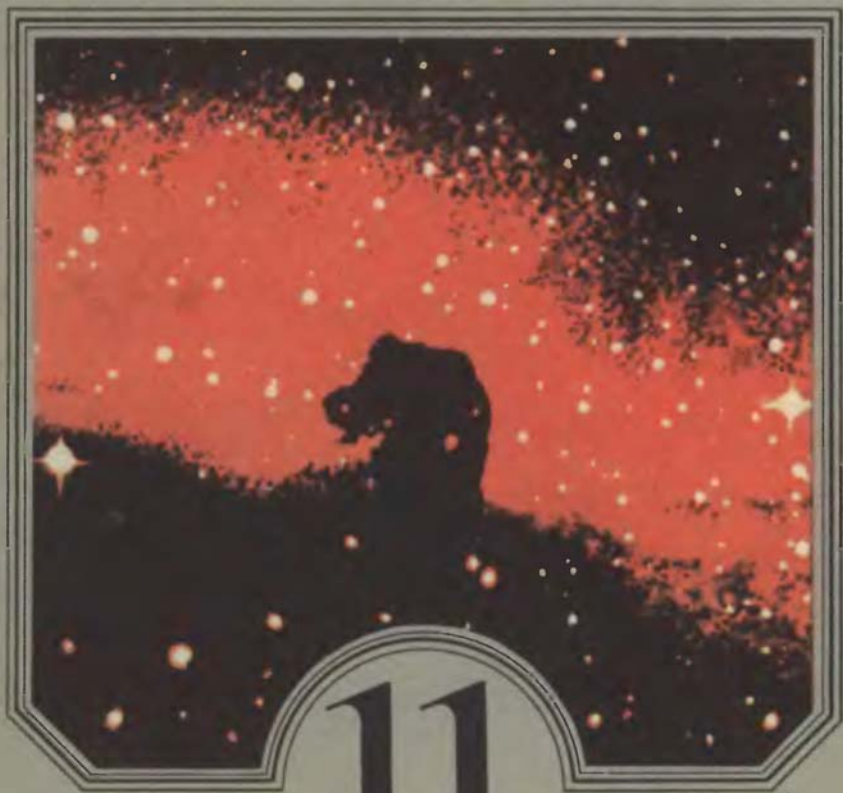




Б. А. Воронцов – Вельяминов

# АСТРОНОМИЯ



11

**Б. А. Воронцов-Вельяминов**

# АСТРОНОМИЯ

УЧЕБНИК ДЛЯ 11 КЛАССА  
СРЕДНЕЙ ШКОЛЫ

*Утверждено  
Министерством просвещения СССР*

18-е ИЗДАНИЕ

МОСКВА «ПРОСВЕЩЕНИЕ» 1989

ББК 22.6я72  
В75

В75 **Воронцов-Вельяминов Б. А.**  
Астрономия: Учеб. для 11 кл. сред. шк. – 18-е изд. –  
М.: Просвещение, 1989. – 159 с., 1 л. карт.; ил.  
ISBN 5-09-001501-5  
В  $\frac{4306021200-104}{103(03)-89}$  инф. письмо-89 ББК 22.6я72

ISBN 5-09-001501-5

© Издательство «Просвещение», 1987

# І. ВВЕДЕНИЕ

## І. ПРЕДМЕТ АСТРОНОМИИ

**1. Что изучает астрономия. Связь астрономии с другими науками, ее значение.** *Астрономия*<sup>1</sup> — наука, изучающая движение, строение, происхождение и развитие небесных тел и их систем. Накопленные ею знания применяются для практических нужд человечества.

Астрономия является одной из древнейших наук, она возникла на основе практических потребностей человека и развивалась вместе с ними. Элементарные астрономические сведения были известны уже тысячи лет назад в Вавилоне, Египте, Китае и применялись народами этих стран для измерения времени и ориентировки по сторонам горизонта.

И в наше время астрономия используется для определения точного времени и географических координат (в навигации, авиации, космонавтике, геодезии, картографии). Астрономия помогает исследованию и освоению космического пространства, развитию космонавтики и изучению нашей планеты из космоса. Но этим далеко не исчерпываются решаемые ею задачи.

Наша Земля является частью Вселенной. Луна и Солнце вызывают на ней приливы и отливы. Солнечное излучение и его изменения влияют на процессы в земной атмосфере и на жизнедеятельность организмов. Механизмы влияния различных космических тел на Землю также изучает астрономия.

Курс астрономии завершает физико-математическое и естественнонаучное образование, получаемое вами в школе.

Современная астрономия тесно связана с математикой и физикой, с биологией и химией, с географией, геологией и космонавтикой. Используя достижения других наук, она в свою очередь обогащает их, стимулирует их развитие, выдвигая перед ними все новые задачи.

Изучая астрономию, необходимо обращать внимание на то, какие сведения являются достоверными фактами, а какие — научными предположениями, которые со временем могут измениться.

Астрономия изучает в космосе вещество в таких состояниях и масштабах, какие неосуществимы в лабораториях, и этим расши-

---

<sup>1</sup> Это слово происходит от двух греческих слов: а с т р о н — светило, звезда и н ó м о с — закон.

ряет физическую картину мира, наши представления о материи. Все это важно для развития диалектико-материалистического представления о природе.

Предвычисляя наступление затмений Солнца и Луны, появление комет, показывая возможность естественнонаучного объяснения происхождения и эволюции Земли и других небесных тел, астрономия подтверждает, что предела человеческому познанию нет.

В прошлом веке один из философов-идеалистов, доказывая ограниченность человеческого познания, утверждал, что, хотя люди и сумели измерить расстояния до некоторых светил, они никогда не смогут определить химический состав звезд. Однако вскоре был открыт спектральный анализ, и астрономы не только установили химический состав атмосфер звезд, но и определили их температуру. Несостоятельными оказались и многие другие попытки указать границы человеческого познания. Так, ученые сначала теоретически оценили температуру лунной поверхности, затем измерили ее с Земли при помощи термоэлемента и радиометодов, потом эти данные были подтверждены приборами автоматических станций, созданных и посланных людьми на Луну.

**2. Масштабы Вселенной.** Вы уже знаете, что естественный спутник Земли — Луна является ближайшим к нам небесным телом, что наша планета вместе с другими большими и малыми планетами входит в состав Солнечной системы, что все планеты обращаются вокруг Солнца. В свою очередь Солнце, как и все звезды, видимые на небе, входит в состав нашей звездной системы — Галактики. Размеры Галактики так велики, что даже свет, распространяющийся со скоростью 300 000 км/с, проходит расстояние от одного ее края до другого за сто тысяч лет. Подобных галактик во Вселенной множество, но они очень далеки, и мы невооруженным глазом можем видеть лишь одну из них — туманность Андромеды.

Расстояния между отдельными галактиками обычно в десятки раз превосходят их размеры. Чтобы яснее представить себе масштабы Вселенной, внимательно изучите рисунок 1.

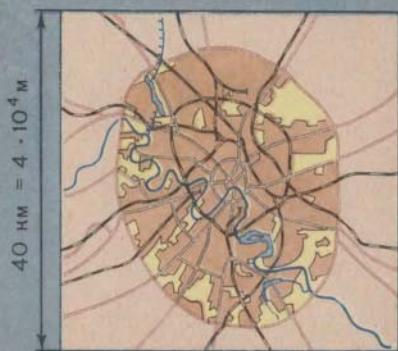
Звезды являются наиболее распространенным типом небесных тел во Вселенной, а галактики и их скопления — ее основными структурными единицами. Пространство между звездами в галактиках и между галактиками заполнено очень разреженной материей в виде газа, пыли, элементарных частиц, электромагнитного излучения, гравитационных и магнитных полей.

Изучая законы движения, строение, происхождение и развитие небесных тел и их систем, астрономия дает нам представление о строении и развитии Вселенной в целом.

Проникнуть в глубины Вселенной, изучить физическую природу небесных тел можно при помощи телескопов и других приборов, которыми располагает современная астрономия благодаря успехам, достигнутым в различных областях науки и техники.

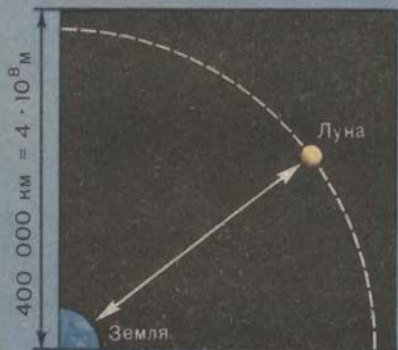
План г. Москвы

Расстояние до ближайших звезд



Система Земля-Луна

Часть Галактики



Часть Солнечной системы

Приблизительная граница наблюдаемой части Вселенной

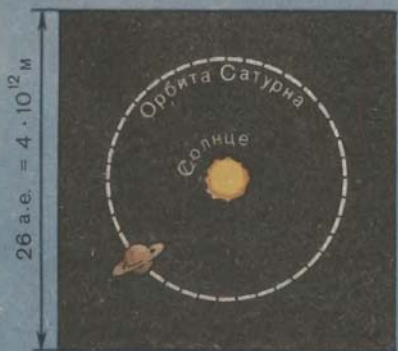


Рис. 1. Масштабы Вселенной (показано, что умещается в квадрате, сторона которого больше предыдущего в  $10^4$  раз, а последнего в  $10^5$  раз. Граница наблюдаемой части Вселенной дана условно, лишь по порядку величины).

**1. Телескопы.** Основным астрономическим прибором является телескоп.

Назначение телескопа — собрать как можно больше света от исследуемого объекта и (при визуальных наблюдениях) увеличить его видимые угловые размеры.

Основной оптической частью телескопа служит объектив, который собирает свет и создает изображение источника.

Если объектив телескопа представляет собой линзу или систему линз, то телескоп называют рефрактором (рис. 2), а если вогнутое зеркало — то рефлектором (рис. 3).

Собираемая телескопом световая энергия зависит от размеров объектива. Чем больше площадь его поверхности, тем более слабые светящиеся объекты можно наблюдать в телескоп.

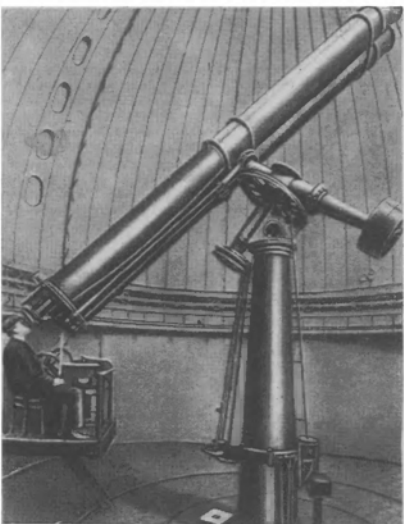
В рефракторе лучи, пройдя через объектив, преломляются и образуют изображение объекта в фокальной плоскости (рис. 4, а). В рефлекторе лучи от вогнутого зеркала отражаются и потом также собираются в фокальной плоскости (рис. 4, б). Изображение небесного объекта, построенное объективом, можно либо рассматривать через линзу, называемую окуляром, либо фотографировать.

При изготовлении объектива телескопа стремятся свести к минимуму все искажения, которыми неизбежно обладает изображение объектов. Простая линза сильно искажает и окрашивает края изображения. Для уменьшения этих недостатков объектив изготовляют из нескольких линз с разной кривизной поверхностей и из

разных сортов стекла. Поверхности вогнутого стеклянного зеркала, которая серебрится или алюминировается, придают для уменьшения искажения не сферическую, а параболическую форму.

Советский оптик Д. Д. Макусов разработал систему телескопа, называемую менисковой. Она соединяет в себе достоинства рефрактора и рефлектора. По этой системе устроена одна из моделей школьного телескопа. Тонкое выпукло-вогнутое стекло — мениск — исправляет искажения, даваемые большим сферическим зеркалом. Лучи, отразившиеся от зеркала, отражаются затем от посеребренной

Рис. 2. Телескоп-рефрактор.



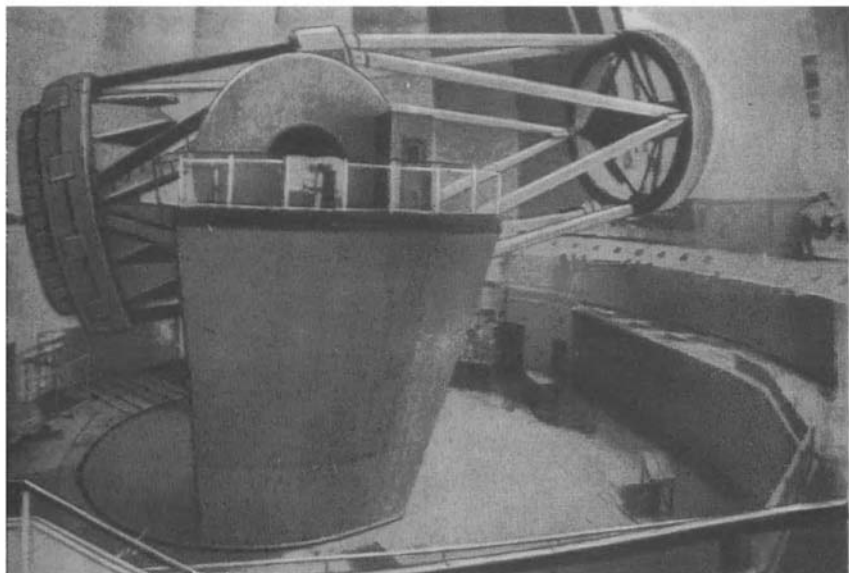


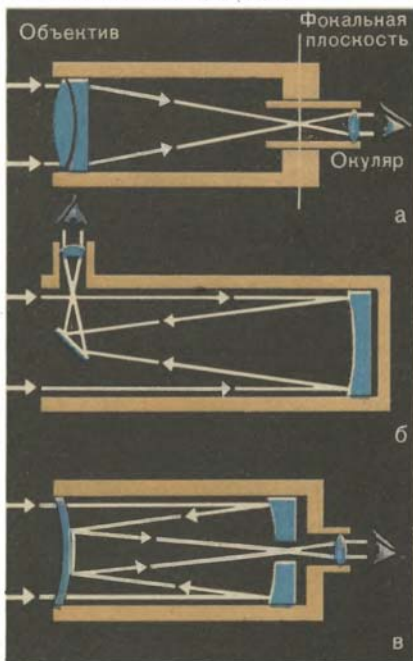
Рис. 3. Крупнейший в мире телескоп-рефлектор, диаметр зеркала которого 6 м (СССР).

площадки на внутренней поверхности мениска и идут в окуляр (рис. 4, в), роль которого выполняет короткофокусная линза. Существуют и другие телескопические системы.

Телескоп увеличивает видимые угловые размеры Солнца, Луны, планет и деталей на них, а также видимые угловые расстояния между светилами, но звезды в любой телескоп из-за огромной удаленности видны лишь как светящиеся точки.

В телескопе получается обычно перевернутое изображение, но это не имеет никакого значения при наблюдении космических объектов. Введение добавочных линз в окуляр делает телескоп подзорной трубой, дающей прямые изображения, но при этом теряется часть света.

Рис. 4. Схемы хода лучей в телескопах: а — рефрактор; б — рефлектор; в — менисковый телескоп.





При наблюдениях в телескоп редко используются увеличения свыше 500 раз. Причина этого — воздушные течения, вызывающие искажения изображения, которые тем заметнее, чем больше увеличение телескопа.

Самый большой рефрактор имеет объектив диаметром около 1 м. Диаметр вогнутого зеркала самого большого в мире рефлектора — 6 м. Этот телескоп изготовлен в СССР и установлен в горах Кавказа. Он позволяет наблюдать звезды, в десятки миллионов раз более слабые, чем видимые невооруженным глазом.

**2. Особенности астрономических наблюдений.** В основе астрономии лежат наблюдения, производимые с Земли и лишь с 60-х годов нашего века выполняемые также из космоса — с автоматических и пилотируемых станций. Наблюдения в астрономии, играя такую же роль, как опыты в физике и химии, имеют ряд особенностей.

*Первая особенность* состоит в том, что астрономические наблюдения в большинстве случаев *пассивны* по отношению к изучаемым объектам. Мы не можем активно влиять на небесные тела, ставить опыты (за исключением редких случаев), как это делают в других естественных науках. Лишь использование космических аппаратов дало возможность проводить непосредственные исследования на Луне и ближайших планетах.

Кроме того, многие небесные явления протекают столь медленно, что наблюдения их требуют громадных сроков; так, например, изменение наклона земной оси к плоскости ее орбиты становится хорошо заметным лишь по истечении сотен лет. Поэтому для нас не потеряли своего значения некоторые наблюдения, производившиеся тысячи лет назад, хотя они и были, по современным понятиям, очень неточными.

*Вторая особенность.* Мы наблюдаем положение небесных тел и их движение с Земли, которая сама находится в движении — вращается вокруг своей оси и обращается вокруг Солнца. Однако мы, описывая движение небесных тел по отношению к земному наблюдателю, нередко считаем его неподвижным. Например, говорим о восходе и заходе светил, хотя известно, что это происходит вследствие вращения Земли, о годичном движении Солнца по созвездиям, хотя оно является следствием обращения Земли вокруг Солнца. Кроме того, из-за движения Земли вид неба для земного наблюдателя в течение года изменяется. Он зависит не только от того, в каком месте Земли находится наблюдатель, но и от того, в какое время суток и года он наблюдает. Например, когда у нас зимний день, в Южной Америке летняя ночь, и наоборот. Есть звезды, видимые лишь летом или зимой.

*Третья особенность* астрономических наблюдений связана с тем, что все светила находятся от нас очень далеко, так далеко, что ни на глаз, ни в телескоп нельзя решить, какое из

них ближе, какое дальше. Все они кажутся нам одинаково далекими. Поэтому расстояние между объектами на небе (например, между звездами) измеряют углом, образованным лучами, идущими к объектам из точки наблюдения (рис. 5). Такое расстояние называется угловым и выражается в градусах и его долях. При этом считается, что две звезды находятся недалеко друг от друга на небе, если близки направления, по которым мы их видим (например, звезды А и В, см. рис. 5). Возможно, что третья звезда С, на небе более далекая от А, в пространстве к А ближе, чем звезда В.



Рис. 5. Угловые измерения на небе и высота светила над горизонтом.

Угловое расстояние светила от горизонта  $h$  (см. рис. 5) называется высотой светила над горизонтом.

Высота светил отсчитывается от  $0^\circ$  (светило находится на горизонте) до  $90^\circ$  (светило над головой). Положение светила относительно сторон горизонта (стран света) указывается с помощью второго угла, который называется азимутом и меняется в пределах от 0 до  $360^\circ$  (отсчет ведется от юга по ходу часовой стрелки).

Измерения высоты светила и его азимута выполняют специальными угломерными оптическими инструментами — *теодолитами*.

Для приближенной оценки угловых расстояний на небе полезно знать, что угловое расстояние между двумя звездами «ковша» ( $\alpha$  и  $\beta$ , см. рис. 7) Большой Медведицы равно примерно  $5^\circ$ .

Видимые размеры небесных объектов также можно выразить в угловых единицах. Например, диаметры Солнца и Луны в угловой мере примерно равны  $0,5^\circ$ .

*По своему линейному размеру диаметр Солнца больше диаметра Луны примерно в 400 раз. Почему их угловые диаметры почти равны?* ?

О том, как определяют на основании угловых измерений линейные расстояния до небесных тел и их линейные размеры, вы узнаете из § 12.

**3. Ваши наблюдения.** Для лучшего усвоения астрономии вы должны как можно раньше приступить к наблюдениям небесных явлений и светил. Подробные указания к наблюдениям и использованию подвижной карты звездного неба, имеющейся в учебнике, даны в приложениях VI и VII.

## II. ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АСТРОНОМИИ

### 3. СОЗВЕЗДИЯ. ЗВЕЗДНЫЕ КАРТЫ. НЕБЕСНЫЕ КООРДИНАТЫ

**1. Созвездия.** Знакомиться со звездным небом надо в безоблачную ночь, когда свет Луны не мешает наблюдать слабые звезды. Прекрасна картина ночного неба с рассыпанными по нему мерцающими звездами. Число их кажется бесконечным. Но так только кажется, пока вы не приглядитесь и не научитесь находить на небе знакомые группы звезд, неизменных по своему взаимному расположению. Эти группы, названные созвездиями, люди выделили тысячи лет назад. *Под созвездием понимают область неба в пределах некоторых установленных границ.* Все небо разделено на 88 созвездий, которые можно находить по характерному для них расположению звезд.

