17	16	15	13	13	11	10	9	8	7
2019	2038	2057	6	4	6	5	4	3	2	1, 31	29	28	27	26

7. ЗАТМЕНИЯ СОЛНЦА, КОТОРЫЕ МОЖНО БУДЕТ НАБЛЮДАТЬ В УКРАИНЕ (2011—2061 гг.)

Дата	Время макс.	Фаза Киев	Вид	Место полной фазы	1 Дата	Время макс.	Фаза Киев	Вид	Место полной фазы
04.01.2011	10-49	0.81	Ч.	—	21.06.2039	21-22	0.92	К.	Европа
20.03.2015	12-07	0.62	П.	Арктика	11.06.2048	17-00	0.90	К.	Европа
21.06.2020	8-51	0.04	К.	Азия	14.11.2050	16-20	0.70	Ч.	—
10.06.2021	14-14	0.13	К.	Арктика	12.09.2053	11-45	0.40	П.	Азия
25.10.2022	12-35	0.62	Ч.	*	05.11.2059	9-58	0.50	К.	Африка
29.03.2025	14-38	0.01	Ч.	—	30.04.2060	13-49	0.57	П.	Азия
12.08.2026	21-03	0.86	П.	Азия	20.04.2061	5-35	0.97	П	Одесса, Крым
02.08.2027	12-33	0.37	П	Африка	06.07.2187	10-44	0.98	П	Харьков, Черкассы

П — полное затмение, К — кольцевидное затемнение, Ч — частичное затмение. Время максимальной фазы затмения приводится по киевскому времени.

8. ЗАТМЕНИЯ ЛУНЫ, КОТОРЫЕ МОЖНО БУДЕТ УВИДЕТЬ В УКРАИНЕ (2011—2062 гг.)

Дата	Время	Фаза	Дата	Время	Фаза	Дата	Время	Фаза
15.06.11	23-13	полное	19.08.35	4-08	0.10	12.02.55	0-42	полное
10.12.11	16-30	полное	12.02.36	00-13	полное	17.06.57	5.25	0.76
25.04.13	23-09	0,01	07.08.36	5-50	полное	11.12.57	2-52	0.92
28.09.15	5-46	полное	06.06.39	21-54	0.84	06.06.58	22-12	полное
07.08.17	21-19	0,25	30.11.39	18-55	0.94	30.11.58	5-14	полное
27.07.18	23-22	полное	18.11.40	21-02	полное	05.04.61	0-54	полное
21.01.19	7-10	полное	16.05.41	3-42	0.05	25.03.62	5-34	полное
17.07.19	00-31	0,65	08.11.41	6-30	0.17	18.09.62	21-29	полное

9. САМЫЕ ЯРКИЕ ЗВЕЗДЫ

№ п/п	Название	Созвездия	m	Расстояние *ПК*	Светность $L=E/E_{\odot}$	Температура *K*	Радиус $R/R_{\odot}$
1	Сириус	α Болып. Пес	-1,46	2,7	22	11000	1,3
2	Канопус	α Киль	-0,75	55,0	20000	7500	85,0
3	Арктур	α Волопас	-0,05	И Д	113	5000	14,0
4	Ригель	α Кентавр	-0,01	1,3	1,4	5800	1,2
5	Вега	α Лира	+0,03	8,1	55	11000	2,0
6	Капелла	α Возничий	+0,08	13,7	151	5600	13,0
7	Ригель	β Орион	+0,13	250,0	50000	12000	52,0
8	Процион	α Мал. Пес	+0,37	3,5	7,6	7000	2,0
9	Бетельгейзе	α Орион	+0,47	150,0	13000	3000	426,0
10	Ахернар	α Эридан	+0,51	40,0	870	15000	4,0
11	Гадар	β Кентавр	+0,63	150,0	10000	20000	8,0
12	Альтаир	α Орел	+0,76	5,1	11,3	9000	1,4
13	Альдебаран	α Телец	+0,86	20,0	160	4500	21,0
14	Антарес	α Скорпион	+0,91	130,0	6300	3000	300,0
15	Спика	α Дева	+0,91	80,0	2400	25000	2,6
16	Поллукс	β Близнецы	+1,14	11,0	37	5000	4,5
17	Фомальгаут	α Южн. Рыба	+1,19	. 7,7	17	10000	1,4
18	Денеб	α Лебедь	+1,25	500,0	70000	10000	90,0
19	Регул	α Лев	+1,35	27,0	200	13000	2,8
20	Кастор	α Близнецы	+1,58	16,0	50	11000	2