Многие созвездия сохраняют свое название с глубокой древности. Некоторые названия связаны с греческой мифологией, например *Андромеда, Персей, Пегас*, некоторые — с предметами, которые напоминают фигуры, образуемые яркими звездами созвездий: *Стрела, Треугольник, Весы* и др. Есть созвездия, названные именами животных, например *Лев, Рак, Скорпион*.

Созвездия на небосводе находят, мысленно соединяя их ярчайшие звезды прямыми линиями в некоторую фигуру, как показано на звездных картах (см. звездную карту в приложении VII, а также рис. 6, 7, 10). В каждом созвездии яркие звезды издавна обозначали греческими буквами<sup>1</sup>, чаще всего самую яркую звезду созвездия — буквой  $\alpha$ , затем буквами  $\beta$ ,  $\gamma$  и т. д. в порядке алфавита по мере убывания яркости; например, *Полярная звезда* есть  $\alpha$  созвездия *Малой Медведицы*.

На рисунках 6 и 7 показаны расположение главных звезд Большой Медведицы и фигура этого созвездия, как его изображали на старинных звездных картах (способ нахождения Полярной звезды знаком вам из курса географии).

Невооруженным глазом в безлунную ночь можно видеть над горизонтом около 3000 звезд. В настоящее время астрономы определили точное местоположение нескольких миллионов звезд, измерили приходящие от них потоки энергии и составили списки-каталоги этих звезд.

**2. Видимая яркость и цвет звезд.** Днем небо кажется голубым оттого, что неоднородности воздушной среды сильнее всего рассеивают голубые лучи солнечного света.

<sup>1</sup> Греческий алфавит дан в приложении II.

Вне пределов земной атмосферы небо всегда черное, и на нем можно наблюдать звезды и Солнце одновременно.

Звезды имеют разную яркость и цвет: белый, желтый, красноватый. Чем краснее звезда, тем она холоднее. Наше Солнце относится к желтым звездам.

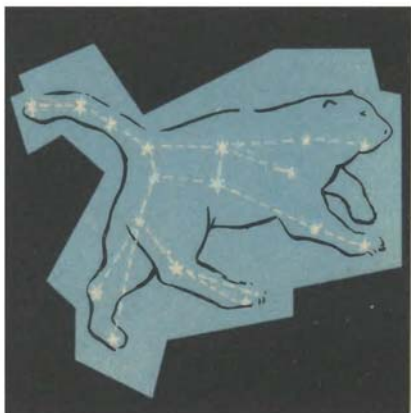
Ярким звездам древние арабы дали собственные имена. Белые звезды: *Вега* в созвездии Лиры, *Альтаир* в созвездии Орла (видны летом и осенью), *Сириус* — ярчайшая звезда неба (видна зимой); красные звезды: *Бетельгейзе* в созвездии Ориона и *Альдебаран* в созвездии Тельца (видны зимой), *Антарес* в созвездии Скорпиона (виден летом); желтая *Капелла* в созвездии Возничего (видна зимой)<sup>1</sup>.

Самые яркие звезды еще в древности называли звездами 1-й величины, а самые слабые, видимые на пределе зрения, — звездами 6-й величины. Эта старинная терминология сохранилась и в настоящее время. К истинным размерам звезд термин «звездная величина» (обозначается буквой *m*) отношения не имеет, она характеризует световой поток, приходящий на Землю от звезды. Принято, что при разности в одну звездную величину видимая яркость звезд отличается примерно в 2,5 раза. Тогда разность в 5 звездных величин соответствует различию в яркости ровно в 100 раз. Так, звезды 1-й величины в 100 раз ярче звезд 6-й величины. Современные методы наблюдений дают возможность обнаружить звезды примерно до 25-й звездной величины.

Точные измерения показывают, что звезды имеют как дробные, так и отрицательные звездные величины, например: для Альдебарана звездная величина  $m=1,06$ , для Веги  $m=0,14$ , для Сириуса  $m=-1,58$ , для Солнца  $m=-26,80$ .

**3. Видимое суточное движение звезд. Небесная сфера.** Из-за осевого вращения Земли звезды нам кажутся перемещающимися по небу. Если стать лицом к южной стороне горизонта и наблюдать суточное движение звезд в средних широтах северного полушария Земли, то можно заметить, что звезды восходят на восточной стороне горизонта, поднимаются выше всего над южной стороной горизонта и заходят на западной стороне, т. е. они движутся слева направо, по ходу

Рис. 6. Фигура созвездия Большой Медведицы (со старинной звездной карты), его современные границы указаны пунктиром.



<sup>1</sup> Названия ярких звезд даны в приложении IV.



Рис. 7. Созвездия Большой и Малой Медведицы и изменение их положения относительно горизонта при суточном вращении неба.

часовой стрелки (рис. 8). При внимательном наблюдении можно заметить, что Полярная звезда почти не меняет положения относительно горизонта. Все же другие звезды описывают в течение суток полные круги с центром вблизи Полярной. В этом можно легко убедиться, проделав в безлунную ночь следующий опыт. Фотоаппарат, установленный на «бесконечность», направим на Полярную звезду и надежно укрепим в этом положении. Откроем затвор при полностью открытом объективе на полчаса или час. Проявив полученный таким образом снимок, увидим на нем концентрические дуги — следы путей звезд (рис. 9). Общий центр этих дуг — точка, которая остается неподвижной при суточном движении звезд, условно называется северным полюсом мира. Полярная звезда к нему очень близка (рис. 10). Диаметрально противоположная ему точка называется южным полюсом мира. Для наблюдателя северного полушария Земли он находится под горизонтом.

Явления суточного движения звезд удобно изучать, воспользовавшись математическим построением — небесной сферой, т. е. воображаемой сферой произвольного радиуса, центр которой находится в точке наблюдения. На поверхность этой сферы проецируют видимые положения всех светил, а для удобства измерений строят ряд точек и линий (рис. 11). Так, отвесная линия  $ZCZ'$ , проходящая через наблюдателя, пересекает небо над головой в точке зенита  $Z$ . Диаметрально противоположная точка  $Z'$  называется надиром. Плоскость ( $NE\!S\!W$ ), перпендикулярная отвесной линии  $ZZ'$ , является плоскостью горизонта — эта плоскость касается поверхности земного шара в точке, где расположен наблюдатель (точка  $C$  на рис. 12). Она делит поверхность небесной сферы на две полусферы: *видимую*, все



Рис. 8. При суточном вращении неба звезды в восточной стороне неба перемещаются вправо и вверх.

точки которой находятся над горизонтом, и *невидимую*, точки которой лежат под горизонтом.

Ось видимого вращения небесной сферы, соединяющую оба полюса мира ( $P$  и  $P'$ ) и проходящую через наблюдателя ( $C$ ), называют осью мира (рис. 11). Ось мира для любого наблюдателя всегда будет параллельна оси вращения Земли (рис. 12). На горизонте под северным полюсом мира лежит точка севера  $N$  (см. рис. 11 и 12), диаметрально противоположная ей точка  $S$  — точка юга. Линия  $NCS$  называется полуденной линией (рис. 11), так как вдоль нее на горизонтальной плоскости в пол-

Рис. 9. Фотография околополярной области неба, снятая неподвижной камерой с экспозицией около часа.



Рис. 10. Созвездия в окрестности Полярной звезды.





Рис. 11. Основные точки и линии небесной сферы.

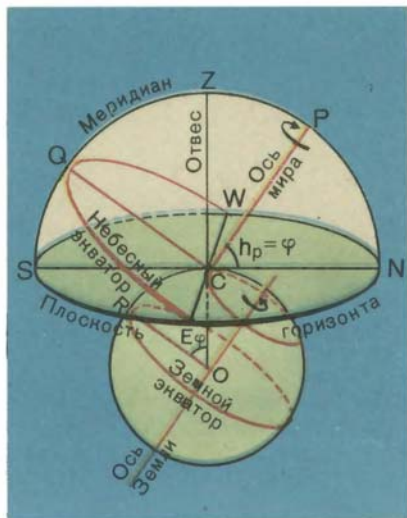


Рис. 12. Соотношение между линиями и плоскостями на небесной сфере и на земном шаре.

день падает тень от вертикально поставленного стержня. (Как на местности провести полуденную линию и как по ней и по Полярной звезде ориентироваться по сторонам горизонта, вы изучали в V классе в курсе физической географии.) Точки востока  $E$  и запада  $W$  лежат на линии горизонта. Они отстоят от точек севера  $N$  и юга  $S$  на  $90^\circ$ . Через точку  $N$ , полюсы мира, зенит  $Z$  и точку  $S$  проходит плоскость небесного меридиана (см. рис. 11), совпадающая для наблюдателя  $C$  с плоскостью его географического меридиана (см. рис. 12). Наконец, плоскость  $(QWQ'E)$ , проходящая через центр сферы (точку  $C$ ) перпендикулярно оси мира, образует плоскость небесного экватора, параллельную плоскости земного экватора (см. рис. 12). Небесный экватор делит поверхность небесной сферы на два полушария: северное с вершиной в северном полюсе мира и южное с вершиной в южном полюсе мира.

**4. Звездные карты и небесные координаты.** Чтобы сделать звездную карту, изображающую созвездия на плоскости, надо знать координаты звезд. Координаты звезд относительно горизонта, например высота, хотя и наглядны, но непригодны для составления карт, так как все время меняются. Надо использовать такую систему координат, которая вращалась бы вместе со звездным небом. Такой системой координат является экваториальная система, она так названа потому, что экватор служит той плоскостью, от которой и в которой производятся отсчеты координат. В этой системе одной координатой является

угловое расстояние светила от небесного экватора, называемое склонением  $\delta$  (рис. 13). Оно меняется в пределах  $\pm 90^\circ$  и считается положительным к северу от экватора и отрицательным к югу. Склонение аналогично географической широте.

Вторая координата аналогична географической долготе и называется прямым восхождением  $\alpha$ .

Прямое восхождение светила  $M$  измеряется углом между плоскостями больших кругов, один проходит через полюсы мира и данное светило  $M$ , а другой — через полюсы мира и точку весеннего равноденствия  $\Upsilon$ , лежащую на экваторе (см. рис. 13). Так назвали эту точку потому, что в ней Солнце бывает (на небесной сфере) весной 20—21 марта, когда день равен ночи.

Прямое восхождение отсчитывают по дуге небесного экватора от точки весеннего равноденствия против хода часовой стрелки, если смотреть с северного полюса. Оно изменяется в пределах от 0 до  $360^\circ$  и называется прямым восхождением потому, что звезды, расположенные на небесном экваторе, восходят (и заходят) в порядке возрастания их прямого восхождения. Поскольку это явление связано с вращением Земли, то прямое восхождение принято выражать не в градусах, а в единицах времени. За 24 ч Земля (а нам кажется, что звезды) совершает один оборот —  $360^\circ$ . Следовательно,  $360^\circ$  соответствуют 24 ч, тогда  $15^\circ$  — 1 ч,  $1^\circ$  — 4 мин,  $15'$  — 1 мин,  $15''$  — 1 с. Например,  $90^\circ$  составляют 6 ч, а 7 ч 18 мин —  $109^\circ 30'$ .

В единицах времени прямое восхождение обозначается на координатной сетке звездных карт, атласов и глобусов, в том числе и на карте, приложенной к учебнику и «Школьному астрономическому календарю».

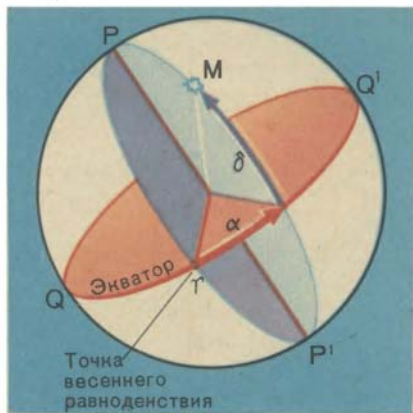


Рис. 13. Экваториальные координаты.

#### УПРАЖНЕНИЕ 1

1. Что характеризует звездная величина?
2. Есть ли различие между северным полюсом мира и точкой севера?
3. Выразите 9 ч 15 мин 11 с в градусной мере.

#### ЗАДАНИЕ 1

1. По приложению VII ознакомьтесь с обращением и монтажом подвижной карты звездного неба.



- По таблице координат ярких звезд, данной в приложении IV, найдите на звездной карте некоторые из указанных звезд.
- По карте отсчитайте координаты нескольких ярких звезд и проверьте себя, используя приложение IV.

#### 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ШИРОТЫ ПО АСТРОНОМИЧЕСКИМ НАБЛЮДЕНИЯМ

**1. Высота полюса мира над горизонтом.** Обратимся к рисунку 12. Мы видим, что высота полюса мира над горизонтом  $h_p = \angle PCN$ , а географическая широта места  $\varphi = \angle COR$ . Эти два угла ( $\angle PCN$  и  $\angle COR$ ) равны как углы со взаимно перпендикулярными сторонами:  $[OC] \perp [CN]$ ,  $[OR] \perp [CP]$ . Равенство этих углов дает простейший способ определения географической широты местности  $\varphi$ : *угловое расстояние полюса мира от горизонта равно географической широте местности*. Чтобы определить географическую широту местности, достаточно измерить высоту полюса мира над горизонтом, так как:

$$h_p = \varphi.$$

**2. Суточное движение светил на различных широтах.** Теперь мы знаем, что с изменением географической широты места наблюдения меняется ориентация оси вращения небесной сферы относительно горизонта. Рассмотрим, какими будут видимые движения небесных светил в районе Северного полюса, на экваторе и на средних широтах Земли.

*На полюсе Земли* полюс мира находится в зените, и звезды движутся по кругам, параллельным горизонту (рис. 14, а). Здесь звезды не заходят и не восходят, их высота над горизонтом неизменная.

*На средних географических широтах* существуют как *восходящие* и *заходящие* звезды, так и те, которые никогда не опускаются под горизонт (рис. 14, б). Например, околополярные созвездия (см. рис. 10) на географических широтах СССР никогда не заходят. Созвездия, расположенные дальше от северного полюса мира, показываются ненадолго над горизонтом. А созвездия, лежащие около южного полюса мира, являются *невосходящими*.

Но чем дальше продвигается наблюдатель к югу, тем больше южных созвездий он может видеть. *На земном экваторе*, если бы днем не мешало Солнце, за сутки можно было бы увидеть созвездия всего звездного неба (рис. 14, в).

Для наблюдателя на экваторе все звезды восходят и заходят перпендикулярно плоскости горизонта. Каждая звезда здесь проходит над горизонтом ровно половину своего пути. Северный полюс мира для него совпадает с точкой севера, а южный полюс мира — с точкой юга. Ось мира расположена в плоскости горизонта (см. рис. 14, в)

## УПРАЖНЕНИЕ 2

1. Как по виду звездного неба и его вращению установить, что вы были на Северный полюс Земли?
2. Как суточные пути звезд расположены относительно горизонта для наблюдателя, находящегося на экваторе Земли? Чем они отличаются от суточных путей звезд, видимых в СССР, т. е. в средних географических широтах?

## ЗАДАНИЕ 2

Измерьте при помощи эклиметра географическую широту вашей местности по высоте Полярной звезды и сравните ее с отсчетом широты по географической карте.

**3. Высота светил в кульминации.** Полюс мира при кажущемся вращении неба, отражающем вращение Земли вокруг оси, занимает неизменное положение над горизонтом на данной широте (см. рис. 12). Звезды за сутки описывают над горизонтом вокруг оси мира круги, параллельные небесному экватору. При этом каждое светило за сутки дважды пересекает небесный меридиан (рис. 15).

*Явления прохождения светил через небесный меридиан называются кульминациями.* В верхней кульминации высота светила максимальна, в нижней кульминации — минимальна. Промежуток времени между кульминациями равен половине суток.

У не заходящего на данной широте  $\varphi$  светила  $M$  (см. рис. 15) видны (над горизонтом) обе кульминации, у звезд, которые восходят и заходят ( $M_1, M_2, M_3$ ), нижняя кульминация происходит под горизонтом, ниже точки севера. У светила  $M_4$ , находящегося далеко к югу от небесного экватора, обе кульминации могут быть невидимы (светило *невосходящее*).

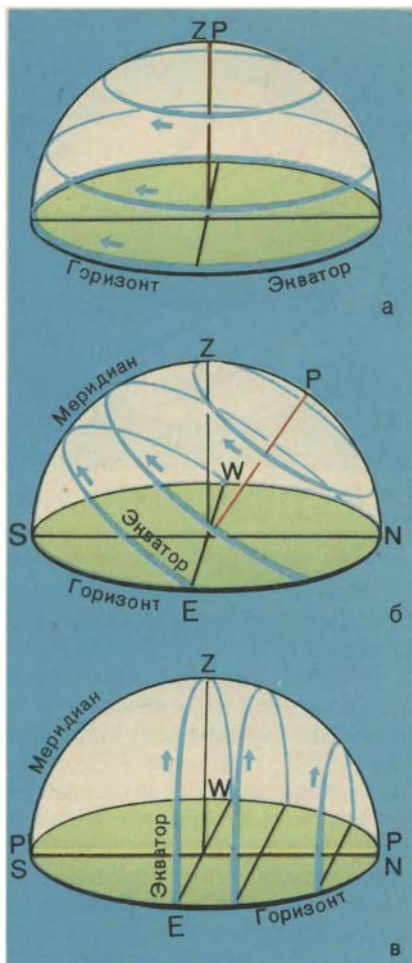


Рис. 14. Суточные пути светил относительно горизонта для наблюдателя, находящегося: а — на полюсе Земли; б — в средних географических широтах; в — на экваторе.

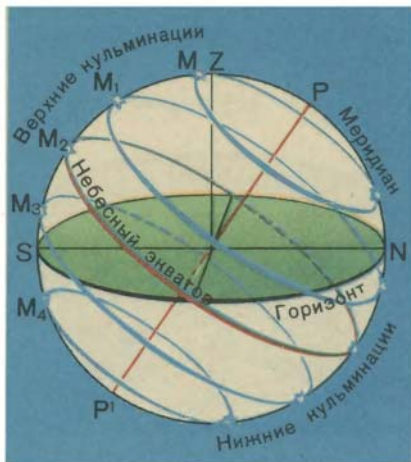


Рис. 15. Верхние и нижние кульминации светил.

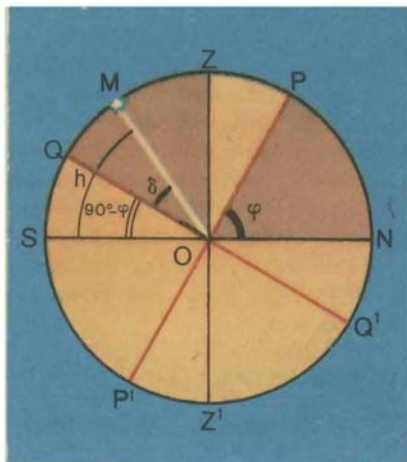


Рис. 16. Высота светила в верхней кульминации.

**Момент верхней кульминации центра Солнца называется истинным полднем, а момент нижней кульминации — истинной полночью.**

Найдем зависимость между высотой  $h$  светила  $M$  в верхней кульминации, его склонением  $\delta$  и широтой местности  $\varphi$ . Для этого воспользуемся рисунком 16, на котором изображены отвесная линия  $ZZ'$ , ось мира  $PP'$  и проекции небесного экватора  $QQ'$  и линии горизонта  $NS$  на плоскость небесного меридиана ( $PZSP'N$ ).

Мы знаем, что высота полюса мира над горизонтом равна географической широте места, т. е.  $h_p = \varphi$ . Следовательно, угол между полуденной линией  $NS$  и осью мира  $PP'$  равен широте местности  $\varphi$ , т. е.  $\angle PON = h_p = \varphi$ . Очевидно, что наклон плоскости небесного экватора к горизонту, измеряемый  $\angle QOS$ , будет равен  $90^\circ - \varphi$ , так как  $\angle QOZ = \angle PON$  как углы с взаимно перпендикулярными сторонами (см. рис. 16). Тогда звезда  $M$  со склонением  $\delta$ , кульминирующая к югу от зенита, имеет в верхней кульминации высоту

$$h = 90^\circ - \varphi + \delta. \quad (1)$$

Из этой формулы видно, что географическую широту можно определить, измеряя высоту любого светила с известным склонением  $\delta$  в верхней кульминации. При этом следует учитывать, что если светило в момент кульминации находится к югу от экватора, то его склонение отрицательно.

#### ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Задача. Сириус ( $\alpha$  Б. Пса, см. приложение IV) был в верхней кульминации на высоте  $10^\circ$ . Чему равна широта места наблюдения?

Д а н о:

$$\delta = -17^\circ$$

$$h = 10^\circ$$

---

$$\varphi = ?$$

Р е ш е н и е.