10. АСТРОБЛЕМЫ

Древние геологические структуры, связанные с падением крупных метеоритов

Название	Адрес	Диам., км	Возраст
Садбери *(Sudbury)*	Канада, Онтарио	200	1,8 млрд л.
Вредефорт *(Vredefort Ring)*	Юж. Африка	200	2 млрд л.
Попигайская	Сев. Сибирь, Россия	100	
Бовтышская	с. Бовтышка, Черкасская обл.	31	65 ± 1,2 млн л.
Оболонская	с. Оболонь, Семеновский р-н, Полт. обл.	20	169 ± 7 млн л.
Терновская	с. Веселые Терны, Кировоградская обл.	15	280 ± 10 млн л.
Иллинецкая	м. Иллинци, Винницкая обл.	6,5	400 ± 30 млн л.
Билыливская	с. Билыливка, Житомирская обл.	5,5	165 ± 6 млн л.
Ротмистровская	с. Ротмистровка, Черкасская обл.	2,2	130 ± 10 млн л.
Зеленогайская	с. Зеленый, Кировоградская обл.	0,8	60 млн л.
Зеленогайская	с. Зеленый, Кировоградская обл.	0,7	60 млн л.

11. АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ОБСЕРВАТОРИИ УКРАИНЫ И МИРА

Название	Город	Страна	Год основания
Главная астрономическая обсерватория НАНУ http://www.mao.kiev.ua	Киев	Украина	1944
Киевская астрономическая обсерватория http://www.observ.univ.kiev.ua	Киев	Украина	1845
Крымская астрофизическая обсерватория http://www. crao.crimea.ua	Научный	Украина	1908
Львовская астрономическая обсерватория http://astro.franko.lviv.ua	Львов	Украина	1769
Николаевская астрономическая обсерватория http://www.mao.nikolaev.ua	Николаев	Украина	1821
Одесская астрономическая обсерватория http://www.astro-observatory.odessa.ua	Одесса	Украина	1871
Полтавская гравиметрическая обсерватория pgo@poltava.ukrtel.net	Полтава	Украина	1926
Ужгородская лаборатория космических исследований http://www.univ.uzhgorod.ua	Ужгород	Украина	1957
Харьковская астрономическая обсерватория. С 2002 г. Институт астрономии http://astron.kharkov.ua	Харьков	Украина	1806
Харьковский институт радиоастрономии http://www.nbuv.gov.ua/institutions/rai	Харьков	Украина	1985

Окончание таблицы

Парижская астрономическая обсерватория http://www.obspm.fr	Париж	Франция	1671
Гринвичская астрономическая обсерватория http://www.nmm.ac.uk	Лондон	Англия	1675
Вильнюсская астрономическая обсерватория http://www.astro.ff.vu.lt	Вильнюс	Литва	1753
Краковская астрономическая обсерватория http://www.oa.uj .edu.pl	Краков	Польша	1795
Пулковская астрономическая обсерватория http://www.gao.spb.ru	С.-Петербург	Россия	1839
Ондржейовская астрономическая обсерватория http: / / www. expats. cz /ondreio vobservatory	Прага	Чехия	1898
Маунт-Вильсон обсерватория http://www.mtwilson.edu	Калифорния	США	1904
Астрофизическая обсерватория в Виктории http://www.nrc-cnrc.gc.ca	Бр. Колумбия	Канада	1910
Абастуманская астрономическая обсерватория http://www.genao.org	Абастумани	Грузия	1932
Бюроканская астрономическая обсерватория http: //www. aras. am/bao. html	Бюрокан	Армения	1946
Специальная астрофизическая обсерватория http://www.sao.ru	Сев. Кавказ	Россия	1966
Астрономическая обсерватория Мауна-Кеа http://www.ifa.hawaii.edu/mko	Гавайи	США	1970
Американская астрономическая обсерватория http: / /www. lco. cl	Лас-Кампанес	Чили	1976
Европейская астрономическая обсерватория http: / /www. eso. org	Ла-Силла	Чили	1976
Шемахинская астрономическая обсерватория http://www.shao.az	Шемаха	Азербайджан	1960
Научный институт космического телескопа Хаббла http://www.stsci.edu/hst/		США	2010

12. ХРОНОЛОГИЯ КОСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ

15 000000000 г. до н. э. зарождение Вселенной — Большой Взрыв.
5000000000 г. до н. э. зарождение Солнечной системы
4 500000000 г. до н. э. образование Земли.
3 500000000 г. до н. э. начало архейской эры в шкале геологического летоисчисления.
1900000000 г. до н. э. на Земле появились первые водоросли.
500000000 г. до н. э. начало палеозойской эры — появились первые споровые растения.
400000000 г. до н. э. на Земле возникли первые рыбы.
230000000 г. до н. э. начало мезозойской эры — появились хвойные растения.
200000000 г. до н. э. начало юрского периода — возникли первые пресмыкающиеся и птицы.