Склонение Сириуса находим в приложении IV (записываем его округленное значение). Из формулы  $h = 90^\circ - \varphi + \delta$  находим, что  $\varphi = 90^\circ - h + \delta$ .

$$\varphi = 90^\circ - 10^\circ - 17^\circ = 63^\circ.$$

О т в е т:  $\varphi = 63^\circ$ .

Обратите внимание на то, чтобы чертеж точно соответствовал условию задачи.

### УПРАЖНЕНИЕ 3

При решении задач географические координаты городов можно отсчитать по географической карте.

1. На какой высоте в Ленинграде бывает верхняя кульминация Антареса ( $\alpha$  Скорпиона, см. приложение IV)?
2. Каково склонение звезд, которые в вашем городе кульминируют в зените? в точке юга?
3. Докажите, что высота светила в нижней кульминации выражается формулой  $h = \varphi + \delta - 90^\circ$ .
4. Какому условию должно удовлетворять склонение звезды, чтобы она была незаходящей для места с географической широтой  $\varphi$ ? невосходящей?

### 5. ЭКЛИПТИКА. ВИДИМОЕ ДВИЖЕНИЕ СОЛНЦА И ЛУНЫ

В данной местности каждая звезда кульминирует всегда на одной и той же высоте над горизонтом, потому что ее угловое расстояние от полюса мира и от небесного экватора остается неизменным. Солнце же и Луна меняют высоту, на которой они кульминируют. Отсюда можно сделать вывод, что их положение относительно звезд (склонение) изменяется. Мы знаем, что Земля движется вокруг Солнца, а Луна вокруг Земли. Проследим, как меняется вследствие этого положение обоих светил на небе.

Если по точным часам замечать промежутки времени между верхними кульминациями звезд и Солнца, то можно убедиться, что промежутки между кульминациями звезд на *четыре минуты короче*, чем промежутки между кульминациями Солнца. Объясняется это тем, что за время одного оборота вокруг оси (сутки)

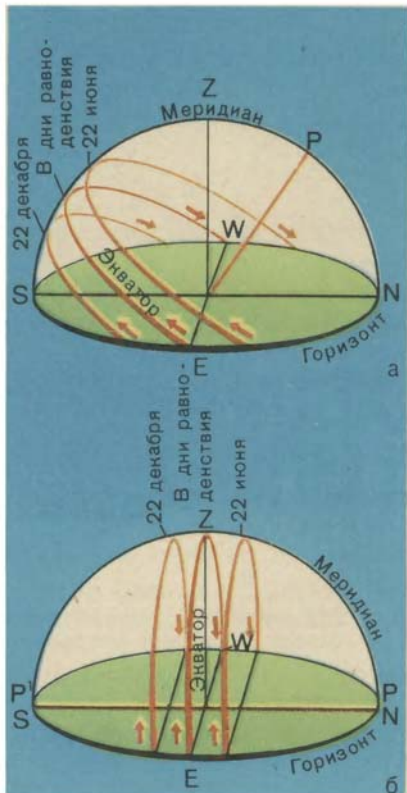
Земля проходит примерно  $1/365$  часть своего пути вокруг Солнца.

Нам же кажется, что Солнце сдвигается на фоне звезд к востоку — в сторону, противоположную суточному вращению неба. Этот сдвиг составляет около  $1^\circ$ . Чтобы повернуться на такой угол, небесной сфере нужно еще 4 мин, на которые и «запаздывает» кульминация Солнца. Таким образом, в результате движения Земли по орбите Солнце за год описывает на небе отно-



Рис. 17. Эклиптика и небесный экватор.

Рис. 18. Суточные пути Солнца над горизонтом в разные времена года при наблюдениях:  
а — в средних географических широтах; б — на экваторе Земли.



сительно звезд большой круг, называемый эклиптической (рис. 17).

Так как Луна совершает один оборот навстречу вращению неба за месяц и потому проходит за сутки не на  $1^\circ$ , а примерно  $13^\circ$ , то ее кульминации запаздывают ежесуточно уже не на 4 мин, а на 50 мин.

Определяя высоту Солнца в полдень, заметили, что дважды в году оно бывает на небесном экваторе, в так называемых *равноденственных точках*. Это происходит в дни *весеннего* и *осеннего равноденствий* (около 21 марта и около 23 сентября). Плоскость горизонта делит небесный экватор пополам (рис. 18). Поэтому в дни равноденствий пути Солнца над и под горизонтом равны, следовательно, равны продолжительности дня и ночи.

*Каково склонение Солнца в дни равноденствий?*

Двигаясь по эклиптической, Солнце 22 июня отходит дальше всего от небесного экватора в сторону северного полюса мира

(на  $23^{\circ}27'$ ). В полдень для северного полушария Земли оно выше всего над горизонтом (на эту величину выше небесного экватора, см. рис. 17 и 18). День самый длинный, он называется *днем летнего солнцестояния*.

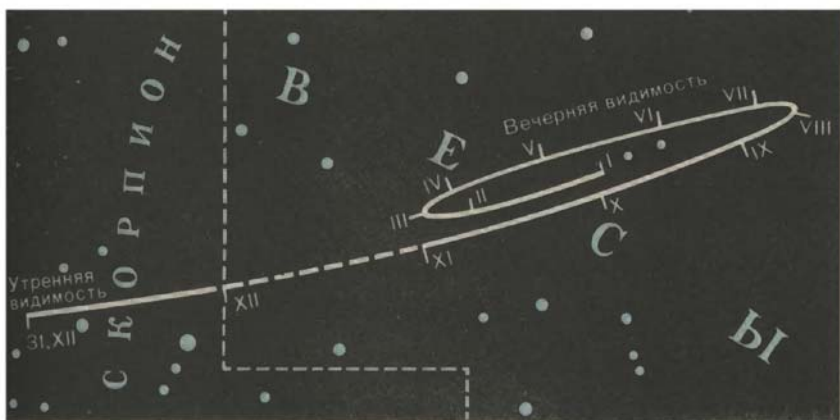
Большой круг эклиптики пересекает большой круг небесного экватора под углом  $23^{\circ}27'$ . На столько же Солнце бывает ниже экватора в день *зимнего солнцестояния*, 22 декабря (см. рис. 17 и 18). Таким образом, в этот день высота Солнца в верхней кульминации уменьшается по сравнению с 22 июня на  $46^{\circ}54'$ , и день самый короткий. (Из курса физической географии вы знаете, что различия в условиях освещения и нагревания Земли Солнцем определяют ее климатические пояса и смену времен года.)

Обожествление Солнца в древности породило мифы, описывающие периодически повторяющиеся события «рождения», «воскресения» «бога-Солнца» в течение года: умирание природы зимой, ее возрождение весной и т. п. Христианские праздники носят в себе следы культа Солнца.

Путь Солнца пролегает через 12 созвездий, называемых зодиакальными (от греческого слова *зоон* — животное), а их совокупность называется поясом зодиака. В него входят следующие созвездия: *Рыбы, Овен, Телец, Близнецы, Рак, Лев, Дева, Весы, Скорпион, Стрелец, Козерог, Водолей*. Каждое зодиакальное созвездие Солнце проходит около месяца. Точка весеннего равноденствия  $\Upsilon$  (одно из двух пересечений эклиптики с небесным экватором) находится в созвездии Рыб.

Понятно, что в полночь верхнюю кульминацию проходит зодиакальное созвездие, противоположное тому, в котором находится Солнце. Например, в марте Солнце проходит по созвездию Рыб, а в полночь кульминирует созвездие Девы.

Рис. 19. Пример видимого пути планеты по небу за год.



Итак, мы убедились, что видимое движение Луны, которая обращается вокруг Земли, и Солнца, вокруг которого обращается Земля, обнаруживается и описывается одинаково. И на основе только этих наблюдений нельзя решить, движется ли Солнце вокруг Земли или Земля вокруг него.

Планеты перемещаются на фоне звездного неба более сложным образом. Они движутся то в одну, то в другую сторону, иногда медленно выписывая петли (рис. 19). Это обусловлено сочетанием их истинного движения с движением Земли. На звездном небе планеты (в переводе с древнегреческого «блуждающие») не занимают постоянного места, так же как Луна и Солнце. Поэтому на карте звездного неба положение Солнца, Луны и планет можно указать лишь для определенного момента.

#### ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

**Задача.** Определите полуденную высоту Солнца в Архангельске и в Ашхабаде в дни летнего и зимнего солнцестояния.

Дано:

$$\varphi_1 = 65^\circ$$

$$\varphi_2 = 38^\circ$$

$$\delta_{\text{л}} = 23,5^\circ$$

$$\delta_{\text{з}} = -23,5^\circ$$

$$h_{1\text{л}} - ? \quad h_{2\text{л}} - ?$$

$$h_{1\text{з}} - ? \quad h_{2\text{з}} - ?$$

Решение.

Приближенные значения широты Архангельска ( $\varphi_1$ ) и Ашхабада ( $\varphi_2$ ) находим по географической карте. Склонения Солнца в дни летнего и зимнего солнцестояний известны.

По формуле  $h = 90^\circ - \varphi + \delta$  находим:

$$h_{1\text{л}} = 48,5^\circ, \quad h_{1\text{з}} = 1,5^\circ,$$

$$h_{2\text{л}} = 75,5^\circ, \quad h_{2\text{з}} = 28,5^\circ.$$

Обратите внимание на то, как связана разность полуденных высот Солнца в дни солнцестояний (для каждого города) с различием его склонения в эти даты.

Сравните различие высоты Солнца в один и тот же день в этих двух городах с разностью их географических широт. Сделайте вывод.

Как, зная в день летнего солнцестояния высоту Солнца в полдень в одном из городов, можно вычислить его высоту в другом городе?

#### УПРАЖНЕНИЕ 4

1. На какой географической широте Солнце в день летнего солнцестояния кульминирует в зените?
2. В какие дни года Солнце достигает зенита для наблюдателя, находящегося на земном экваторе?
3. Определите географическую широту пункта, в котором в день зимнего солнцестояния кульминация Солнца происходит в точке юга.

#### ЗАДАНИЕ 3

1. Найдите 12 зодиакальных созвездий на звездной карте. Пользуясь подвижной картой звездного неба, определите, какие из них будут видны над горизонтом в вечер наблюдения.
2. По «Школьному астрономическому календарю» найдите координаты планет в данное время и определите по карте, в каком созвездии они находятся. Найдите их вечером на небе.

## 6. ДВИЖЕНИЕ ЛУНЫ. СОЛНЕЧНЫЕ И ЛУННЫЕ ЗАТМЕНИЯ

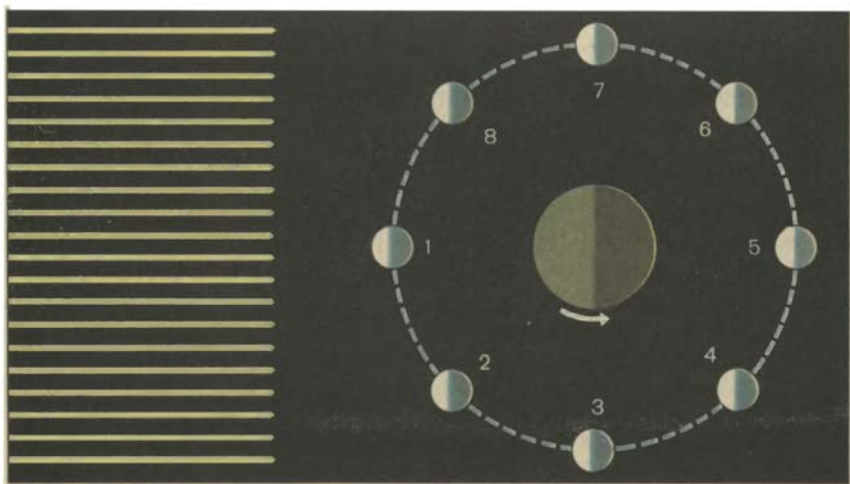
1. **Фазы Луны.** Луна движется вокруг Земли в ту же сторону, в какую Земля вращается вокруг своей оси. Отображением этого движения, как мы знаем, является видимое перемещение Луны на фоне звезд навстречу вращению неба. Каждые сутки Луна смещается к востоку относительно звезд примерно на  $13^\circ$ , а через 27,3 сут возвращается к тем же звездам, описав на небесной сфере полный круг.

*Период обращения Луны вокруг Земли относительно звезд (в инерциальной системе отсчета) называется звездным или сидерическим (от лат. sidus — звезда) месяцем.* Он составляет 27,3 сут.

Видимое движение Луны сопровождается непрерывным изменением ее вида — *сменой фаз*. Происходит это оттого, что Луна занимает различные положения относительно освещающего ее Солнца и Земли. Схема, поясняющая смену фаз Луны, показана на рисунке 20.

Когда Луна видна нам как узкий серп, остальная часть ее диска тоже слегка светится. Это явление называется *пепельным светом* и объясняется тем, что Земля освещает ночную сторону Луны отраженным солнечным светом.

Рис. 20. Смена лунных фаз (солнечные лучи падают слева, вверху изображены лунные фазы, видимые с Земли).





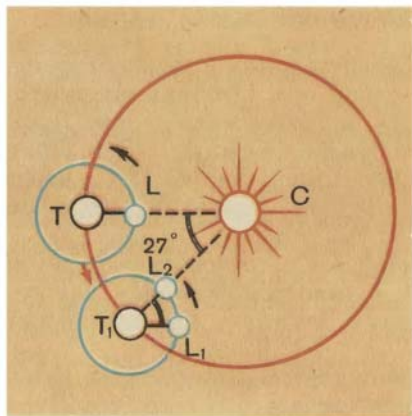


Рис. 21. Различие между звездным и синодическим месяцем.

Луна  $L$  через 27,3 сут, сделав полный оборот, займет прежнее положение относительно звезд. Земля  $T$  за это время вместе с Луной пройдет по своей орбите относительно Солнца дугу  $TT_1$ , равную почти  $27^\circ$ , так как каждые сутки она смещается примерно на  $1^\circ$ . Чтобы Луна  $L_1$  заняла прежнее положение относительно Солнца и Земли  $T_1$  (пришла в новолуние), потребуется еще двое суток. Действительно, Луна проходит за сутки  $360^\circ:27,3 \text{ сут} = 13^\circ/\text{сут}$ , чтобы пройти дугу в  $27^\circ$ , ей необходимо  $27^\circ:13^\circ/\text{сут} = 2 \text{ сут}$ . Так и получается, что синодический месяц Луны составляет около 29,5 земных суток.

Мы видим всегда только одно полушарие Луны. Это иногда воспринимается как отсутствие ее осевого вращения. На самом деле это объясняется равенством периодов вращения Луны вокруг оси и ее обращения вокруг Земли.

*Проверьте это, обводя вокруг себя предмет и одновременно поворачивая его вокруг оси с периодом, равным периоду обвода.*

Вращаясь вокруг оси, Луна попеременно обращает к Солнцу разные свои стороны. Следовательно, на Луне происходит смена дня и ночи, и солнечные сутки равны синодическому периоду (ее обороту относительно Солнца). Таким образом, на Луне продолжительность дня равна двум земным неделям и две наши недели составляют там ночь.

Легко понять что фазы Земли и Луны взаимно противоположны. Когда Луна почти полная, Земля с Луны видна как узкий серп. На рисунке 42 представлена фотография неба и лунного горизонта с Землей, у которой видна лишь ее освещенная часть — меньше полукруга.

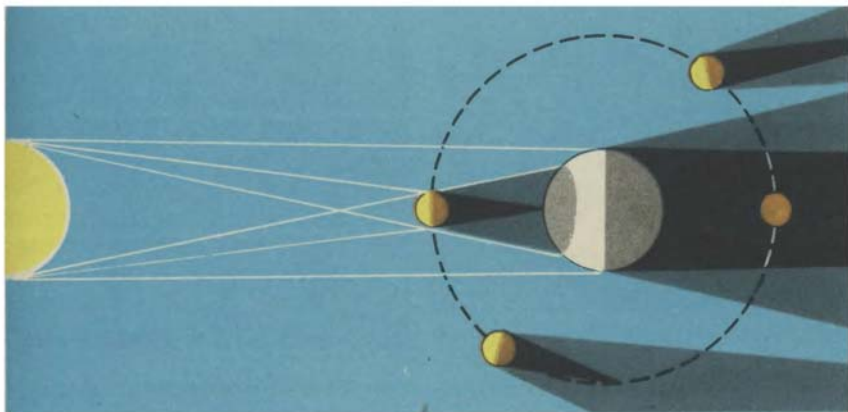


Рис. 22. Схема затмений Луны и Солнца (масштаб рисунка не соблюдается).

## УПРАЖНЕНИЕ 5

1. Серп Луны вечером обращен выпуклостью вправо и близок к горизонту. В какой стороне горизонта он находится?
2. Сегодня верхняя кульминация Луны произошла в полночь. Когда наступит следующая верхняя кульминация Луны?
3. Через какие промежутки времени звезды кульминируют на Луне?

**2. Лунные и солнечные затмения.** Земля и Луна, освещенные Солнцем (рис. 22), отбрасывают конусы тени (сходящиеся) и конусы полутени (расходящиеся). Когда Луна попадает в тень Земли полностью или частично, происходит *полное* или *частное затмение Луны*. С Земли оно видно одновременно отовсюду, где Луна над горизонтом. Фаза полного затмения Луны продолжается, пока Луна не начнет выходить из земной тени, и может длиться до 1 ч 40 мин. Солнечные лучи, преломляясь в атмосфере Земли, попадают в конус земной тени. При этом атмосфера сильно поглощает голубые и соседние с ними лучи (см. рис. 40), а пропускает внутрь конуса преимущественно красные, которые поглощаются слабее. Вот почему Луна при большой фазе затмения окрашивается в красноватый цвет, а не пропадает совсем. В старину затмения Луны боялись как страшного предзнаменования, считали, что «месяц обливается кровью». Лунные затмения бывают до трех раз в году, разделенные почти полугодовыми промежутками, и, конечно, лишь в полнолуние.

*Солнечное затмение как полное видно только там, где на Землю падает пятно лунной тени. Диаметр пятна не превышает 250 км, и поэтому одновременно полное затмение Солнца видно лишь на малом участке Земли. Когда Луна перемещается по своей орбите, ее тень движется по Земле с запада на восток, вы-*

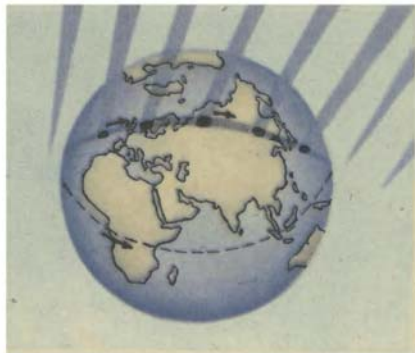


Рис. 23. Перемещение пятна лунной тени по Земле.

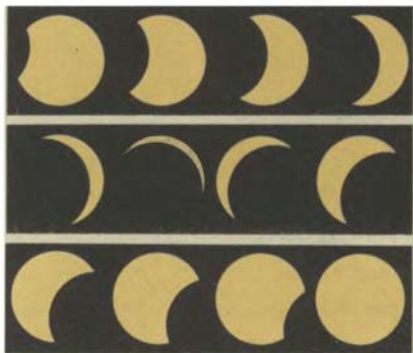


Рис. 24. Последовательность фаз частного затмения Солнца.

черчивая последовательно узкую полосу полного затмения (рис. 23).

Там, где на Землю падает полутьнь Луны, наблюдается частное затмение Солнца (рис. 24).

Вследствие небольшого изменения расстояний Земли от Луны и Солнца видимый угловой диаметр Луны бывает то немного больше, то немного меньше солнечного, то равен ему. В первом случае полное затмение Солнца длится до 7 мин 40 с, в третьем — только одно мгновение, а во втором случае Луна вообще не закрывает Солнца целиком, наблюдается *кольцеобразное затмение*. Тогда вокруг темного диска Луны виден сияющий ободок солнечного диска.

На основе точного знания законов движения Земли и Луны вычислены на сотни лет вперед моменты затмений и то, где и как они будут видны. Составлены карты, на которых показаны полоса полного затмения, линии (изофазы), где затмение будет видно в одинаковой фазе, и линии, относительно которых для каждой местности можно отсчитать моменты начала, конца и середины затмения.

Солнечных затмений в году для Земли может быть от двух до пяти, в последнем случае непременно частных. В среднем в одном и том же месте полное солнечное затмение бывает видно чрезвычайно редко — лишь однажды в течение 200—300 лет.

Особый интерес для науки представляют полные затмения Солнца, наводившие ранее суеверный ужас на невежественных людей. Такие затмения считали предзнаменованием войны, конца света.

Астрономы предпринимают экспедиции в полосу полного затмения, чтобы в течение секунд, редко минут полной фазы изучать внешние разреженные оболочки Солнца, невидимые непосредственно вне затмения. Во время полного солнечного затмения небо темнеет, вдоль горизонта горит заревое кольцо —

свечение атмосферы, освещенной лучами Солнца в местностях, где затмение неполное, вокруг черного солнечного диска простираются жемчужные лучи так называемой солнечной короны (см. рис. 69).

Если бы плоскость лунной орбиты совпадала с плоскостью эклиптики, то в каждое новолуние происходило бы солнечное, а в каждое полнолуние — лунное затмение. Но плоскость лунной орбиты пересекает плоскость эклиптики под углом  $5^{\circ}9'$ . Поэтому Луна обычно проходит севернее или южнее плоскости эклиптики, и затмений не происходит. Лишь в течение двух периодов в году, разделенных почти полугодом, когда в полнолунии и новолунии Луна находится вблизи эклиптики, возможно наступление затмения.

Плоскость лунной орбиты вращается в пространстве (это один из видов возмущений в движении Луны, производимых притяжением Солнца)<sup>1</sup> и за 18 лет делает полный поворот. Поэтому периоды возможных затмений смещаются по датам года. Ученые древности подметили периодичность в затмениях, связанную с этим 18-летним периодом, и могли поэтому приблизительно предсказывать наступление затмений. Сейчас ошибки предвычисления моментов затмения составляют менее 1 с.

Сведения о предстоящих затмениях и об условиях их видимости даются в «Школьном астрономическом календаре».

## УПРАЖНЕНИЕ 6

1. Вчера было полнолуние. Может ли быть затмение Солнца завтра? через неделю?
2. Послезавтра будет солнечное затмение. Будет ли сегодня лунная ночь?
3. Можно ли с Северного полюса Земли наблюдать солнечное затмение 15 ноября? 15 апреля? Ответ пояснить.
4. Можно ли с Северного полюса Земли видеть лунные затмения, происходящие в июне и ноябре? Ответ пояснить.
5. Как отличить фазу затмения Луны от одной из ее обычных фаз?
6. Какова продолжительность солнечных затмений на Луне по сравнению с продолжительностью их на Земле?

## 7. ВРЕМЯ И КАЛЕНДАРЬ

**1. Точное время и определение географической долготы.** Для измерения коротких промежутков времени в астрономии основной единицей является *средняя длительность солнечных суток*, т. е. *средний промежуток времени между двумя верхними (или нижними) кульминациями центра Солнца*. Среднее значение приходится использовать, потому что в течение года длительность солнечных суток слегка колеблется. Это связано с тем, что Земля

<sup>1</sup> О возмущениях сказано далее (см. с. 45).

обращается вокруг Солнца не по кругу, а по эллипсу и скорость ее движения при этом немного меняется. Это и вызывает небольшие неравномерности в видимом движении Солнца по эклиптике в течение года.

Момент верхней кульминации центра Солнца, как мы уже говорили, называется *истинным полднем*. Но для проверки часов, для определения точного времени нет надобности отмечать по ним именно момент кульминации Солнца. Удобнее и точнее отмечать моменты кульминации звезд, так как разность моментов кульминации любой звезды и Солнца точно известна для любого времени. Поэтому для определения точного времени с помощью специальных оптических приборов отмечают моменты кульминаций звезд и проверяют по ним правильность хода часов, «хранящих» время. Определяемое таким образом время было бы абсолютно точным, если бы наблюдаемое вращение небосвода происходило со строго постоянной угловой скоростью. Однако оказалось, что скорость вращения Земли вокруг оси, а следовательно и видимое вращение небесной сферы, испытывает со временем очень небольшие изменения. Поэтому для «хранения» точного времени сейчас используются специальные атомные часы, ход которых контролируется колебательными процессами в атомах, происходящими с неизменной частотой. Сравнение времени, определяемого по атомным часам и по видимому движению звезд, позволяет исследовать неравномерности вращения Земли.

Определение точного времени, его хранение и передача по радио всему населению составляет задачу *службы точного времени*, которая существует во многих странах.

Сигналы точного времени по радио принимают штурманы морского и воздушного флота, многие научные и производственные организации, нуждающиеся в знании точного времени. Знать точное время нужно, в частности, и для определения географических долгот разных пунктов земной поверхности.

Из курса физической географии СССР вам известны понятия местного, поясного и декретного счета времени, а также что разность географических долгот двух пунктов определяют по разности местного времени этих пунктов. Эта задача решается астрономическими методами, использующими наблюдения моментов кульминации звезд. На основании определения точных координат отдельных пунктов производится картографирование земной поверхности.

**2. Календарь.** Для счета больших промежутков времени люди с древних пор использовали продолжительность либо лунного месяца, либо солнечного года, т. е. продолжительность оборота Солнца по эклиптике. Год определяет периодичность сезонных изменений. **Солнечный год длится 365 солнечных суток 5 часов 48 минут 46 секунд.** Он практически несоизмерим с сутками и с длиной лунного месяца — периодом смены лунных фаз (около 29,5 сут). Это и составляет трудность создания простого и удоб-

ного календаря. За многовековую историю человечества создавалось и использовалось много различных систем календарей. Но все их можно разделить на три типа: солнечные, лунные и лунно-солнечные. Проще и удобнее солнечный календарь, применявшийся еще в Древнем Египте.

При составлении календаря необходимо учитывать, что продолжительность календарного года должна быть как можно ближе к продолжительности оборота Солнца по эклиптике и что календарный год должен содержать целое число солнечных суток, так как неудобно начинать год в разное время суток.

Этим условиям удовлетворял календарь, разработанный александрийским астрономом Созигеном и введенный в 46 г. до н. э. в Риме Юлием Цезарем. Впоследствии, как вам известно из курса физической географии, он получил название *юлианского* или *старого стиля*. В этом календаре годы считаются трижды подряд по 365 сут и называются простыми, следующий за ними год — в 366 сут. Он называется високосным. Високосными годами в юлианском календаре являются те годы, номера которых без остатка делятся на 4.

Средняя продолжительность года по этому календарю составляет 365 сут 6 ч, т. е. она примерно на 11 мин длиннее истинной. В силу этого старый стиль отставал от действительного течения времени примерно на 3 сут за каждые 400 лет.

В настоящее время в большинстве стран мира принят солнечный календарь, называемый григорианским.

В *григорианском* календаре (*новом стиле*), введенном в СССР в 1918 г. и еще ранее принятом в большинстве стран, годы, оканчивающиеся на два нуля, за исключением 1600, 2000, 2400 и т. п. (т. е. тех, у которых число сотен делится на 4 без остатка), не считаются високосными. Этим и исправляют ошибку в 3 сут, накапливающуюся за 400 лет. Таким образом, средняя продолжительность года в новом стиле оказывается очень близкой к периоду обращения Земли вокруг Солнца.

К XX в. разница между новым стилем и старым (юлианским) достигла 13 сут. Поскольку в нашей стране новый стиль был введен только в 1918 г., то Октябрьская революция, совершенная в 1917 г. 25 октября (по старому стилю), отмечается 7 ноября (по новому стилю).

Разница между старым и новым стилями в 13 сут сохранится и в XXI в., а в XXII в. возрастет до 14 сут.

Новый стиль, конечно, не является совершенно точным, но ошибка в 1 сут накопится по нему только за 3300 лет.

#### 8. БОРЬБА ЗА НАУЧНОЕ МИРОВОЗЗРЕНИЕ

Правильное понимание наблюдаемых небесных явлений складывалось веками. Вы знаете о зарождении астрономии в Древнем Египте и Китае, о более поздних достижениях древнегреческих ученых, о наблюдениях жрецов и об их ложных представлениях о природе, об использовании ими знаний для собственной выгоды. Жрецы создали астрологию — ложное учение о влиянии планет на характер и судьбы людей и народов и о мнимой возможности предсказывать судьбу по расположению светил.

Известна вам и геоцентрическая система мира, разработанная во II в. н. э. древнегреческим ученым *Клавдием Птолемеем*. Он в центр мира «поставил» хотя и шарообразную, но неподвижную Землю, вокруг которой обращались все остальные светила (рис. 25). Видимое петлеобразное движение планет Птолемей объяснил сочетанием двух равномерных круговых движений: движением самой планеты по малой окружности и обращением центра этой окружности вокруг Земли. Однако по мере накопления данных наблюдений о движении планет теория Птолемея требовала все больших усложнений, которые делали ее громоздкой и неправдоподобной. Очевидная искусственность все усложняющейся системы и отсутствие достаточного согласия между теорией и наблюдениями требовали ее замены. Это и было сделано в XVI в. великим польским ученым *Николаем Коперником* (1473—1543).

Рис. 25. Система мира, по Птолемию.



Коперник отбросил догматическое положение о неподвижности Земли, веками владевшее умами людей. Поставив Землю в число рядовых планет, он указал, что Земля, занимая третье место от Солнца, наравне со всеми планетами движется в пространстве вокруг Солнца и, кроме того, вращается вокруг своей оси. Коперник смело доказывал, что именно вращением Земли и ее обращением вокруг Солнца можно правильно объяснить известные тогда небесные явления и видимое петлеобразное движение планет (см. рис. 19

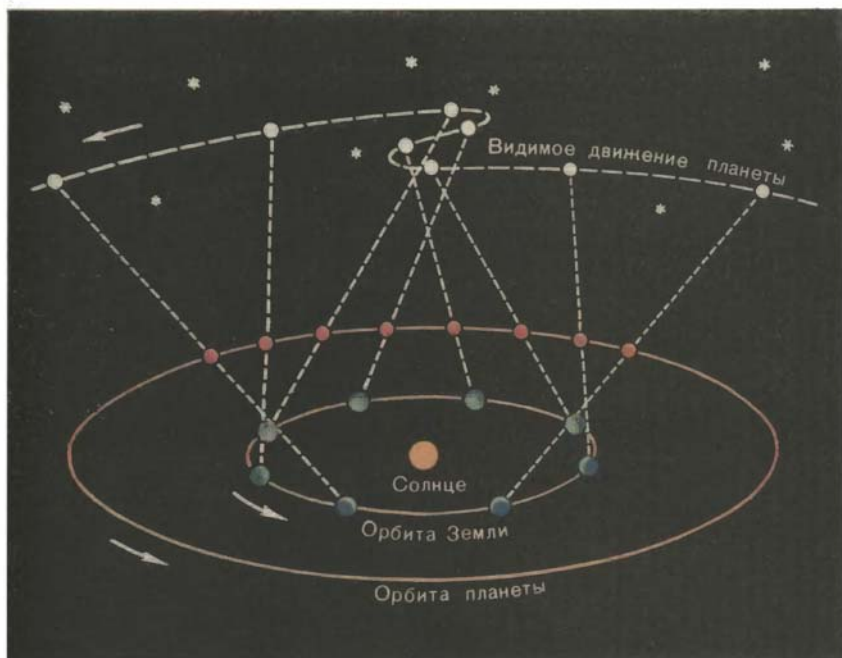
и 26). Эта революция в астрономии и в мировоззрении, сделанная гелиоцентрической теорией Коперника, как отметил Ф. Энгельс, освободила исследование природы от религии.

*Галилео Галилей* (1564—1642), один из первых направивший телескоп на небо, правильно истолковал свои открытия как подтверждения теории Коперника. Так, Галилей открыл фазы у Венеры. Он нашел, что такая их смена возможна лишь в том случае, если Венера обращается вокруг Солнца, а не вокруг Земли. На Луне Галилей обнаружил горы и измерил их высоту. Оказалось, что между Землей и небесными телами нет принципиального различия: например,



**Николай Коперник** (1473—1543). Польский астроном, обосновавший гелиоцентрическую систему мира, согласно которой Земля вместе с другими планетами обращается вокруг Солнца.

Рис. 26. При наблюдении с Земли проекция планеты на небо выписывает петлю (чертеж сделан в проекции «сбоку»).





горы, подобные горам на Земле, существовали и на небесном теле. И становилось легче поверить, что Земля — это лишь одно из таких тел.

У планеты Юпитер Галилей открыл четыре спутника. Их обращение вокруг Юпитера опровергло представление о том, что лишь Земля находится в центре вращения. На Солнце Галилей обнаружил пятна и по их перемещению заключил, что Солнце вращается вокруг своей оси. Существование пятен на Солнце, считавшемся эмблемой «небесной чистоты», тоже опровергало идею о будто бы принципиальном различии между земным и небесным.

Млечный Путь в поле зрения телескопа оказался скоплением множества слабых звезд. Вселенная предстала перед человеком как нечто несравненно более грандиозное, чем маленький мирок, кружащийся якобы вокруг Земли, по представлениям Аристотеля, Птолемея и средневековых церковников. Церковь, как вы уже знаете из курсов истории и физики, расправилась с *Джордано Бруно* (1548—1600) за его философские выводы о строении мира и обитаемости небесных тел. За право распространять подлинные знания об устройстве Вселенной вел борьбу против церковников *М. В. Ломоносов* (1711—1765). Ломоносов в остроумной и привлекательной стихотворно-сатирической форме высмеивал мракобесов.

Раскрепощение человеческой мысли, отказ от слепого следования за ограниченными догматами церкви, призыв к смелому материалистическому изучению природы — вот главный, общечеловеческий итог борьбы Коперника, Бруно и Галилея за научное мировоззрение.

## 9. СОСТАВ И МАСШТАБЫ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Вы уже знаете, что Солнечную систему составляют Солнце и планеты с их спутниками, что звезды расположены от нас несравнимо дальше, чем планеты. Самая далекая из известных планет — Плутон отстоит от Земли почти в 40 раз дальше, чем Солнце. Но даже ближайшая к Солнцу звезда отстоит от нас еще в 7000 раз дальше. Это огромное различие расстояний до планет и звезд надо отчетливо осознать.

Девять больших планет обращаются вокруг Солнца по эллипсам (мало отличающимся от окружностей) почти в одной плоскости. В порядке удаления от Солнца — это *Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун и Плутон*. Кроме них в Солнечной системе множество малых планет (астероидов), большинство которых движется между орбитами Марса и Юпитера (см. передний форзац). Вокруг Солнца обращаются также кометы<sup>1</sup> — небольшие тела, окруженные об-

<sup>1</sup> В переводе с древнегреческого комета означает «косматое светило».

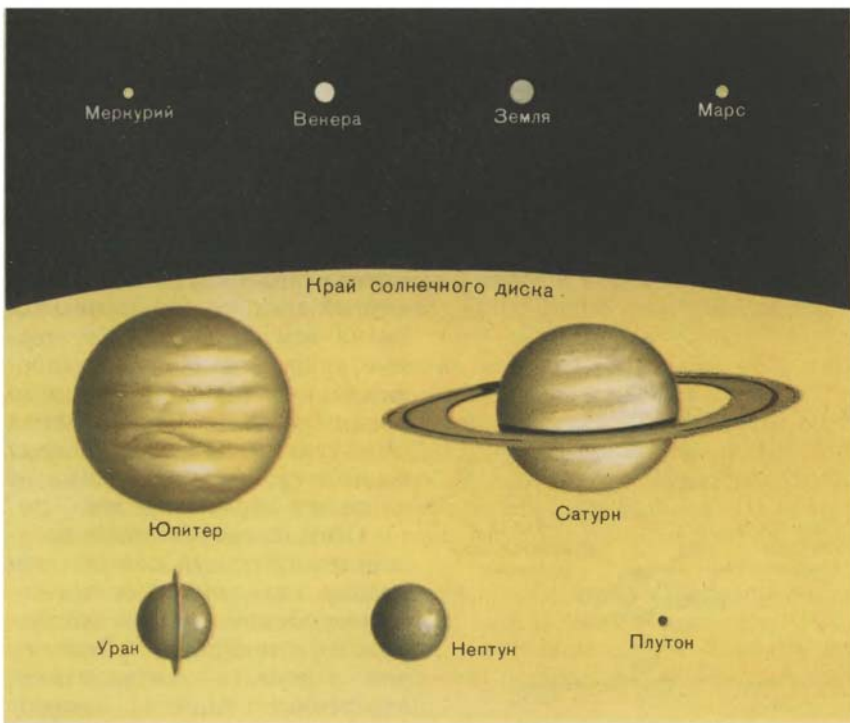
ширной оболочкой из разреженного газа. Большинство из них имеет эллиптические орбиты, выходящие за орбиту Плутона. Кроме этого, вокруг Солнца обращаются по эллипсам бесчисленные метеорные тела размером от песчинки до мелкого астероида. Вместе с астероидами и кометами они относятся к малым телам Солнечной системы. Пространство между планетами заполнено крайне разреженным газом и космической пылью. Его пронизывают электромагнитные излучения; оно носитель магнитного и гравитационного полей.

*Солнце в 109 раз больше Земли по диаметру и примерно в 333 000 раз массивнее Земли. Масса всех планет составляет всего лишь около 0,1% от массы Солнца, поэтому оно силой своего притяжения управляет движением всех членов Солнечной системы.*

#### ЗАДАНИЕ 4

По приложению V ознакомьтесь со средними расстояниями планет от Солнца, периодами их обращения и вращения вокруг оси, с экваториальными диаметрами и другими характеристиками. Размеры планет и Солнца наглядно представлены на рисунке 27.

Рис. 27. Сравнение размеров планет и Солнца.



**1. Конфигурации планет.** Конфигурациями планет называют некоторые характерные взаимные расположения планет, Земли и Солнца.

Прежде всего заметим, что условия видимости планет с Земли резко различаются для планет *внутренних* (Венера и Меркурий), орбиты которых лежат внутри земной орбиты, и для планет *внешних* (все остальные).

Внутренняя планета может оказаться между Землей и Солнцем или за Солнцем. В таких положениях планета невидима, так как теряется в лучах Солнца. Эти положения называются соединениями планеты с Солнцем. В *нижнем соединении* планета ближе всего к Земле, а в *верхнем соединении* она от нас дальше всего (рис. 28).

Легко видеть, что угол между направлениями с Земли на Солнце и на внутреннюю планету никогда не превышает определенной величины, оставаясь острым. Этот *предельный угол* называется *наибольшим удалением планеты от Солнца*. Наибольшее удаление Меркурия доходит до  $28^\circ$ , Венеры — до  $48^\circ$ . Поэтому *внутренние планеты всегда видны вблизи Солнца* либо утром в восточной стороне неба, либо вечером в западной стороне неба. Из-за близости Меркурия к Солнцу увидеть эту планету невооруженным глазом удается редко.

Венера отходит от Солнца на небе на больший угол, и она бывает ярче всех звезд и планет. После захода Солнца она дольше остается на небе в лучах зари и даже на ее фоне видна отчетливо. Также хорошо она бывает видна и в лучах утренней зари. Легко понять, что в южной стороне неба и среди ночи ни Меркурия, ни Венеры увидеть нельзя.

Рис. 28. Конфигурации планет.



Если, проходя между Землей и Солнцем, Меркурий или Венера проецируются на солнечный диск, то они тогда видны на нем как маленькие черные кружочки. Подобные прохождения по диску Солнца во время нижнего соединения Меркурия и особенно Венеры бывают сравнительно редко, не чаще чем через 7—8 лет.

Освещенное Солнцем полушарие внутренней планеты при разных положениях ее относительно Земли нам видно по-разному (рис. 29). Поэтому для земных наблюдателей *внутренние планеты меняют*

свои фазы, как Луна. В нижнем соединении с Солнцем планеты повернуты к нам своей неосвещенной стороной и невидимы. Немного в стороне от этого положения они имеют вид серпа. С увеличением углового расстояния планеты от Солнца угловой диаметр планеты убывает, а ширина серпа делается все большей. Когда угол при планете между направлениями на Солнце и на Землю составляет  $90^\circ$ , мы видим ровно половину освещенного полушария планеты. Полностью такая планета обращена к нам своим дневным полушарием во время верхнего соединения. Но тогда она теряется в солнечных лучах и невидима.

Внешние планеты могут находиться по отношению к Земле за Солнцем (в соединении с ним), как Меркурий и Венера, и тогда они тоже теряются в солнечных лучах. Но они могут находиться и на продолжении прямой линии Солнце — Земля, так что Земля при этом оказывается между планетой и Солнцем. Такая конфигурация называется противостоянием. Она наиболее удобна для наблюдений планеты, так как в это время планета, во-первых, ближе всего к Земле, во-вторых, повернута к ней своим освещенным полушарием и, в-третьих, находясь на небе в противоположном Солнцу месте, планета бывает в верхней кульминации около полуночи и, следовательно, долго видна и до и после полуночи.

Моменты конфигураций планет, условия их видимости в данном году приводятся в «Школьном астрономическом календаре».