67000000 г. до н. э. начало кайнозойской эры — появились цветковые растения и млекопитающие.

65000000 г. до н. э. катастрофическое столкновение Земли с астероидом, когда погибли динозавры.

4000000 г. до н. э. появились австралопитеки — человекообразные обезьяны, предки человека.

2000000 г. до н. э. начало антропогенного периода — возникли умные люди.

200000 г. до н. э. появились неандертальцы — подвид человека разумного.

40000 г. до н. э. появились кроманьонцы — возможные предки европеоидной расы.

5509 г. до н. э. 1 сентября начало эры летоисчисления от «сотворения мира» по календарю Византии.

5508 г. до н. э. 1 марта начало летоисчисления от «сотворения мира» по календарю Руси.

4713 г. до н. э. 1 сентября начало отсчета летоисчисления юлианского периода.

4200 г. до н. э. в Египте создан солнечный календарь, основанный на тропическом году.

3761 г. до н. э. 7 октября начало летоисчисления от «сотворения мира» по еврейскому календарю.

2100 г. до н. э. первые упоминания о метеоритах в древнеегипетском папирусе.

2000 г. до н. э. построен Стоунхендж — древняя астрономическая обсерватория в Англии.

600 г. до н. э. в Вавилоне создали солнечные часы.

555 г. до н. э. Пифагор впервые определил параметры земного шара и ввел слово *космос* для обозначения Вселенной.

433 г. до н. э. Метон вычислил цикл для отсчета тропического года и синодического месяца.

350 г. до н. э. Эвдокс впервые создал карту звездного неба, на которой есть эклиптика и зодиак.

330 г. до н. э. Аристотель сформулировал строение геоцентрической системы мира.

250 г. до н. э. Архимед создал астрариум — часы, которые воспроизводят видимое на небе движение Солнца и планет.

240 г. до н. э. Эратосфен впервые измерил дугу меридиана для определения радиуса Земли.

222 г. до н. э. Аристарх Самосский выдвинул идею о гелиоцентрической системе мира.

125 г. до н. э. Гиппарх составил каталог звезд и обозначил их яркость звездными величинами.

46 г. до н. э. римский император Юлий Цезарь ввел календарь, который в его честь назвали юлианским.

140 г. н. э. К. Птолемей написал книгу «Большое математическое построение астрономии» (Мегисте).

525 г. Дионисий Малый ввел летоисчисление от воплощения (рождения) Иисуса Христа.

622 г. 16 июля начало исламской эры летоисчисления — эра Гиджра.

988 г. князь Владимир ввел на Руси юлианский календарь.

1054 г. вспышка Сверхновой в созвездии Тельца, о которой есть упоминание в летописях Руси.

1091 г. первые упоминания о полете болида в летописях Руси.

1330 г. Уильям Оккам сформулировал принцип, известный как «Бритва Оккама».

1483 г. напечатана первая книга по астрономии украинского автора Юрия Дрогобыча (Котермака).
1543 г. Николай Коперник сформулировал принципы гелиоцентрической системы мира.
1546 г. Тихо Браге доказал, что кометы располагаются дальше, чем Луна.
1582 г. введен Григорианский календарь (новый стиль) в некоторых странах Европы.
1600 г. Джордано Бруно был сожжен на костре инквизиции за идею жизни в космосе.
1609 г. Галилео Галилей провел первые, наблюдения Луны и планет с помощью телескопа.
1609 г. Иоганн Кеплер сформулировал законы движения планет — 1-й и 2-й законы Кеплера.
1644 г. Рене Декарт выдвинул первую гипотезу об образовании Солнечной системы.
1647 г. Ян Гевелий составил первую подробную карту Луны.
1659 г. открыто кольцо Сатурна.
1676 г. Рене Ремер с помощью спутников Юпитера впервые определил скорость света.
1687 г. Исаак Ньютон сформулировал закон всемирного тяготения.
1728 г. Джеймс Брадлей определил скорость света с помощью аберрации света от звезд.
1740 г. Эдмонд Галлей предсказал возвращение в 1758 г. кометы, которую позже назвали в его честь.
1761 г. Михаил Ломоносов (Россия) открыл атмосферу Венеры во время ее прохождения по диску Солнца.
1766 г. Иоганн Тициус открыл закон планетных расстояний, который назвали правилом Боде-Тициуса.
1772 г. Петр Паллас в Сибири нашел метеорит весом около 500 кг.
1781 г. Уильям Гершель открыл Уран.
1782 г. Джон Гудрайк выдвинул предположение, что звезда Ачголь (β Пресея) является двойной звездной системой.
1783 г. Уильям Гершель открыл движение Солнца в направлении созвездия Геркулес.
1801 г. Джузеппе Пиацци открыл первый астероид — Цереру.
1814 г. Йозеф Фраунгофер обнаружил многочисленные линии поглощения в спектре Солнца.
1826 г. Генрих Ольберс сформулировал фотометрический парадокс — парадокс Ольберса.
1839 г. Василий Струве в Пулковской обсерватории (Россия) одним из первых измерил параллакс Беги (α Лиры)
1842 г. Христиан Допплер доказал существование эффекта изменения длины волны в акустике и оптике.
1846 г. Иоганн Галле открыл планету Нептун на основе вычислений Адамса и Леверье.
1848 г. Уильям Томсон (лорд Кельвин) ввел абсолютную шкалу температур.
1851 г. Жан Фуко при помощи маятника доказал вращение Земли вокруг оси.
1852 г. Рудольф Вольф ввел индекс солнечной активности, который называют числом Вольфа.
1859 г. Норман Погсон ввел коэффициент для определения звездных величин — формулу Погсона.