**2. Синодические периоды обращения планет и их связь с сидерическими периодами.** Мы наблюдаем планеты с Земли, которая сама обращается вокруг Солнца. Это движение Земли необходимо учитывать, чтобы узнать периоды обращения планет в невращающейся инерциальной системе отсчета, или, как часто говорят, по отношению к звездам.

*Период обращения планет вокруг Солнца по отношению к звездам называется звездным или сидерическим периодом.*

Чем ближе планета к Солнцу, тем больше ее линейная и угловая скорости и *короче* звездный период обращения вокруг Солнца.



Рис. 29. Расположение орбит Меркурия и Венеры относительно горизонта для наблюдателя, когда Солнце заходит (указаны фазы и видимый диаметр планет в разных положениях относительно Солнца при одном и том же положении наблюдателя).

! Убедитесь в этом, изучив приложение V.

Однако из непосредственных наблюдений определяют не си-дерический период обращения планеты, а промежуток времени, протекающий между ее двумя последовательными одноименными конфигурациями, например между двумя последовательными соединениями (противостояниями). Этот период называется *синодическим периодом обращения*. Определив из наблюдений синодические периоды  $S$ , путем вычислений находят звездные периоды обращения планет  $T$ .

Рассмотрим, как же связаны синодический и звездный периоды обращения планет на примере Марса.

Скорость движения планет тем больше, чем они ближе к Солнцу. Поэтому после противостояния Марса Земля станет его обгонять. С каждым днем она будет отходить от него все дальше. Когда она обгонит его на полный оборот, то снова произойдет противостояние.

*Синодический период внешней планеты — это промежуток времени, по истечении которого Земля обгоняет планету на  $360^\circ$  при их движении вокруг Солнца.*

Угловая скорость Земли (угол, описываемый ею за сутки) составляет  $\frac{360^\circ}{T_\oplus}$ , угловая скорость Марса —  $\frac{360^\circ}{T}$ , где  $T_\oplus$  — число суток в году,  $T$  — звездный период обращения планеты, выраженный в сутках. Следовательно, за сутки Земля обгоняет планету на  $\frac{360^\circ}{T_\oplus} - \frac{360^\circ}{T}$ . Если  $S$  — синодический период планеты в сутках, то через  $S$  суток Земля обгонит планету на  $360^\circ$ , т. е.

$$\left(\frac{360^\circ}{T_\oplus} - \frac{360^\circ}{T}\right)S = 360^\circ, \quad \text{или} \quad \frac{1}{S} = \frac{1}{T_\oplus} - \frac{1}{T}.$$

Для внутренних планет, обращающихся быстрее, чем Земля,  $T_\oplus > T$  (планета будет обгонять Землю), надо писать:

$$\left(\frac{360^\circ}{T} - \frac{360^\circ}{T_\oplus}\right)S = 360^\circ, \quad \text{или} \quad \frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{T_\oplus}.$$

Для Венеры синодический период составляет 584 сут, для Марса 780 сут.

! Проверьте это, используя данные приложения V.

## УПРАЖНЕНИЕ 7

1. Звездный период обращения Юпитера равен 12 годам. Через какой промежуток времени повторяются его противостояния?
2. Синодический период обращения воображаемой планеты составляет 3 года. Каков звездный период ее обращения около Солнца?
3. Какова должна быть продолжительность звездного и синодического периодов обращения планеты в случае их равенства?

Заслуга открытия законов движения планет принадлежит выдающемуся немецкому ученому *Иоганну Кеплеру* (1571—1630). В начале XVII в. Кеплер, изучая обращение Марса вокруг Солнца, установил три закона движения планет.

**Первый закон Кеплера.** Каждая планета обращается по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце (рис. 30).

Эллипсом (см. рис. 30) называется плоская замкнутая кривая, имеющая такое свойство, что сумма расстояний каждой ее точки от двух точек, называемых фокусами, остается постоянной. Эта сумма расстояний равна длине большой оси  $DA$  эллипса. Точка  $O$  — центр эллипса,  $K$  и  $S$  — фокусы. Солнце находится в данном случае в фокусе  $S$ .  $DO=OA=a$  — большая полуось эллипса. Большая полуось является средним расстоянием планеты от Солнца:

$$a = \frac{DS + SA}{2}.$$

Ближайшая к Солнцу точка орбиты  $A$  называется перигелием, а самая далекая от него точка  $D$  — афелием.

Степень вытянутости эллипса характеризуется его эксцентриситетом  $e$ . Эксцентриситет равен отношению расстояния фокуса от центра ( $OK=OS$ ) к длине большой полуоси  $a$ , т. е.

$e = \frac{OS}{OA}$ . При совпадении фокусов с центром ( $e=0$ ) эллипс превращается в окружность.

Орбиты планет — эллипсы, мало отличающиеся от окружностей; их эксцентриситеты малы. Например, эксцентриситет орбиты Земли  $e=0,017$ .

**Второй закон Кеплера** (закон площадей). Радиус-вектор планеты за одинаковые промежутки времени описывает равные площади, т. е. площади  $SAH$  и  $SCD$  равны (см. рис. 30), если дуги  $\overset{\frown}{AH}$  и  $\overset{\frown}{CD}$  описаны планетой за одинаковые промежутки времени. Но длины этих дуг, ограничивающих равные площади, различны:  $\overset{\frown}{AH} > \overset{\frown}{CD}$ . Следовательно, линейная скорость движения планеты неодинакова в разных точках ее орбиты. Скорость планеты при движении ее по орбите тем больше, чем ближе

Рис. 30. Закон площадей (второй закон Кеплера).





**Иоганн Кеплер (1571—1630).**  
 Выдающийся немецкий астроном и математик, открывший законы движения планет вокруг Солнца. Кеплер был активным сторонником учения Коперника и своими работами способствовал его утверждению и развитию.

она к Солнцу. В перигелии скорость планеты наибольшая, в афелии наименьшая. Таким образом, второй закон Кеплера количественно определяет изменение скорости движения планеты по эллипсу.

**Третий закон Кеплера.** Квадраты звездных периодов обращения планет относятся как кубы больших полуосей их орбит. Если большую полуось орбиты и звездный период обращения одной планеты обозначить через  $a_1, T_1$ , а другой планеты — через  $a_2, T_2$ , то формула третьего закона будет

$$\text{такова: } \frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}.$$

Этот закон Кеплера связывает средние расстояния планет от Солнца с их звездными периодами и позволяет установить относительные расстояния

планет от Солнца, поскольку звездные периоды планет уже были вычислены, исходя из синодических периодов, иначе говоря, позволяет выразить большие полуоси всех планетных орбит в единицах большой полуоси земной орбиты.

**Большая полуось земной орбиты принята за астрономическую единицу расстояний ( $a_{\oplus} = 1$  а. е.).**

Ее значение в километрах было определено позднее, лишь в XVIII в.

**ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ**

**Задача.** Противостояния некоторой планеты повторяются через 2 года. Чему равна большая полуось ее орбиты?

Дано:  
 $S = 2$  года  
 $T_{\oplus} = 1$  год  
 $a_{\oplus} = 1$  а. е.  


---

 $a = ?$

Решение.

Большую полуось орбиты можно определить из третьего закона Кеплера:  $\frac{T^2}{T_{\oplus}^2} = \frac{a^3}{a_{\oplus}^3}$ ,  $a^3 = \frac{a_{\oplus}^3 T^2}{T_{\oplus}^2}$ , а звездный период — из соотношения между сидерическим и синодическим периодами:

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_{\oplus}} - \frac{1}{T}, \quad T = \frac{T_{\oplus} S}{S - T_{\oplus}}, \quad T = \frac{1 \text{ год} \cdot 2 \text{ года}}{2 \text{ года} - 1 \text{ год}} = 2 \text{ года}.$$

$$a = \sqrt[3]{\frac{(1 \text{ а. е.})^3 (2 \text{ года})^2}{(1 \text{ год})^2}} \approx 1,59 \text{ а. е.}$$

Ответ:  $a \approx 1,59$  а. е.

## УПРАЖНЕНИЕ 8

1. Марс дальше от Солнца, чем Земля, в 1,5 раза. Какова продолжительность года на Марсе? Орбиты планет считать круговыми.
2. Определите период обращения искусственного спутника Земли, если наивысшая точка его орбиты над Землей 5000 км, а наинизшая 300 км. Землю считать шаром радиусом 6370 км. Сравните движение спутника с обращением Луны.
3. Синодический период планеты 500 сут. Определите большую полуось ее орбиты и звездный период обращения.

## 12. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЙ И РАЗМЕРОВ ТЕЛ В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ

**1. Определение расстояний.** Среднее расстояние всех планет от Солнца в астрономических единицах можно вычислить, используя третий закон Кеплера. Определив *среднее расстояние Земли от Солнца* (т. е. значение 1 а. е.) в километрах, можно найти в этих единицах расстояния до всех планет Солнечной системы.

С 40-х годов нашего века радиотехника позволила определять расстояния до небесных тел посредством радиолокации, о которой вы знаете из курса физики. Советские и американские ученые уточнили радиолокацией расстояния до Меркурия, Венеры, Марса и Юпитера.

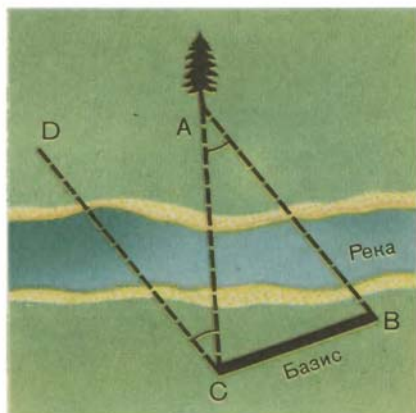
*Вспомните, как по времени прохождения радиолокационного сигнала можно определить расстояние до объекта. !*

Классическим способом определения расстояний был и остается угломерный геометрический способ. Им определяют расстояния и до далеких звезд, к которым метод радиолокации неприменим. Геометрический способ основан на явлении *параллактического смещения*.

*Параллактическим смещением называется изменение направления на предмет при перемещении наблюдателя* (рис. 31).

Посмотрите на вертикально поставленный карандаш сначала одним глазом, затем другим. Вы увидите, как он при этом переменил положение на фоне далеких предметов, направле-

Рис. 31. Измерение расстояния до недоступного предмета по параллактическому смещению.





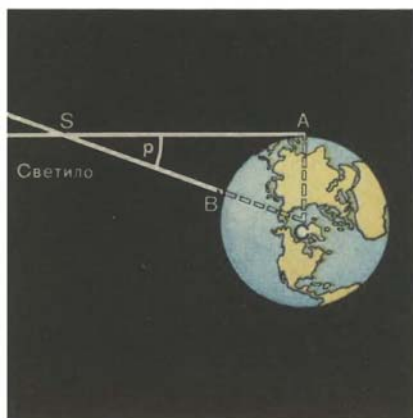
ние на него изменилось. Чем дальше вы отодвинете карандаш, тем меньше будет параллактическое смещение. Но чем дальше отстоят друг от друга точки наблюдения, т. е. чем больше базис, тем больше параллактическое смещение при той же удаленности предмета. В нашем примере базисом было расстояние между глазами. Для измерения расстояний до тел Солнечной системы за базис удобно взять радиус Земли. Наблюдают положения светила, например Луны, на фоне далеких звезд одновременно из двух различных пунктов. Расстояние между ними должно быть как можно больше, а соединяющий их отрезок должен составлять с направлением на светило угол, по возможности близкий к прямому, чтобы параллактическое смещение было максимальным. Определив из двух точек  $A$  и  $B$  (рис. 32) направления на наблюдаемый объект, несложно вычислить угол  $p$ , под которым с этого объекта был бы виден отрезок, равный радиусу Земли. Следовательно, чтобы определить расстояния до небесных тел, нужно знать значение базиса — радиуса нашей планеты.

**2. Размер и форма Земли.** На фотоснимках, сделанных из космоса, Земля выглядит как шар, освещенный Солнцем, и показывает такие же фазы, как Луна (см. рис. 42 и 43).

Точный ответ о форме и размере Земли дают *градусные измерения*, т. е. измерения в километрах длины дуги в  $1^\circ$  в разных местах на поверхности Земли. Этот способ еще в III в. до н. э. применял живший в Египте греческий ученый *Эратосфен*. Теперь этот способ используется в *геодезии* — науке о форме Земли и об измерениях на Земле с учетом ее кривизны.

На ровной местности выбирают два пункта, лежащие на одном меридиане, и определяют длину дуги между ними в градусах и километрах. Затем вычисляют, скольким километрам соответствует длина дуги, равная  $1^\circ$ . Ясно, что длина дуги меридиана между

Рис. 32. Горизонтальный параллакс светила.



дугу выбранными точками в градусах равна разности географических широт этих точек:  $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$ . Если длина этой дуги, измеренная в километрах, равна  $l$ , то при шарообразности Земли одному градусу ( $1^\circ$ ) дуги будет соответствовать длина в километрах:  $n = \frac{l}{\Delta\varphi}$ . Тогда длина окружности земного меридиана  $L$ , выраженная в километрах, равна  $L = 360^\circ n$ . Разделив ее на  $2\pi$ , получим радиус Земли.

Одна из наибольших дуг меридиана от Ледовитого океана до Черного моря была измерена в России и в Скандина-

вии в середине XIX в. под руководством *В. Я. Струве* (1793—1864), директора Пулковской обсерватории. Большие геодезические измерения в нашей стране выполнены после Великой Октябрьской социалистической революции.

Градусные измерения показали, что длина  $1^\circ$  дуги меридиана в километрах в полярной области наибольшая (111,7 км), а на экваторе наименьшая (110,6 км). Следовательно, на экваторе кривизна поверхности Земли больше, чем у полюсов, а это говорит о том, что Земля не является шаром. Экваториальный радиус Земли больше полярного на 21,4 км. Поэтому Земля (как и другие планеты) вследствие вращения сжата у полюсов.

Шар, равновеликий нашей планете, имеет радиус, равный 6370 км. Это значение принято считать радиусом Земли.

## УПРАЖНЕНИЕ 9

1. Если астрономы могут определять географическую широту с точностью до  $0,1''$ , то какой максимальной ошибке в километрах вдоль меридиана это соответствует?
2. Вычислите в километрах длину морской мили, которая равна длине  $1'$  дуги экватора.

**3. Параллакс. Значение астрономической единицы.** Угол, под которым со светила виден радиус Земли, перпендикулярный к лучу зрения, называется горизонтальным параллаксом.

Чем больше расстояние до светила, тем меньше угол  $p$ . Этот угол равен параллактическому смещению светила для наблюдателей, находящихся в точках  $A$  и  $B$  (см. рис. 32), точно так же как  $\angle CAB$  для наблюдателей в точках  $C$  и  $B$  (см. рис. 31).  $\angle CAB$  удобно определять по равному ему  $\angle DCA$ , а равны они как углы при параллельных прямых ( $DC \parallel AB$  по построению).

Расстояние (см. рис. 32)

$$SC = D = \frac{R_{\oplus}}{\sin p},$$

где  $R_{\oplus}$  — радиус Земли. Приняв  $R$  за единицу, можно выразить расстояние до светила в земных радиусах.

Горизонтальный параллакс Луны составляет  $57'$ . Все планеты и Солнце гораздо дальше, и их параллаксы составляют секунды дуги. Параллакс Солнца, например,  $p_{\odot} = 8,8''$ . Параллаксу Солнца соответствует среднее расстояние Земли от Солнца, примерно равное 150 000 000 км. Это расстояние принимается за одну астрономическую единицу (1 а. е.). В астрономических единицах часто измеряют расстояния между телами Солнечной системы.

При малых углах  $\sin p \approx p$ , если угол  $p$  выражен в радианах. Если  $p$  выражен в секундах дуги, то вводится множитель

$$\sin 1'' = \frac{1}{206265}, \text{ где } 206265 \text{ — число секунд в одном радиане.}$$

$$\text{Тогда } \sin p = \rho \sin 1'' = \frac{\rho}{206265''}$$

Знание этих соотношений упрощает вычисление расстояния по известному параллаксу:  $D = \frac{206265''}{\rho} R_{\oplus}$ .

#### ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

**Задача.** На каком расстоянии от Земли находится Сатурн, когда его горизонтальный параллакс равен  $0,9''$ ?

Дано:

$$\rho = 0,9''$$

$D = ?$

Решение.

Известно, что параллакс Солнца  $\rho_{\odot} = 8,8''$ , расстояние до него  $D_{\odot} = 1$  а. е.

Тогда, исходя из формулы  $D = \frac{206265''}{\rho} R_{\oplus}$ , имеем  $\frac{D}{D_{\odot}} = \frac{\rho_{\odot}}{\rho}$   
отсюда  $D = \frac{D_{\odot} \rho_{\odot}}{\rho}$

$$D = \frac{1 \text{ а. е. } \cdot 8,8''}{0,9''} \approx 9,8 \text{ а. е.}$$

Ответ:  $D \approx 9,8$  а. е.

#### УПРАЖНЕНИЕ 10

1. Чему равен горизонтальный параллакс Юпитера, наблюдаемого с Земли в противостоянии, если Юпитер в 5 раз дальше от Солнца, чем Земля?
2. Расстояние Луны от Земли в ближайшей к Земле точке орбиты (перигее) 363 000 км, а в наиболее удаленной точке (апогее) 405 000 км. Определите горизонтальный параллакс Луны в этих положениях.

**4. Определение размеров светил.** На рисунке 33  $T$  — центр Земли,  $M$  — центр светила линейного радиуса  $r$ . По определению горизонтального параллакса радиус Земли  $R$  виден со светила под углом  $\rho$ . Радиус же светила  $r$  виден с Земли под углом  $\varrho$ . Поскольку

$$D = \frac{R}{\sin \rho} \text{ и } D = \frac{r}{\sin \varrho}, \text{ то } r = \frac{\sin \varrho}{\sin \rho} R.$$

Если углы  $\varrho$  и  $\rho$  малы, то синусы пропорциональны углам, и можно написать:

$$r = \frac{\varrho}{\rho} R.$$

Этот способ определения размеров светил применим только тогда, когда виден диск светила.

Зная расстояние  $D$  до светила и измерив его угловой радиус  $\varrho$ , можно вычислить его линейный радиус  $r$ :  $r = D \sin \varrho$ , или  $r = D \varrho$ , если угол  $\varrho$  выражен в радианах.

#### ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

**Задача.** Чему равен линейный диаметр Луны, если она видна с расстояния 400 000 км под углом примерно  $0,5^\circ$ ?

Д а н о:

$$D = 400\,000 \text{ км}$$

$$q = 0,5^\circ$$


---


$$d = ?$$

Р е ш е н и е.

$$d = Dq, \text{ если } q \text{ выражено в радианах.}$$

Следовательно,

$$d = \frac{400\,000 \text{ км} \cdot 0,5 \cdot 3600''}{206265''} = 3490 \text{ км.}$$

О т в е т:  $d = 3490 \text{ км.}$

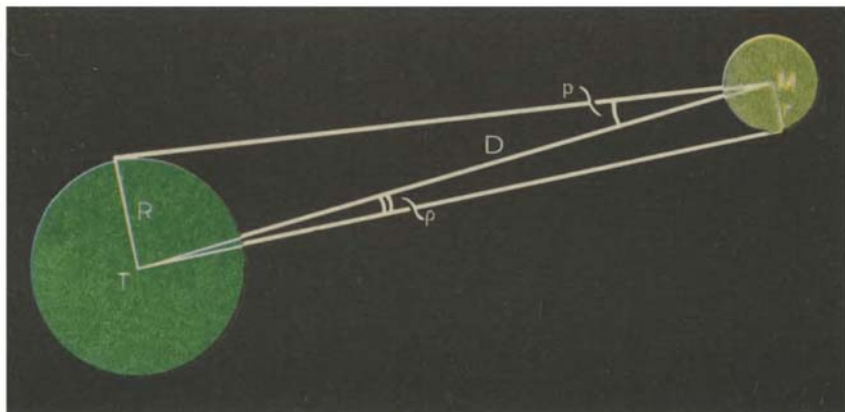
## УПРАЖНЕНИЕ 11

1. Во сколько раз Солнце больше, чем Луна, если их угловые диаметры одинаковы, а горизонтальные параллаксы соответственно равны  $8,8''$  и  $57''$ ?
2. Чему равен угловой диаметр Солнца, видимого с Плутона?
3. Во сколько раз больше получает энергии от Солнца каждый квадратный метр поверхности Меркурия, чем Марса? Нужные данные возьмите из приложений.
4. В каких точках небосвода земной наблюдатель видит светило, находясь в точках  $B$  и  $A$  (рис. 32)?
5. В каком отношении численно меняется видимый с Земли и с Марса угловой диаметр Солнца от перигелия к афелию, если эксцентриситеты их орбит соответственно равны  $0,017$  и  $0,093$ ?