1860 г. Джеймс Максвелл создал теорию электромагнитного поля.
1864 г. Эдуард Рош доказал наличие нижнего предела для орбиты естественного спутника планеты — предел Роша.
1865 г. Г. Рихтер выдвинул гипотезу о занесении на Землю жизни из космоса — панспермия.
1865 г. Рудольф Клаузиус сформулировал парадокс «тепловой смерти Вселенной».
1871 г. Джон Рэлей опубликовал труд о поляризации света и объяснил голубой цвет неба.
1877 г. Асаф Холл открыл Фобос и Демос — спутники Марса.
1881 г. Джованни Скиапарелли открыл на Марсе «каналы».
1884 г. Гринвичский меридиан по международному соглашению принято за начальный.
1900 г. Макс Планк открыл энергию кванта и закон излучения черного тела.
1902 г. Константин Циолковский (Россия) вывел формулу для определения скорости ракеты.
1908 г. упал Тунгусский метеорит (Сибирь, Россия).
1913 г. Генри Рессел построил диаграмму спектр-светимость звезд.
1917 г. Альберт Эйнштейн согласно общей теории относительности построил статическую модель Вселенной.
1919 г. Гуго Зелигер сформулировал гравитационный парадокс бесконечной Вселенной.
1919 г. создан международный астрономический союз-МАС.
1922 г. Александр Фридман (РСФСР) построил нестатическую модель Вселенной.
1925 г. введено Всемирное время для вычисления астрономических эфемерид.
1925 г. Джордж Хейл открыл 22-летнюю периодичность активности Солнца.
1929 г. Юрий Кондратюк (СССР) опубликовал книгу «Завоевание межпланетных пространств».
1929 г. Эдвин Хаббл открыл разбегание галактик.
1930 г. Клайд Томбо открыл Плутон.
1931 г. Карл Янский открыл радиоизлучение Млечного Пути.
1932 г. Лев Ландау (СССР) теоретически доказал возможность существования нейтронных звезд.
1934 г. Франк Дайсон предложил для энергосбережения создать сферу вокруг Солнца.
1946 г. Джордж Гамов предложил горячую модель Вселенной.
1950 г. в Париже основана Международная федерация астронавтики.
1950 г. Ян Оорт выдвинул гипотезу о существовании «облака комет» за орбитой Плутона.
1957 г. начало космической эры: в СССР создан первый в мире искусственный спутник Земли.
1958 г. создано НАСА (национальное космическое агентство) (США).
1958 г. Ван Аллен обнаружил радиационные пояса вокруг Земли.
1959 г. АМС «Луна-1» (СССР) стала первой искусственной планетой Солнечной системы.
1959 г. АМС «Луна-3» (СССР) впервые в мире сфотографировала обратную сторону Луны.
1961 г. Юрий Гагарин (СССР) впервые в мире облетел Землю на космическом корабле «Восток».
1963 г. создана СЕТИ (SETI) — организация для поисков жизни во Вселенной.