## ЗАДАНИЕ 5

1. Измерьте транспортиром  $\angle DCA$  (рис. 31) и  $\angle ASC$  (рис. 32), линейкой — длину базисов. Вычислите по ним соответственно расстояния  $CA$  и  $SC$  и проверьте результат прямым измерением по рисункам.
2. Измерьте на рисунке 33 транспортиром углы  $p$  и  $q$  и определите по полученным данным отношение диаметров изображенных тел.
3. Определите периоды обращения искусственных спутников, двигающихся по эллиптическим орбитам, изображенным на рисунке 34, измерив их большие оси линейкой и приняв радиус Земли равным  $6370 \text{ км.}$

Рис. 33. Определение линейных размеров небесных светил по их угловым размерам.



### 13. ДВИЖЕНИЕ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СИЛ ТЯГОТЕНИЯ

**1. Космические скорости и форма орбит.** Исходя из наблюдений движения Луны и анализируя законы движения планет, открытые Кеплером, *И. Ньютон* (1643—1727) установил закон всемирного тяготения. По этому закону, как вы уже знаете из курса физики, все тела во Вселенной притягиваются друг к другу с силой, прямо пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

здесь  $m_1$  и  $m_2$  — массы двух тел,  $r$  — расстояние между ними, а  $G$  — коэффициент пропорциональности, называемый гравитационной постоянной. Его численное значение зависит от единиц, в которых выражены сила, масса и расстояние. Закон всемирного тяготения объясняет движение планет и комет вокруг Солнца, движение спутников вокруг планет, двойных и кратных звезд вокруг их общего центра масс.

Ньютон доказал, что под действием взаимного тяготения тела могут двигаться друг относительно друга по *эллипсу* (в частности, по *кругу*), по *параболе* и по *гиперболе*. Ньютон установил, что *вид орбиты, которую описывает тело, зависит от его скорости в данном месте орбиты* (рис. 34).

При некоторой скорости тело описывает *окружность* около притягивающего центра. Такую скорость называют первой космической или *круговой* скоростью, ее сообщают телам, запускаемым в качестве искусственных спутников Земли по круговым орбитам. (Вывод формулы для вычисления первой космической скорости известен из курса физики.) Первая космическая скорость вблизи поверхности Земли составляет около 8 км/с (7,9 км/с).

Если телу сообщить скорость, в  $\sqrt{2}$  раза бóльшую круговой (11,2 км/с), называемую второй космической или *параболической* скоростью, то тело навсегда удалится от Земли и может стать спутником Солнца. В этом случае движение тела будет происходить по *параболе* относительно Земли. При еще большей скорости относительно Земли тело полетит по *гиперболе*. Двигаясь по параболе или гиперболе, тело только однажды огибает Солнце и навсегда удаляется от него.

Средняя скорость движения Земли по орбите 30 км/с. Орбита Земли близка к окружности, следовательно, скорость движения Земли по орбите близка к круговой на расстоянии Земли от Солнца. Параболическая скорость на расстоянии Земли от Солнца равна  $30\sqrt{2}$  км/с  $\approx 42$  км/с. При такой скорости относительно Солнца тело с орбиты Земли покинет Солнечную систему.

**2. Возмущения в движении планет.** Законы Кеплера точно соблюдаются только тогда, когда рассматривают движение двух изолированных тел под влиянием их взаимного притяжения. В Солнечной системе планет много, все они не только притягиваются Солнцем, но и притягивают друг друга, поэтому их движения не в точности подчиняются законам Кеплера.

*Отклонения от движения, которое происходило бы строго по законам Кеплера, называются возмущениями.* В Солнечной системе возмущения невелики, потому что притяжение каждой планеты Солнцем гораздо сильнее притяжения других планет.

Наибольшие возмущения в Солнечной системе вызывает планета Юпитер, которая примерно в 300 раз массивнее Земли. Юпитер оказывает особенно сильное влияние на движение астероидов и комет, когда они близко к нему подходят. В частности, если направления ускорений кометы, вызванных притяжением Юпитера и Солнца, совпадают, то комета может развить столь большую скорость, что, двигаясь по гиперболе, навсегда уйдет из Солнечной системы. Были случаи, когда притяжение Юпитера сдерживало комету, эксцентриситет ее орбиты становился меньше и резко уменьшался период обращения.

При вычислениях видимого положения планет приходится учитывать возмущения. Теперь делать такие расчеты помогают быстродействующие электронно-вычислительные машины. При запуске искусственных небесных тел и при расчете их траекторий пользуются теорией движения небесных тел, в частности теорией возмущений.

Возможность отправлять автоматические межпланетные станции по желаемым, заранее рассчитанным траекториям, доводить их до цели с учетом возмущений в движении — все это яркие примеры познаваемости законов природы. Небо, которое по представлению верующих является обителью богов, стало ареной человеческой деятельности так же, как и Земля. Религия всегда

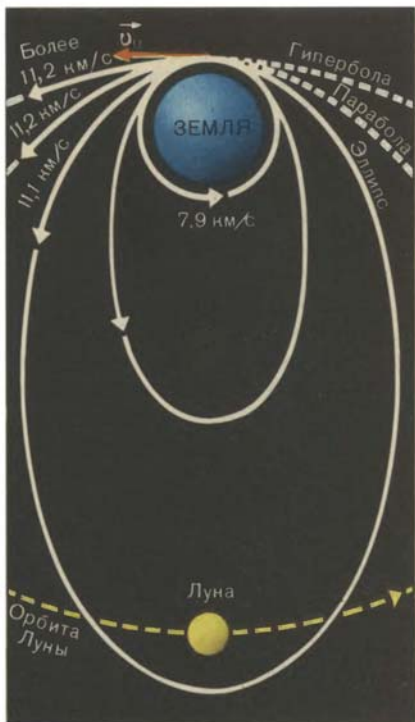


Рис. 34. Зависимость формы орбиты от начальной скорости объекта.

противопоставляла Землю и небо и объявляла небо недостижимым. Теперь же среди планет перемещаются искусственные небесные тела, созданные человеком, которыми он может управлять по радио с больших расстояний.

**3. Открытие Нептуна.** Одним из ярких примеров достижений науки, одним из свидетельств неограниченной познаваемости природы было открытие планеты Нептун путем вычислений — «на кончике пера».

Уран — планета, следующая за Сатурном, который много веков считался самой далекой из планет, была открыта В. Гершелем в конце XVIII в. Уран с трудом виден невооруженным глазом. К 40-м годам XIX в. точные наблюдения показали, что Уран едва заметно отклоняется от того пути, по которому он должен следовать с учетом возмущений со стороны всех известных планет. Таким образом, теория движения небесных тел, столь строгая и точная, подверглась испытанию.

Леверье (во Франции) и Адамс (в Англии) высказали предположение, что, если возмущения со стороны известных планет не объясняют отклонение в движении Урана, значит, на него действует притяжение еще неизвестного тела. Они почти одновременно рассчитали, где за Ураном должно быть неизвестное тело, производящее своим притяжением эти отклонения. Они вычислили орбиту неизвестной планеты, ее массу и указали место на небе, где в данное время должна была находиться неведомая планета. Эта планета и была найдена в телескоп на указанном ими месте в 1846 г. Ее назвали Нептуном. Нептун не виден невооруженным глазом. Так, разногласие между теорией и практикой, казалось, подрывавшее авторитет материалистической науки, привело к ее триумфу.

**4. Приливы.** Под действием взаимного притяжения частиц тело стремится принять форму шара. Форма Солнца, планет, их спутников и звезд поэтому и близка к шарообразной. Вращение тел (как вы знаете из физических опытов) ведет к их сплющиванию, к сжатию вдоль оси вращения. Поэтому немного сжат у полюсов земной шар, а более всего сжаты быстро вращающиеся Юпитер и Сатурн.

Но форма планет может изменяться и от действия сил их взаимного притяжения. Шарообразное тело (планета) движется в целом под действием гравитационного притяжения другого тела так, как если бы вся сила притяжения была приложена к ее центру. Однако отдельные части планеты находятся на разном расстоянии от притягивающего тела, поэтому гравитационное ускорение в них также различно, что и приводит к возникновению сил, стремящихся деформировать планету. *Разность ускорений, вызываемых притяжением другого тела, в данной точке и в центре планеты называется приливным ускорением.*

Рассмотрим для примера систему Земля — Луна. Один и тот же элемент массы в центре Земли будет притягиваться Луной

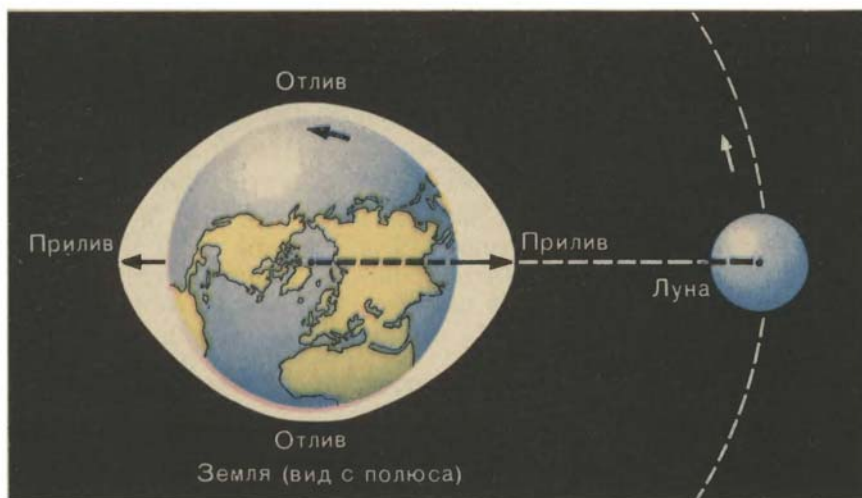
слабее, чем на стороне, обращенной к Луне, и сильнее, чем на противоположной стороне. В результате Земля, и в первую очередь водная оболочка Земли, слегка вытягивается в обе стороны вдоль линии, соединяющей ее с Луной. На рисунке 35 океан для наглядности изображен покрывающим всю Землю. В точках, лежащих на линии Земля — Луна, уровень воды выше всего — там приливы. Вдоль круга, плоскость которого перпендикулярна направлению линии Земля — Луна и проходит через центр Земли, уровень воды ниже всего — там отливы. При суточном вращении Земли в полосу приливов и отливов поочередно вступают разные места Земли. Легко понять, что за сутки могут быть два прилива и два отлива.

Солнце также вызывает на Земле приливы и отливы, но из-за большой удаленности Солнца они меньше, чем лунные, и менее заметны.

С приливами перемещается огромная масса воды. В настоящее время приступают к использованию громадной энергии воды, участвующей в приливах, на берегах океанов и открытых морей.

Ось приливных выступов должна быть всегда направлена к Луне. При вращении Земля стремится повернуть водяной приливный выступ. Поскольку Земля вращается вокруг оси гораздо быстрее, чем Луна обращается вокруг Земли, то Луна оттягивает водяной горб к себе. Происходит трение между водой и твердым дном океана. В результате возникает так называемое *приливное трение*. Оно тормозит вращение Земли, и сутки с течением времени становятся длиннее (когда-то они составляли только 5—6 ч). Сильные приливы, вызываемые на Меркурии и Венере Солнцем, по-видимому, и явились причиной их крайне

Рис. 35. Схема лунных приливов.





медленного вращения вокруг оси. Приливы, вызываемые Землей, настолько затормозили вращение Луны, что она всегда обращена к Земле одной стороной. Таким образом, приливы являются важным фактором эволюции небесных тел и Земли.

**5. Масса и плотность Земли.** Закон всемирного тяготения позволяет также определить одну из важнейших характеристик небесных тел — массу, в частности массу нашей планеты. Действительно, исходя из закона всемирного тяготения, ускорение свободного падения  $g = G \frac{M}{R_{\oplus}^2}$ .

Следовательно, если известны значения ускорения свободного падения, гравитационной постоянной и радиуса Земли, то можно определить ее массу.

Подставив в указанную формулу значение  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ ,  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$ ,  $R_{\oplus} = 6370 \text{ км}$ , найдем, что масса Земли  $M = 6 \cdot 10^{24} \text{ кг}$ .

Зная массу и объем Земли, можно вычислить ее среднюю плотность. Она равна  $5,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ . Но плотность Земли с глубиной возрастает, и, по расчетам, вблизи центра, в ядре Земли, она равна  $1,1 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^3$ . Рост плотности с глубиной происходит за счет увеличения содержания тяжелых элементов, а также за счет увеличения давления.

(С внутренним строением Земли, изучаемым астрономическими и геофизическими методами, вы знакомились в курсе физической географии.)

## УПРАЖНЕНИЕ 12

1. Чему равна плотность Луны, если ее масса в 81 раз, а радиус в 4 раза меньше, чем у Земли?
2. Чему равна масса Земли, если угловая скорость Луны  $13,2^\circ$  в сутки, а среднее расстояние до нее 380 000 км?

**6. Определение масс небесных тел.** Ньютон доказал, что более точная формула третьего закона Кеплера такова:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} \frac{M_1 + m_1}{M_2 + m_2} = \frac{a_1^3}{a_2^3},$$

где  $M_1$  и  $M_2$  — массы каких-либо небесных тел, а  $m_1$  и  $m_2$  — соответственно массы их спутников. Так, планеты считаются спутниками Солнца. Мы видим, что уточненная формула этого закона отличается от приближенной наличием множителя, содержащего массы. Если под  $M_1 = M_2 = M_{\odot}$  понимать массу Солнца, а под  $m_1$

и  $m_2$  — массы двух разных планет, то отношение  $\frac{M_{\odot} + m_1}{M_{\odot} + m_2}$  будет мало отличаться от единицы, так как  $m_1$  и  $m_2$  очень малы по сравнению с массой Солнца. При этом точная формула не будет заметно отличаться от приближенной.

Уточненный третий закон Кеплера позволяет определить массы планет, имеющих спутников, и массу Солнца. Чтобы определить массу Солнца, будем сравнивать движение Луны вокруг Земли с движением Земли вокруг Солнца:

$$\frac{T_{\oplus}^2}{T_{\zeta}^2} \frac{M_{\odot} + M_{\oplus}}{M_{\oplus} + m_{\zeta}} = \frac{a_{\oplus}^3}{a_{\zeta}^3},$$

где  $T_{\oplus}$  и  $a_{\oplus}$  — период обращения Земли (год) и большая полуось ее орбиты,  $T_{\zeta}$  и  $a_{\zeta}$  — период обращения Луны вокруг Земли и большая полуось ее орбиты,  $M_{\odot}$  — масса Солнца,  $M_{\oplus}$  — масса Земли,  $m_{\zeta}$  — масса Луны. Масса Земли ничтожна по сравнению с массой Солнца, а масса Луны мала (1:81) по сравнению с массой Земли. Поэтому вторые слагаемые в суммах можно отбросить, не делая большой ошибки. Решив уравнение относительно

$\frac{M_{\odot}}{M_{\oplus}}$ , имеем:

$$\frac{M_{\odot}}{M_{\oplus}} = \left(\frac{a_{\oplus}}{a_{\zeta}}\right)^3 : \left(\frac{T_{\oplus}}{T_{\zeta}}\right)^2.$$

Эта формула позволяет определить массу Солнца, выраженную в массах Земли. Она составляет около 333 000 масс Земли.

Для сравнения масс Земли и другой планеты, например Юпитера, надо в исходной формуле индекс 1 отнести к движению Луны вокруг Земли массой  $M_1$ , а 2 — к движению любого спутника вокруг Юпитера массой  $M_2$ .

Массы планет, не имеющих спутников, определяют по тем возмущениям, которые они своим притяжением производят в движении соседних с ними планет, а также в движении комет, астероидов или космических аппаратов.

### УПРАЖНЕНИЕ 13

1. Определите массу Юпитера сравнением системы Юпитера со спутником с системой Земля — Луна, если первый спутник Юпитера отстоит от него на 422 000 км и имеет период обращения 1,77 сут. Данные для Луны должны быть вам известны.
2. Вычислите, на каком расстоянии от Земли на линии Земля — Луна находятся те точки, в которых притяжения Землей и Луной одинаковы, зная, что расстояние между Луной и Землей равно 60 радиусам Земли, а масса Земли в 81 раз больше массы Луны.

## IV. МЕТОДЫ АСТРОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 14. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ ПО ИХ СПЕКТРАМ

**1. Обсерватории.** Астрономические исследования проводятся в научных институтах, университетах и *обсерваториях*. Пулковская обсерватория под Ленинградом (рис. 36) существует с 1839 г. и знаменита составлением точнейших звездных каталогов. Ее в прошлом веке называли астрономической столицей мира. В ходе развития науки в нашей стране было построено много других обсерваторий, в том числе в союзных республиках. К крупнейшим следует отнести Специальную астрофизическую обсерваторию на Северном Кавказе, обсерватории Крымскую (вблизи Симферополя), Бюраканскую (вблизи Еревана), Абастуманскую (вблизи Боржоми), Голосеевскую (в Киеве), Шемахинскую (вблизи Баку). Из институтов крупнейшие — Астрономический институт имени П. К. Штернберга при МГУ и Институт теоретической астрономии Академии наук СССР в Ленинграде.

Обсерватории обычно специализируются на проведении определенных видов астрономических исследований. В связи с этим они оснащены различными типами телескопов и других приборов, которые предназначены, например, для определения точного положения звезд на небе, для изучения Солнца или решения других научных задач.

Часто для изучения небесных объектов их фотографируют при помощи телескопов, предназначенных специально для этих целей. Положения звезд на полученных негативах измеряют при помощи соответствующих приборов в лаборатории. Хранящиеся на обсерватории негативы образуют «стеклянную фототеку». Исследуя астрономические фотографии, можно измерить медленные перемещения сравнительно близких звезд на фоне более далеких, увидеть на негативе изображения очень слабых объектов, измерить величину потоков излучения от звезд, планет и других космических объектов. Для высокоточных измерений энергии световых потоков используют фотоэлектрические *фотометры*. В них свет от звезды, собираемый объективом телескопа, направляется на светочувствительный слой электронного вакуумного прибора — фотоумножителя, в котором возникает слабый ток, усиливаемый и регистрируемый специальными электронными приборами. Пропуская свет через специально подобранные различные светофильтры, астрономы количественно и с большой точностью оценивают цвет объекта.

**2. Радиотелескопы.** После того как было обнаружено космическое радиоизлучение, для его приема были созданы *радиоте-*

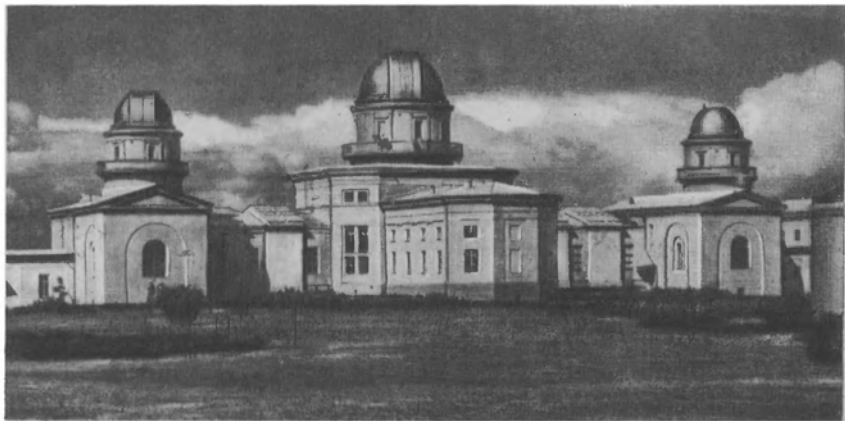


Рис. 36. Главное здание Пулковской обсерватории.

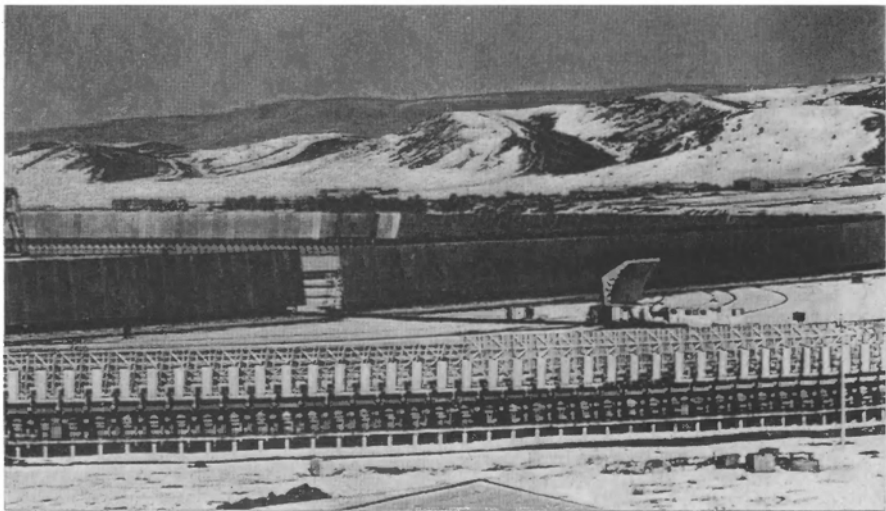
лескопы различных систем. Антенны некоторых радиотелескопов похожи на обычные рефлекторы. Они собирают радиоволны в фокусе металлического вогнутого зеркала. Это зеркало можно сделать решетчатым (рис. 37) и громадных размеров — диаметром в десятки метров.