1963 г. открыты квазары — внегалактические источники радиоизлучения.
1965 г. Арно Пензиас и Роберт Уилсон открыли реликтовое излучение.
1966 г. АМС «Луна-9» (СССР) осуществила первую в мире мягкую посадку на поверхность Луны.
1967 г. АМС «Венера-4» (СССР) достигла атмосферы Венеры.
1967 г. Открыты пульсары (нейтронные звезды).
1969 г. на Луну совершил посадку пилотируемый космический корабль «Аполлон-1» (США).
1969 г. в Австралии упал метеорит Марчесон, в котором нашли остатки ДНК.
1970 г. АМС «Луна-16» (СССР) в автоматическом режиме доставила на Землю грунт с Луны.
1970 г. АМС «Венера-7» (СССР) сделала мягкую посадку на поверхность Венеры.
1972 г. старт АМС «Пионер-10» (США) — первый полет за пределы Солнечной системы.
1972 г. введено международное атомное время — TAI.
1974 г. Первая попытка отослать сообщение инопланетянам радиотелескопом Аресибо (США).
1975 г. АМС «Венера-9, 10» (СССР) получили телевизионное изображение поверхности Венеры.
1975 г. создано Европейское космическое агентство — ESA.
1976 г. АМС «Викинг-1, 2» (США) передали телевизионные изображения поверхности Марса.
1976 г. Андрей Северный (СССР) открыл колебания солнечной фотосферы с периодом 160 мин.
1977 г. старт аппаратов «Вояжер» (США), которые полетят к звездам с посланием к инопланетянам.
1977 г. Открыто кольцо Урана во время затмения планетой слабой звезды.
1981 г. в США смонтирован радиоинтерферометр «Очень большая антенна» из 27 антенн диаметром 25 м.
1984 г. открыто кольцо Нептуна при покрытии планетой слабых звезд.
1985 г. в Харькове создан радиоастрономический институт (РИ НАНУ).
1986 г. АМС «Вега-1, 2» (СССР) впервые было получено изображение ядра кометы Галлея.
1987 г. вспышка Сверхновой в соседней галактике «Магелланово Облако», которую было видно невооруженным глазом.
1991 г. основана Украинская астрономическая ассоциация.
1992 г. создано Национальное космическое агентство Украины.
1993 г. создан УРАН — украинский радиоинтерферометр НАНУ.
1993 г. создан Союз научных обществ России — СНТР.
1993 г. смонтирован крупнейший в мире телескоп-дефлектор с диаметром зеркала 10 м (Гавайи, США).
1994 г. падение на Юпитер кометы Шумейкера-Леви.
1995 г. выведен на орбиту первый украинский искусственный спутник Земли «Сич».
2012 г. АМС «Вояджер-1» пролетит гелиопаузу — предел межзвездной и солнечной плазмы.
13333 г. Северный полюс мира вследствие прецессии будет находиться вблизи звезды Вега в созвездии Лира.

Ответы к письменным упражнениям и указания к решению

1.11. 500 с; 4 ч 10 мин; 1,5 года.

3.11. $h = \operatorname{arctg}(H/L)$, где H — высота палочки; L — длина тени.

3.12. Во Львове, потому что Львов находится на западе Украины.

4.11. *Указание.* Используя третий закон Кеплера, определяем большую полуось орбиты астероида: a = 2,8 а. е. Астероид может столкнуться с планетой, так как в перигелии он приближается к Солнцу r_{min} = 0,8 а. е. и пересекает орбиту Земли.

4.12. Такая комета может существовать, так как ее период обращения вокруг Солнца и большая полуось орбиты соответствуют третьему закону Кеплера.

4.13. $P = mg$; $g = GM/R^2$; $R = GmM/R^2$; где m — масса космонавта; M — масса планеты; R — радиус планеты; G — гравитационная постоянная.

5.8. 7746 м/с.

5.9. Из формулы (5.3) а $\approx$ 5000 км $< R_{\oplus}$, поэтому такой спутник существовать не может.

6.9. 4,8 млрд км $\approx$ 32 а. е. *Указание.* Необходимо вычислить, с какого расстояния угловой диаметр Солнца будет меньше 1': $\alpha = \arcsin(D/r)$, где D — линейный диаметр Солнца; r — расстояние до Солнца.

6.10. Можно увидеть, так как угловой диаметр крупных кратеров больше Г.

8.12. На Меркурии $P \approx 0{,}38P_{\oplus}$, на Марсе $P \approx 0{,}37P_{\oplus}$; на Венере $P \approx 0{,}9P_{\oplus}$

8.13. 0,52 а. е.; 2,52 а. е.

9.9. $\approx$ 4,2 а. е.; $\approx$ 6,2 а. е.

10.10. *Указание.* $P = mg$, где g — ускорение свободного падения, которое можно определить при помощи закона всемирного тяготения: $g = (4/3)\pi GR\rho$, где G — гравитационная постоянная; R, ρ — соответственно радиус и плотность спутника.

10.11. На поверхности Ио $P \approx 0{,}18P_{\oplus}$

11.13. $P \approx 0{,}0008P_{\oplus}$

12.11. *Указание.* Если крыша черного цвета и ее поверхность расположена параллельно горизонту, то $Q = qS\cos i$, где q — солнечная постоянная; i — угол падения солнечных лучей; S — площадь крыши; t — время.

13.11. r = 8,33 пк = 27,1 св. л

14.12. $1{,}9 \cdot 10^9$ г/см^3.

14.13. $2{,}2 \cdot 10^{-8}$ г/см^3.

15.10. 8600 км/с. *Указание.* Используйте закон Хаббла, для этого расстояние необходимо выразить в парсеках.

16.10. 326000000 лет.

16.11. 21000 км/с.

17.10. $\approx$ 16000000 лет.

Предметный указатель

Абсолютная звездная величина 104
Антропный принцип 132
Апогей 41
Астероид 9, 86
Астроблемы 89
Астрология 11
Астрометрия 11
Астрономическая единица 9, 10, 33
Астрономия 5, 13
Астрофизика 11, 46
Атмосфера Солнца 98
Афелий 32

Болид 89
Большой Взрыв 126

В
Венера 9, 67
Верхняя кульминация 17
Видимая звездная величина 49
Високосный год 27
Возмущение 36
Воображаемая небесная сфера 15
Время 22
— всемирное 22, 23
— киевское 23
— местное 23
— поясное 22, 23
Вселенная 5, 10, 123
Всемирного тяготения закон 7, 35

Галактики 9, 118, 121
— Великая стена 122
— галактический год 120
— разлетание галактик 123
— спиральные рукава 120
— типы галактик 121
Галлилеевы спутники 81
Гелиоцентрическая система мира 7
Географический полюс 15
Геостационарный спутник 41
Геоцентрическая система мира 6
Главная последовательность звезд 107, 108
Горизонт 16
Граница Роша 82
Гринвич 15

Д
Диаграмма Герцшпрунга—Рессела (спектр-светимость) 107

Затмение Луны 59
Затмение Солнца 59
Звездная величина 103
Звездное время 21
Звезды 5, 102
— белый карлик 107
— красный гигант 107
— красный карлик 107
— красный сверхгигант 108
— нейтронная 114
— Новая 112
— переменная 111
— протозвезда 110
— Сверхновая 112
— цефеида 115
Звездные ассоциации 118
Звездные скопления 118
Земля 9, 57
— атмосфера 57
— магнитное поле 58
— строение 58
Земной экватор 15
Зенит 16
Зодиак 23

И
Искусственный спутник Земли 8, 41

К
Календарь 28
— григорианский 28
— юлианский 27, 28
Квазары 10, 127
Кеплера законы 32, 33, 34
Кольца планет 82, 83
Комета 9, 91
Контакты между цивилизациями 135
Конфигурации планет 30
Корпускулярное излучение 100
Космические скорости 111
Космологические парадоксы 123
Космология 11, 126
Космонавтика 8, 39
Космос 5
Круг склонения 18
Кульминация 17

Л
Линия изменения дат 23
Луна 59
— фазы 59, 60
— физические условия 60, 61
— узлы лунной орбиты 60

М
Магнитная буря 100
Марс 9, 69
Меркурий 65
Метеор 89
Метеорит 89
Метеорная частица 89
Млечный Путь 10, 118
Модели Вселенной 123

Н

Надир 16
Небесная механика 11, 12
Небесная сфера 14
Небесные координаты 18
Небесный меридиан 16
Небесный экватор 15
Нептун 9, 78
Нижнее соединение 31

О

Облако Оорта 92
Отвесная линия 16
Открытая система 132

П

Параллакс годичный 102
Параллакс горизонтальный 37
Парниковый эффект 57
Парсек 103
Перигей 41
Перигелий 32
Период обращения планет
— сидерический 31
— синодический 31
Планетарная туманность 9, 93
Планеты 6, 56
— гиганты 56, 74
— земной группы 56, 65
— карлики 9, 86, 93
Плутон 93
Полюс мира 15
Пояс астероидов 87, 93
Пояс Койпера 87, 94
Пояса радиации 57
Прецессия 6, 25
Приливные силы 83
Противостояние 30, 31
Протуберанцы 100
Прямое восхождение 18
Пульсар 114, 134
Пятно солнечное 99

Радиус звезды 106, 107
Радиус небесной сферы 114
Разлетание галактик 123
Разрешающая способность глаза 48
Реголит 62
Реликтовое излучение 128