Другие радиотелескопы представляют собой огромные подвижные рамы, на которых параллельно друг другу укреплены металлические стержни или спирали. Приходящие радиоволны возбуждают в них электромагнитные колебания, которые после усиления поступают в очень чувствительную приемную радиоаппаратуру для регистрации радиоизлучения объекта.

Есть радиотелескопы, состоящие из системы отдельных антенн, удаленных друг от друга (иногда на многие сотни километров), при помощи которых производятся одновременные наблюдения космического радиоисточника. Такой способ позволяет узнать структуру исследуемого радиоисточника и измерить его угловой размер, даже если он во много раз меньше одной угловой секунды.

Рис. 37. Радиотелескоп с решетчатым зеркалом.





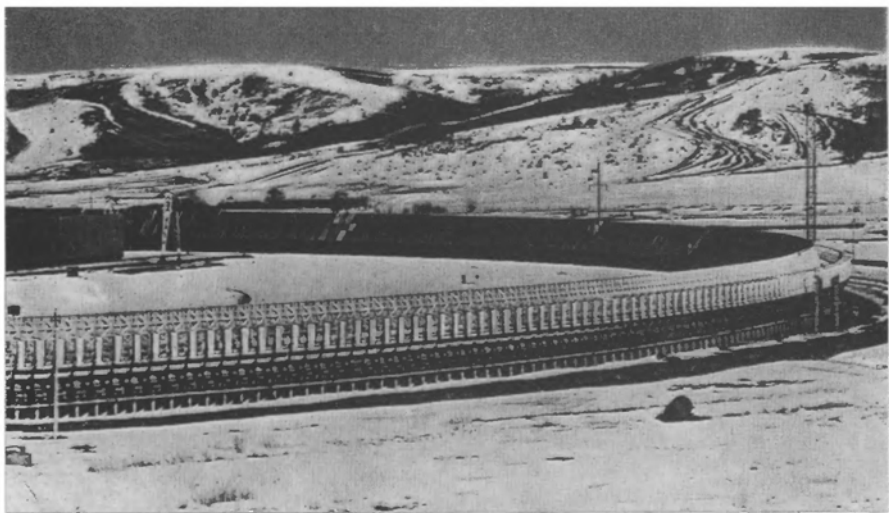
«РАТАН-600». Один из крупнейших в мире радиотелескопов — радиотелескоп Академии наук СССР диаметром 600 м.

Наши представления о небесных телах и их системах чрезвычайно обогатились после того, как начали изучать их радиоизлучение.

**3. Применение спектрального анализа.** Важнейшим источником информации о большинстве небесных объектов является их излучение. Наиболее ценные и разнообразные сведения о телах позволяет получить *спектральный анализ* их излучения. Этим методом можно установить качественный и количественный химический состав светила, его температуру, наличие магнитного поля, скорость движения по лучу зрения и многое другое.

Спектральный анализ, как вы знаете, основан на явлении дисперсии света. Если узкий пучок белого света пустить на боковую грань трехгранной призмы, то, преломляясь в стекле по-разному, составляющие его лучи дадут на экране радужную полоску, называемую спектром. В спектре все цвета расположены всегда в определенном порядке.

Как известно, свет распространяется в виде электромагнитных волн. Каждому цвету соответствует определенная длина электромагнитной волны. Длина волны света уменьшается от красных лучей к фиолетовым примерно от 0,7 до 0,4 мкм. За фиолетовыми лучами в спектре лежат ультрафиолетовые лучи, не видимые глазом, но действующие на фотопластинку. Еще меньшую длину волны имеют рентгеновские лучи. За красными лучами находится область инфракрасных лучей. Они невидимы, но воспринимаются приемниками инфракрасного излучения, например специальными фотопластинками.



Для получения спектров применяют приборы, называемые спектроскопом и спектрографом (рис. 38). В спектроскоп спектр рассматривают, а спектрографом его фотографируют. Фотография спектра называется спектрограммой.

В настоящее время в астрофизике используются и более сложные приборы для спектрального анализа различных видов излучения.

Существуют следующие виды спектров земных источников и небесных тел.

*Сплошной, или непрерывный, спектр* в виде радужной полоски дают непрозрачные раскаленные тела (уголь, нить электроламп) и достаточно протяженные плотные массы газа.

*Линейчатый спектр излучения* дают разреженные газы и пары при сильном нагревании. Каждый газ излучает свет строго определенных длин волн и дает характерный для данного химического элемента линейчатый спектр. Сильные изменения состояния газа или условий его свечения, например нагревание или ионизация, вызывают определенные изменения в спектре данного газа.

Составлены таблицы с перечнем линий каждого газа и с указанием яркости каждой линии. Например, в спектре паров натрия особенно ярки две желтые линии.

*Линейчатый спектр поглощения* дают газы и пары, когда за ними находится яркий источник, дающий непрерывный спектр. Спектр поглощения представляет собой непрерывный спектр, перерезанный темными линиями, которые находятся в тех самых

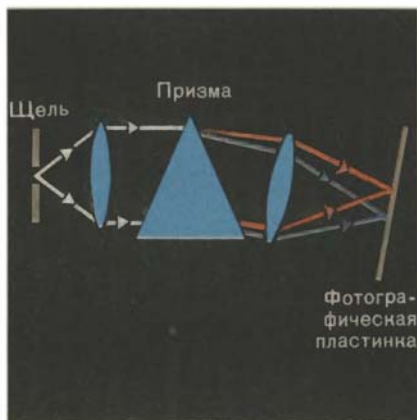


Рис. 38. Схема устройства призмного спектрографа.

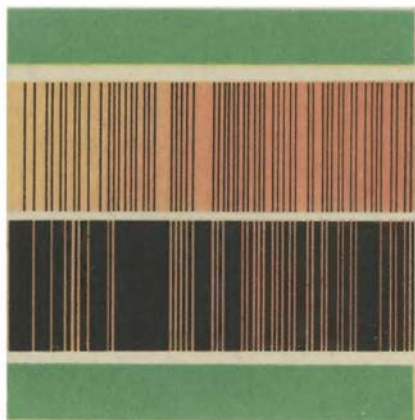
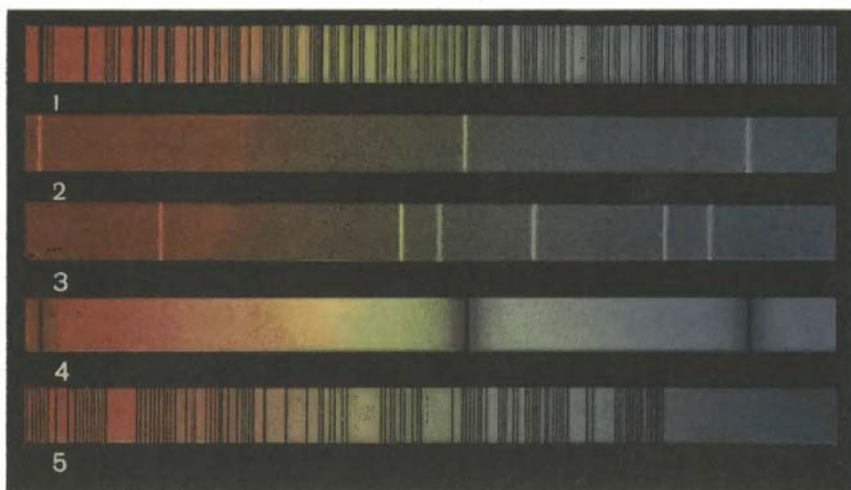


Рис. 39. Сравнение спектра Солнца (вверху) с лабораторным спектром паров железа.

местах, где должны быть расположены яркие линии, присущие данному газу (рис. 39). Например, две темные линии поглощения паров натрия расположены в желтой части спектра.

! Используя рисунок 40, отождествите линии водорода в спектрах Солнца и Сириуса.

Рис. 40. Спектры: 1 — Солнца, 2 — водорода, 3 — гелия, 4 — Сириуса (белая звезда), 5 —  $\alpha$  Ориона (красная звезда).



Изучение спектров позволяет производить анализ химического состава газов, излучающих или поглощающих свет. Количество атомов или молекул, излучающих или поглощающих энергию, определяется по интенсивности линий. Чем заметнее линия данного элемента в спектре излучения или поглощения, тем больше таких атомов (молекул) на пути луча света.

Солнце и звезды окружены газовыми атмосферами. Непрерывный спектр их видимой поверхности перерезан темными линиями поглощения, возникающими при прохождении излучения через атмосферу звезд. Поэтому спектры Солнца и звезд — это спектры поглощения.

*Рассмотрите изображения разных спектров (см. рис. 40).!*

Скорости движения небесных светил относительно Земли по лучу зрения (*лучевые скорости*) определяются при помощи спектрального анализа на основании эффекта Доплера: **если источник света и наблюдатель сближаются, то длины волн, определяющие положения спектральных линий, укорачиваются, а при их взаимном удалении длины волн увеличиваются.** Эта зависимость выражается формулой

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

где  $v$  — лучевая скорость относительного движения с учетом ее знака (минус при сближении),  $\lambda_0$  — длина волны при неподвижном источнике,  $\lambda$  — длина волны при движении источника и  $c$  — скорость света. Иначе говоря, при сближении наблюдателя и источника света линии спектра смещаются к его фиолетовому, а при удалении — к красному концу.

Получив спектрограмму светила, над ней и под ней впечатывают спектры сравнения от земного источника излучения (рис. 41). Спектр сравнения для нас неподвижен, и относительно него можно определять смещение линий спектра звезды на спектрограмме. Даже скорости небесных тел (обычно десятки и сотни километров в секунду) вызывают столь малые смещения (сотые или десятые доли миллиметра), что их можно измерить на спектрограмме только под микроскопом. Чтобы выяснить, какому изменению длины волны это соответствует, надо знать масштаб спектра — на сколько меняется длина волны, если мы продвигаемся вдоль спектра на 1 мм. Подставляя в формулу значения величин  $\lambda$ ,  $\lambda_0$  и  $c = 300\,000$  км/с, определяют лучевую скорость движения светила  $v$ .

По спектру можно определить и температуру светящегося объекта. Когда тело раскалено докрасна, в его сплошном спектре ярче всего красная часть. При дальнейшем нагревании область наибольшей яркости в спектре смещается в желтую, потом в зе-



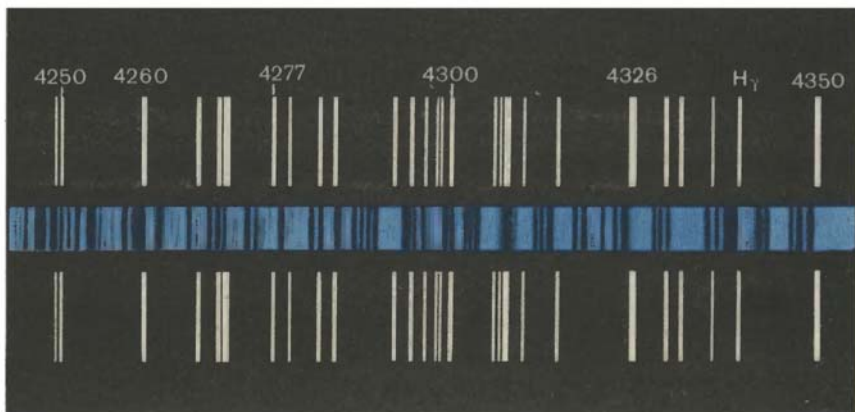


Рис. 41. Смещение линии  $H_\gamma$  в спектре одной из звезд при ее движении по лучу зрения. Сверху и снизу — лабораторные спектры сравнения. Над ними написаны длины волн в ангстремах ( $1 \text{ \AA} = 0,0001 \text{ мкм}$ ).

леную часть и т. д. Это явление описывается законом смещения Вина, который показывает зависимость положения максимума в спектре излучения от температуры тела. Зная эту зависимость, можно установить температуру Солнца и звезд. Температуру планет и температуру звезд определяют также при помощи специально созданных приемников инфракрасного излучения.

#### УПРАЖНЕНИЕ 14

1. Длина волны, соответствующая линии водорода, в спектре звезды больше, чем в спектре, полученном в лаборатории. К нам или от нас движется звезда? Будет ли наблюдаться сдвиг линий спектра, если звезда движется поперек луча зрения?
2. На фотографии спектра звезды ее линия смещена относительно своего нормального положения на  $0,02 \text{ мм}$ . На сколько изменилась длина волны, если в спектре расстояние в  $1 \text{ мм}$  соответствует изменению длины волны на  $0,004 \text{ мкм}$  (эта величина называется *дисперсией* спектрограммы)? С какой скоростью движется звезда? Длина волны неподвижного источника  $0,5 \text{ мкм} = 5000 \text{ \AA}$  (ангстрем).  $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$ .

#### ЗАДАНИЕ 6

По рисунку 41 определите дисперсию в ангстремах на  $1 \text{ мм}$  длины спектра в интервале длин волн  $4260\text{--}4277 \text{ \AA}$ . Измерьте, используя лупу, сдвиг центра водородной линии  $H_\gamma$  в спектре звезды (самая широкая) относительно той же линии спектра сравнения. Вычислите по этому сдвигу линий лучевую скорость звезды.

**4. Внеатмосферная астрономия.** Исследования с помощью космической техники занимают особое место в методах изучения

небесных тел и космической среды. Начало этому было положено запуском в СССР в 1957 г. первого в мире искусственного спутника Земли. Быстро развиваясь, космонавтика сделала возможным: 1) создание внеатмосферных искусственных спутников Земли; 2) создание искусственных спутников Луны и планет; 3) перелет и спуск приборов, управляемых с Земли, на Луну и планеты; 4) создание управляемых с Земли автоматов, перемещающихся по Луне и доставляющих с Луны пробы грунта и записи разных измерений; 5) полеты в космос лабораторий с людьми и высадку их на Луну. Космические аппараты позволили проводить исследования во всех диапазонах длин волн электромагнитного излучения. Поэтому современную астрономию часто называют *всеволновой*. Внеатмосферные наблюдения дают возможность принимать в космосе излучения, поглощаемые или сильно изменяемые земной атмосферой: далекие ультрафиолетовые, рентгеновские и инфракрасные лучи, радиоизлучения некоторых длин волн, не доходящих до Земли, а также корпускулярные излучения Солнца и других тел. Исследования этих, ранее недоступных видов излучения звезд и туманностей, межпланетной и межзвездной среды очень обогатили наши знания о физических процессах, происходящих во Вселенной. В частности, были открыты неизвестные прежде источники рентгеновского излучения.

Много информации о природе наиболее далеких от нас тел и их систем также получено благодаря исследованиям, выполненным при помощи приборов, установленных на различных космических аппаратах.

Результаты астрофизических исследований за последние десятилетия показывают, что в окружающем нас мире происходят значительные изменения, которые затрагивают не только отдельные объекты, но и всю Вселенную в целом.

## У. ПРИРОДА ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

### 15. ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАНЕТ. ФИЗИЧЕСКАЯ ОБУСЛОВЛЕННОСТЬ ИХ ПРИРОДЫ

В главе III мы ознакомились с составом Солнечной системы, узнали, что из числа тел, обращающихся вокруг Солнца, наибольшую массу имеют планеты. Кроме массы и размеров, на основе наблюдений астрономы уже давно установили для большинства планет периоды их вращения вокруг оси и наклон этой оси к плоскости планетной орбиты. Все эти характеристики во многом определяют физические условия на поверхности небесных тел. Так, размеры и масса планет определяют силу тяжести на поверхности, которая прежде всего указывает, может ли данная планета удерживать вокруг себя атмосферу. Молекулы, имеющие скорость большую, чем параболическая, покидают планету. В результате малые планеты и большинство спутников планет не имеют никакой атмосферы. У не очень массивной планеты атмосфера малоплотная; например, у Марса с меньшей силой тяжести на поверхности, чем у Земли, атмосфера более разреженная. У планет-гигантов, примером которых является Юпитер с большой силой тяжести, атмосферы плотные и содержат молекулярный водород, практически отсутствующий в атмосферах четырех планет, ближайших к Солнцу. Плотность атмосферы и ее химический состав определяют степень поглощения в ней излучения, идущего от Солнца. Температура поверхности планеты зависит от ее расстояния до Солнца и наличия атмосферы. Вращение планеты, имеющей атмосферу, способствует выравниванию температур на ночном и дневном полушарии.

Изучение планет проводится как с помощью наземных астрономических инструментов, установленных в обсерваториях, так и с помощью космических аппаратов.

Четыре ближайшие к Солнцу планеты называются планетами типа Земли в отличие от планет-гигантов — Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна. Планеты в этих группах сходны между собой по физическим условиям. Это явление не случайное. Оно связано с историей образования и развития планет. Плутон еще мало изучен, по размеру и массе он близок к планетам земной группы.

#### ЗАДАНИЕ 7

1. Используя приложение V, определите, по каким характеристикам наиболее четко разделяются две отмеченные выше группы планет.
2. Сформулируйте отличительные особенности каждой из этих групп.
3. Вспомните, чем объясняются различия плотности окружающих нас объектов.

Как известно, различие плотности свидетельствует о различии химического состава и агрегатного состояния вещества. Планеты земной группы состоят, как и наша планета, из оксидов тяжелых химических элементов (кремния, железа, алюминия и других металлов и неметаллов). По числу атомов поэтому преобладает кислород. Планеты-гиганты состоят в основном из водорода и гелия, хотя там есть и те вещества, которые составляют основу планет типа Земли. На одном только Юпитере, например, их содержится больше, чем на всех планетах земной группы, вместе взятых.

## 16. ПЛАНЕТА ЗЕМЛЯ

**1. Строение.** Многочисленные фотографии Земли, полученные с борта космических аппаратов (рис. 42 и 43), дают возможность увидеть три основные оболочки земного шара: атмосферу и ее облака, гидросферу и литосферу с ее природными покровами. Соответствующие этим оболочкам три агрегатных состояния вещества — газообразное, жидкое и твердое — являются привычными для нас, жителей Земли. Атмосферой обладает большинство планет Солнечной системы, твердая оболочка характерна для планет земной группы, спутников планет и астероидов. Гидросфера же Земли — уникальное явление в Солнечной системе, никакая другая из известных планет ею не располагает. Ведь для существования воды в жидком виде нужны определенные условия температуры и давления. Вода является весьма распространенным химическим соединением во Вселенной, но на других небесных телах мы встречаемся с водой главным образом в ее твердой фазе, известной и на Земле в виде снега, инея и льда.

Рис. 42. Земля над горизонтом Луны.



Рис. 43. Фотография Земли, сделанная из космоса.



Процессы, происходящие в литосфере, химический состав ее вещества несут на себе следы тех изменений, которые совершались в течение миллиардов лет. За счет энергии, выделяющейся при распаде радиоактивных элементов, происходило расплавление и дифференциация вещества. В результате легкие соединения, в основном силикаты, оказались сверху, в коре, а более тяжелые образовали центральную часть — ядро.

Толщина коры очень невелика: от 10 км под океанами до 80 км под горными хребтами. Ядро имеет радиус вдвое меньше радиуса планеты, а между ядром и корой располагается промежуточный слой — мантия Земли, состоящая из веществ, более плотных, чем в коре.

Результаты исследований, выполненных с помощью космических аппаратов, показали, что внутреннее строение Луны и планет земной группы в общих чертах такое же.

**2. Атмосфера.** Газовая оболочка — атмосфера, окружающая Землю, содержит 78% азота, 21% кислорода и ничтожное количество других газов.

Нижний слой атмосферы называется тропосферой, которая простирается до высоты 10—12 км (в средних широтах). В ней с увеличением высоты температура падает. Выше — в стратосфере она остается почти постоянной, порядка  $-40^{\circ}\text{C}$ . С высоты около 25 км температура земной атмосферы медленно растет вследствие поглощения ультрафиолетового излучения Солнца.