Сарос 60
Сатурн 9, 76
Светимость
— звезды 104, 105
— Солнца 96
Световой год 9, 10
Северный полярный ряд 104
Сингулярность 127
Синергетика 133
Склонение 18
Скорость
— круговая 40
— первая космическая 40
— вторая космическая 42
— третья космическая 42
Соединение 31
Созвездие 6, 14
Солнечная постоянная 26
Солнечное время 21
Солнечный ветер 98
Солнце 96
— активность 99
— строение 97, 98
— физические характеристики 96
Солнцестояние 26
Спектр 8
Спектральные классы 105
Спектральные наблюдения 105
Спутники планет 9, 80—84
Стегшнь риска 88

Т

Телескоп 49
— радиоинтерферометр 51
— радиотелескоп 51
— рефлектор 49, 50
— рефрактор 49, 50
Темная материя 130
Темная энергия 130
Теория относительности 8, 126
Теория эволюции Вселенной 8, 127
Точка весеннего равноденствия 18, 25
Тропический год 27
Тропосфера 57

У

Увеличение телескопа 50
Уран 9, 77

Ф

Фотоумножитель 51
Фраунгоферовы линии 8

Х

Хаббла закон 123
Хаббла постоянная 123
Хромосфера 98
Хромосферная вспышка 100

Ц

Церера 86, 94

Черная дыра 114
Черное тело 47, 105
Чувствительность глаза 49

Ш

Шаровые скопления 120
Широта географическая 14

Э

Эклиптика 24
Экологическая катастрофа 58
Электронно-оптический преобразователь 51
Элонгация 31

Ю

Юпитер 9, 75

Я

Ядро галактики 119
Ядро кометы 92

Содержание

Предисловие 3

§1. Что изучает астрономия?

1 Предмет астрономии. 5
2 Краткая история астрономии . 6
3 Наш космический адрес . . . 9
4 Основные разделы астрономии 11

§2. Основы практической астрономии

1 Небесная сфера 14
2 Точки и линии небесной сферы 15
3 Ориентирование на местности 16
4 Экваториальная система небесных координат и карты звездного неба 18

§3. Измерение времени и календарь

1 Измерение времени 21
2 Солнечное время и зодиак. . . 23
3 Смена времен года на Земле. . 25
4 Календари 27

§4. Законы движения планет

1 Конфигурации планет 30
2 Сидерический и синодический периоды обращения планет. . 31
3 Законы Кеплера 32
4 Закон всемирного тяготения.. 35
5 Определение расстояний до планет 36

§5. Основы космонавтики

1 Зарождение космонавтики. . . 39
2 Круговая скорость 40
3 Движение космических аппаратов по эллиптическим орбитам 41
4 Период обращения космического аппарата 41
5 Вторая и третья космические скорости 42
6 Практическое применение космонавтики 43

§6. Методы астрофизических исследований

1 Что изучает астрофизика?... 46
2 Черное тело 47
3 Астрономические наблюдения невооруженным глазом 48
4 Телескопы 49
5 Электронные приборы 51
6 Радиотелескопы 51
7 Изучение Вселенной с помощью космических аппаратов.. 53

§7. Земля и Луна

1 Планеты земной группы и планеты-гиганты 56
2 Земля 57
3 Экологическая система Земли 58
4 Луна 59
5 Физические условия на Луне 60
6 Исследования Луны с помощью космических аппаратов 62

§8. Планеты земной группы

1 Планеты земной группы 65
2 Меркурий.. 65
3 Венера 67
4 Марс 69

§ 9. Планеты-гиганты

1 Общая характеристика планет-гигантов . . . 74
2 Юпитер . . . 75
3 Сатурн . . . 76
4 Уран . . . 77
5 Нептун . . . 78

§ 10. Спутники планет

1 Спутники Марса . . . 80
2 Спутники Юпитера . . . 81
3 «Семья» Сатурна . . . 82
4 Кольца Сатурна . . . 82
5 Спутники Урана . . . 83
6 Спутники Нептуна . . . 84

§ 11. Малые тела Солнечной системы

1 Астероиды . . . 86
2 Тайны астероидов . . . 87
3 Опасные астероиды . . . 88
4 Метеоры и метеориты . . . 89
5 Загадка Тунгусского метеорита . . . 90
6 Кометы . . . 91
7 Планеты-карлики . . . 93

§ 12. Солнце — наша звезда

1 Физические характеристики Солнца . . . 96
2 Строение Солнца . . . 97
3 Солнечная активность . . . 99
4 Влияние солнечной активности на Землю . . . 100

§ 13. Физические характеристики звезд

1 Измерение расстояний до звезд . . . 102
2 Видимые звездные величины . . . 103
3 Абсолютные звездные величины и светимость звезды . . . 104
4 Цвет и температура звезд . . . 105
5 Радиусы звезд . . . 106
6 Диаграмма спектр-светимость . . . 107

§ 14. Эволюция звезд

1 Зарождение звезд . . . 110
2 Звезда в состоянии гравитационного равновесия . . . 111
3 Переменные звезды . . . 111
4 Новые и Сверхновые звезды . . . 112
5 Пульсары и нейтронные звезды . . . 114
6 Черные дыры . . . 114
7 Эволюция Солнца . . . 115

§ 15. Строение вселенной

1 Строение Галактики . . . 118
2 Центр Галактики . . . 119
3 Обращения звезд в Галактике . . . 120
4 Ближайшие соседи Галактики . . . 121
5 Распределение галактик во Вселенной . . . 121
6 Закон Хаббла . . . 123
7 Модели Вселенной . . . 123

§ 16. Эволюция Вселенной

1 Большой Взрыв и возраст Вселенной . . . 126
2 Главные эры в истории Вселенной . . . 126
3 Реликтовое фоновое излучение . . . 128
4 Будущее Вселенной . . . 129

§ 17. Жизнь во Вселенной

1 Антропный принцип . . . 132
2 Жизнь как открытая система . . . 133
3 Проблемы контактов с внеземными цивилизациями . . . 134
4 Возможные последствия контактов с чужими цивилизациями . . . 135
5 Прогнозы эволюции земной цивилизации . . . 136

Примеры решения задач по астрономии . . . 138

Лабораторные работы . . . 141

Приложения . . . 145

Ответы к письменным упражнениям и указания к решению . . . 155

Предметный указатель . . . 156

ЭЛЕМЕНТЫ ОРБИТ ПЛАНЕТ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Планета	a (а. е.)	$a \cdot 10^6$, км	T_*, лет	T_c, сут.	V, км/с	e	$i°$	Количество спутников
Меркурий	0,39	57,9	0,24	115,88	47,87	0,201	7	—
Венера	0,72	108,2	0,62	583,92	35,02	0,007	3,4	—
Земля	1,00	149,6	1,00	—	29,79	0,017	—	1
Марс	1,52	227,9	1,88	779,94	24,13	0,093	1,8	2
Юпитер	5,20	778,3	11,86	398,88	13,06	0,048	1,3	63
Сатурн	9,54	1427,0	29,46	378,09	9,65	0,056	2,9	60
Уран	19,18	2869,6	84,01	369,66	6,80	0,047	0,8	27
Нептун	30,06	4496,7	164,79	367,48	5,43	0,009	1,8	13
Планеты-карлики								
Церера	2,77	414,4	4,61	466,4	18,03	0,077	10,6	—
Плутон	39,52	5912,0	247,70	366,72	4,7	0,253	17,1	3
Эрида	67,67	101234	557	366	3,4	0,44	44,2	1

a — большая полуось орбиты;
T_* — сидерический период обращения планеты;
T_c — синодический период обращения планеты;
V — орбитальная скорость;
e — эксцентриситет орбиты;
i — наклон плоскости орбиты к эклиптике.

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАНЕТ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Планета	Масса $M_\oplus$	Радиус		ρ г/см^3	Звездные сутки	$\varepsilon°$	Температура поверхности t, °C	
		км	$R_\oplus$				min	max
Меркурий	0,06	2439	0,38	5,4	$58{,}65^d$	3	–170	+430
Венера	0,82	6052	0,95	5,2	$243{,}16^d$	177	+480	+480
Земля	1,00	6378	1,00	5,5	23^h56^m	23,5	–88	+60
Марс	0,11	3393	0,53	3,0	24^h37^m	25,2	–130	+20
Юпитер	317,89	71 398	11,2	1,3	9^h50^m	3,08	–120	
Сатурн	95,17	60 000	9,41	0,7	10^h14^m	26,1	–175	
Уран	14,6	26 200	4,11	1,2	10^h49^m	97,9	–215	
Нептун	17,2	24 300	3,81	1,6	19^h	28,8	–213	
Планеты-карлики								
Церера	0,0005	480	0,08	3,1	9^h	4	–140	+11
Плутон	0,002	1125	0,18	2,1	$6{,}38^d$	119	–240	–218
Эрида	0,002	1200	0,19	2,0	26^h		–250	–240

m — масса планеты в единицах массы Земли;
ρ — плотность в г/см^3;
$\varepsilon°$ — угол наклона экватора к эклиптике;
t — температура планет-гигантов в облаках.