? *Почему в тропосфере температура с увеличением высоты падает?*

Плотность атмосферы тоже уменьшается с высотой. Так, на высоте около 6 км она в 2 раза меньше, чем у поверхности Земли, а на высоте в сотни километров в миллионы раз меньше. Выше, до нескольких радиусов Земли, имеется в основном водород с концентрацией частиц порядка тысяч атомов в объеме  $1\text{ см}^3$ .

В верхних слоях земной атмосферы солнечное излучение производит сильную ионизацию. Ионизованные слои атмосферы называются ионосферой.

Атмосфера отражает или поглощает большую часть излучения, приходящего к Земле из космического пространства. Например, она не пропускает рентгеновское излучение Солнца. Атмосфера предохраняет нас и от непрерывной бомбардировки микрометеоритами, и от разрушающего действия космических лучей — потоков быстро летящих частиц (в основном протонов и ядер атомов гелия).

Атмосфера играет важнейшую роль в тепловом балансе Земли. Видимое солнечное излучение может проходить через нее почти без ослабления. Оно поглощается земной поверхностью, которая при этом нагревается и излучает инфракрасные лучи.

Почему при ясной погоде ночью происходит наиболее сильное похолодание?

Согласно современным представлениям только благодаря существованию гидросферы и атмосферы на Земле смогла возникнуть жизнь. Поэтому проблемы экологии, сохранения природы нашей уникальной планеты приобретают особое значение.

**3. Магнитное поле.** Магнитное поле Земли достаточно велико (около  $5 \cdot 10^{-5}$  Тл). С удалением от Земли индукция магнитного поля ослабевает.

Исследование околоземного пространства космическими аппаратами показало, что наша планета окружена мощным *радиационным поясом* (рис. 44), состоящим из быстро движущихся заряженных элементарных частиц — протонов и электронов. Его называют также поясом частиц высоких энергий.

Внутренняя часть пояса простирается примерно на 500—5000 км от поверхности Земли. Внешняя часть радиационного пояса находится на высоте от 1 до 5 радиусов Земли и состоит в основном из электронов с энергией в десятки тысяч электронвольт — в 10 раз меньшей, чем энергия частиц внутреннего пояса.

Частицы, образующие радиационный пояс, вероятно, захватываются земным магнитным полем из числа частиц, непрерывно выбрасываемых Солнцем. Особенно мощные потоки частиц рождаются при взрывных явлениях на Солнце — так называемых солнечных вспышках. Поток солнечных частиц движется со скоростью 400—1000 км/с и достигает Земли примерно через 1—2 дня после того, как на Солнце произошла породившая его вспышка горячих газов. Такой усиленный корпускулярный по-

Рис. 44. Схема радиационного пояса Земли: 1 — внутренняя часть, 2 — внешняя часть.

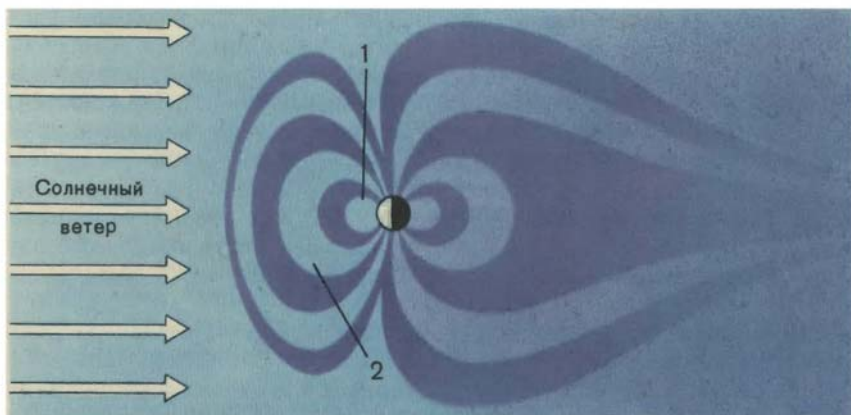




Рис. 45. Полярное сияние.

ток возмущает магнитное поле Земли. Быстро и сильно меняются характеристики магнитного поля, что называется *магнитной бурей*. Стрелка компаса колеблется. Возникает возмущение ионосферы, нарушающее радиосвязь, происходят *полярные сияния* (рис. 45). Полярные сияния разной формы и окраски возникают на высотах от 80 до 1000 км. Их образование связано с тем, что в полярных областях частицы, двигаясь вдоль линий индукции магнитного поля, которые там почти перпендикулярны поверхности, проникают в атмосферу. Частицы бомбардируют молекулы воздуха, ионизуют их и возбуждают свечение, как поток электронов в вакуумной трубке. М. В. Ломоносов первым высказал догадку о том, что полярные сияния имеют электрическую при-

роду. Цветовые оттенки полярного сияния обусловлены свечением различных газов атмосферы.

Итак, мы выяснили, что на Земле и в ее атмосфере происходят разнообразные процессы, многие из которых связаны с Солнцем, отстоящим от нас на 150 млн. км, т. е. Земля не изолирована от космоса.

**4. Достижения СССР и международное сотрудничество в мирном освоении космического пространства.** Большие успехи, достигнутые в изучении планет и других тел Солнечной системы, способствовали усилению связи астрономии с такими науками о Земле, как геофизика и геология. Ученые этих специальностей, изучающие результаты топографических, радиофизических и других исследований Меркурия, Венеры, Марса, Луны и других спутников, пользуются методом сравнительной геологии. Это позволяет глубже понять древнюю историю развития нашей планеты, закономерности формирования месторождений полезных ископаемых и успешнее осуществлять их разведку на Земле.

Космическая техника применяется и в других, самых различных отраслях науки, техники и народного хозяйства. Для осуществления бесперебойной радиотелефонной связи с отдаленными и труднодоступными районами нашей страны, для передачи

информации с помощью телевидения используются спутники связи типов «Молния», «Экран» и «Горизонт». Некоторые из них выводятся на стационарные орбиты и обеспечивают прием телевизионных передач на коллективные антенны в небольших населенных пунктах.

В последние десятилетия создана космическая метеорологическая система, главным достоинством которой является оперативность и глобальность получаемой информации. Метеоспутники типа «Метеор» позволяют детально изучать картину распределения облачного покрова над нашей планетой, уверенно определять состояние и направление движения циклонов и атмосферных фронтов, следить за ледовой обстановкой на морях и океанах.

Космическая информация обеспечивает постоянное наблюдение за состоянием лесов и посевов сельскохозяйственных культур. Эта информация позволяет определять эффективность всех земельных ресурсов, своевременно выявлять очаги заболевания растений, прогнозировать урожаи различных культур в масштабах страны.

На борту орбитальных пилотируемых комплексов «Союз — Салют» проводятся разнообразные технологические эксперименты по изучению влияния невесомости и других необычных условий космического полета на различные процессы и получению в этих условиях веществ и материалов с заданными свойствами. Космонавты ведут астрофизические, геофизические, метеорологические и другие наблюдения, выходят в открытый космос, испытывают новые приборы и оборудование, необходимые для дальнейшего развития космонавтики.

Миролюбивая внешняя политика СССР находит яркое выражение в этой области научно-технического прогресса. В составе экипажей на орбите работали космонавты-исследователи всех стран социализма, Индии и Франции. Ученые многих государств участвовали в создании научной аппаратуры, которая устанавливалась на борту пилотируемых и автоматических станций, в изучении образцов лунного грунта, доставленных на Землю. Информация, полученная при космических полетах, обрабатывается специалистами братских социалистических стран, используется ими в научных исследованиях и народном хозяйстве. Наша страна активно выступает против политики «звездных войн», за широкое международное сотрудничество в использовании космического пространства исключительно в мирных целях.

Применение космической техники в народном хозяйстве дает значительный экономический эффект и обеспечивает возможность проведения различных видов работ, которые трудно или даже невозможно выполнить другими методами. Роль космонавтики в жизни человечества и ее вклад в научно-технический прогресс постоянно возрастают.



Используя литературу, рекомендованную учителем, подготовьте сообщение: 1) об очередной научной экспедиции в космос; 2) об использовании космической техники в одной из отраслей народного хозяйства.

## 17. ЛУНА — ЕСТЕСТВЕННЫЙ СПУТНИК ЗЕМЛИ

**1. Физические условия на Луне.** Луна — самое близкое к Земле небесное тело, и потому изучена лучше всего. Ближайшие к нам планеты находятся примерно в 100 раз дальше. Луна меньше Земли по диаметру вчетверо, а по массе в 81 раз. Средняя ее плотность  $3,3 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, т. е. меньше, чем у Земли. Вероятно, у Луны ядро не такое плотное, как у Земли. На Луне нет атмосферы, смягчающей палящее солнечное излучение и защищающей от космических лучей и потоков метеороидов. Нет там ни облаков, ни воды, ни туманов, ни радуги, ни зари с рассветом. Тени резкие и черные. Отсутствие на Луне водяных паров и атмосферы было подтверждено прямыми измерениями на ее поверхности. Небо на Луне даже днем было бы черное, как в космическом пространстве, но окружающая Луну разреженная пылевая оболочка немного рассеивает солнечный свет.

Частые удары метеороидов, падающих на лунную поверхность, дробят ее на мелкие осколки и пылинки. В условиях вакуума происходит молекулярное сцепление этой пыли в пористый шлакоподобный слой. Такая структура поверхностного слоя придает ему малую теплопроводность. В результате даже на небольшой глубине температура сохраняется постоянной, несмотря на ее сильные колебания снаружи. Огромные перепады температуры лунной поверхности от дня к ночи объясняются не только отсутствием атмосферы, но и продолжительностью лунного дня и лунной ночи, которая соответствует двум нашим неделям. Температура в подсолнечной точке Луны равна  $+120^\circ\text{C}$ , а в противоположной точке ночного полушария —  $170^\circ\text{C}$ . Вот как изменяется температура в течение одного лунного дня!

? *Какие наблюдения Луны, которые может провести каждый, доказывают, что там происходит смена дня и ночи?*

**2. Рельеф.** Уже со времен Галилея начали составлять карты видимого полушария Луны. Темные пятна на поверхности Луны были названы «морями». Это низменности, в которых нет ни капли воды. Дно их темное и сравнительно ровное. Большую часть поверхности Луны занимают более светлые возвышенности — «материки». Есть несколько горных хребтов, названных, подобно земным, Альпами, Кавказом и т. д. Высота гор достигает 9 км. Но основной формой рельефа являются кратеры. Их кольцевые валы высотой до нескольких километров окру-

жают большие круглые впадины диаметром до 200 км, например Клавий и Шиккард. Всем крупным кратерам даны названия в честь ученых. Так, на Луне есть кратеры Тихо, Коперник и др.

В полнолуние в южном полушарии хорошо видны в сильный бинокль кратер Тихо диаметром 60 км в виде яркого кольца и расходящиеся от него радиально светлые лучи. Их длина сравнима с радиусом Луны, и они тянутся, пересекая много других кратеров и темных впадин. Выяснилось, что лучи образованы скоплением множества мелких кратеров со светлыми стенами.

Лунный рельеф лучше изучать тогда, когда соответствующая местность лежит вблизи терминатора, т. е. границы дня и ночи на Луне. Тогда освещенные Солнцем сбоку неровности отбрасывают длинные тени и легко заметны. Очень интересно в течение часа проследить в телескоп за тем, как вблизи терминатора на ночной стороне загораются светлые точки — это вершины валов лунных кратеров. Постепенно из тьмы выплывает светлая подкова — часть кратерного вала, но дно кратера еще погружено в полный мрак, наконец обрисовывается весь кратер. При этом хорошо видно, что, чем меньше кратеры, тем их больше. Они часто расположены цепочками и даже «сидят» друг на друге. Позднейшие кратеры образовались на валах более старых кратеров. В центре кратера часто видна горка (рис. 46), в действительности это группа гор. Кратерные стены обрываются террасами круто внутрь. Дно кратеров лежит ниже окружающей местности.

Вся поверхность Луны изрыта мелкими кратерами — пологими углублениями — это результат ударов мелких метеоритов.

С Земли, как мы знаем, видно только одно полушарие Луны (рис. 47). В 1959 г. советская космическая станция, пролетая мимо Луны, впервые сфотографировала невидимое с Земли полушарие. Принципиально оно не отличается от видимого, но на нем меньше «морских» впадин (рис. 48). Теперь составлены подробные карты этого полушария на основании многочисленных фотографий Луны, выполненных с близкого расстояния автоматическими станциями, посылавшимися к Луне. Аппараты неоднократно опускались и на ее поверхность. В 1969 г. на поверхность Луны впервые опустился космический аппарат с двумя амери-



Рис. 46. Цирк Альфонс, в котором наблюдалось выделение вулканических газов (снимок сделан автоматической станцией вблизи Луны).

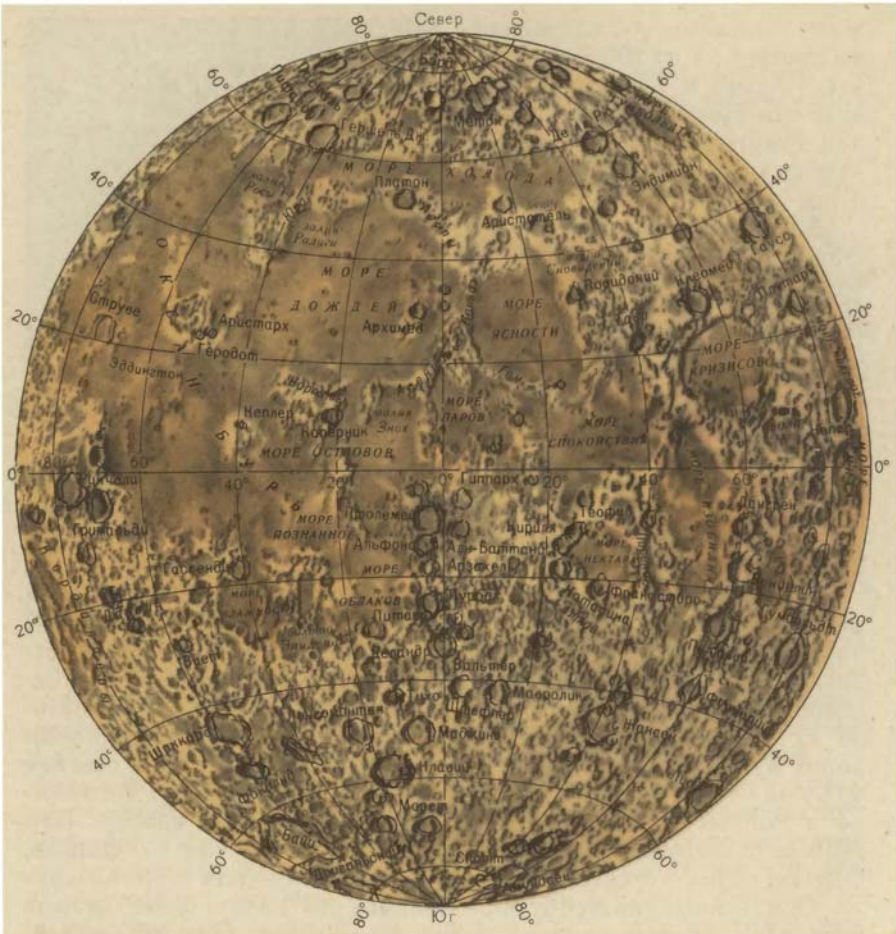


Рис. 47. Схематическая карта крупнейших деталей на обращенном к Земле полушарии Луны.

канскими astronautами. К настоящему времени на Луне побывало шесть экспедиций astronautов США, благополучно вернувшихся на Землю. Они ходили и даже ездили на специальном вездеходе по поверхности Луны, устанавливали и оставляли на ней разные аппараты, в частности сейсмографы для регистрации «лунотрясений», и привезли образцы лунного грунта. Советские ученые получили пробы лунных пород из разных мест при помощи автоматов, которые по команде с Земли брали пробу грунта и возвращались с ней на Землю.

Химический анализ образцов лунного вещества показал, что породы Луны не столь разнообразны, как земные, и сходны по составу с базальтами.

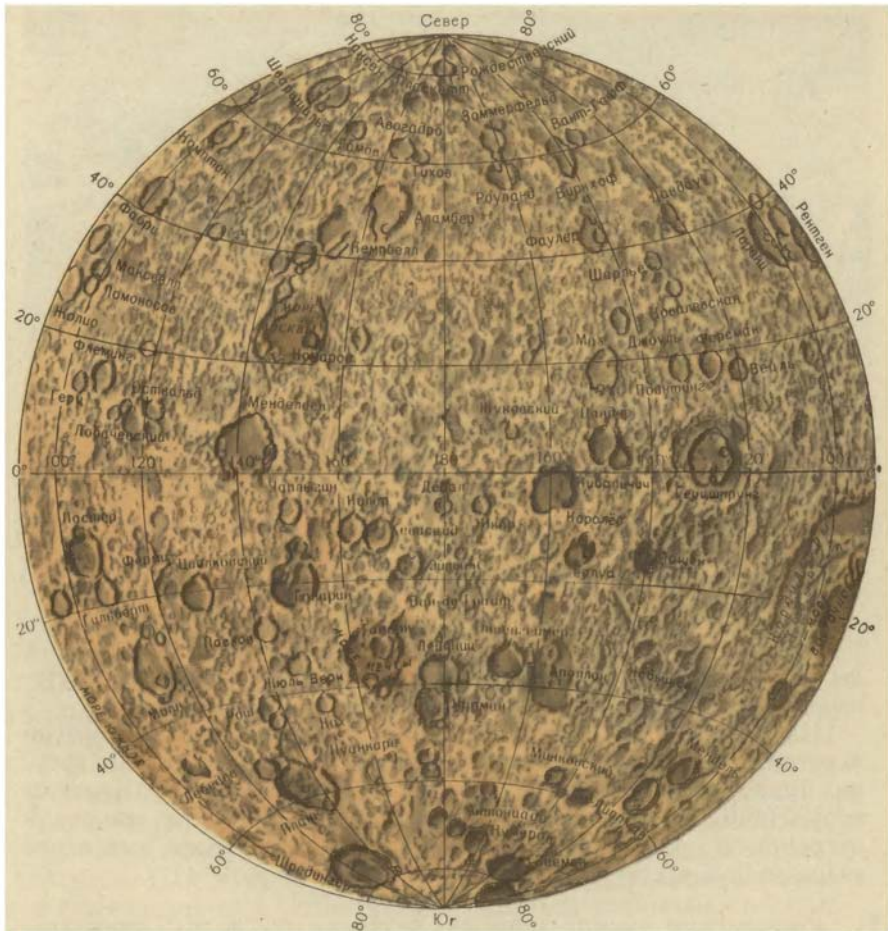


Рис. 48. Схематическая карта обратной стороны Луны, невидимой с Земли.

Посылались на Луну и советские автоматические самоходные лаборатории — *луноходы*, выполнившие много научных измерений и анализов грунта и прошедшие по Луне значительные расстояния — несколько десятков километров. Даже в тех местах лунной поверхности, которые с Земли выглядят ровными, грунт изобилует воронками и засыпан камнями всевозможных размеров. Луноход, управляемый с Земли по радио, «шаг за шагом» передвигался с учетом характера местности, вид которой передавался на Землю по телевидению. Это величайшее достижение советской науки важно как пример прямого исследования физических условий на другом небесном теле, которое находится от Земли на огромном расстоянии.

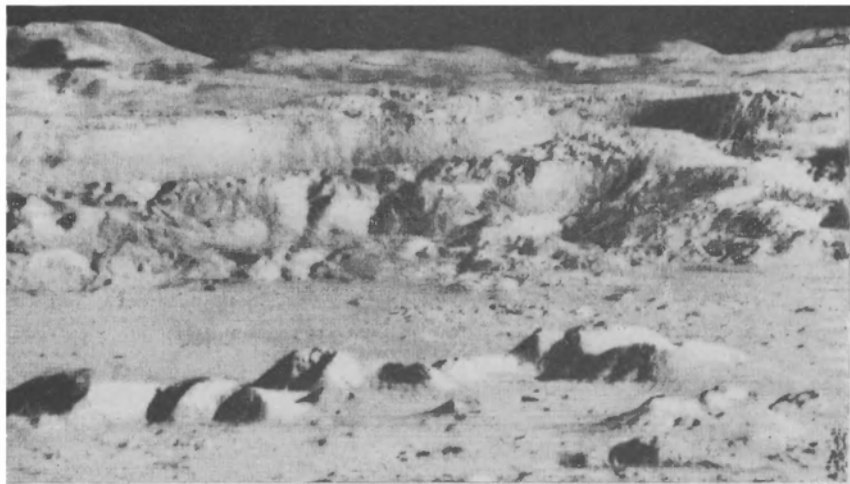


Рис. 49. «Центральная горка», скорее, горная цепь в центре кратера Коперник и террасы его вала, обрывающиеся внутрь (кратер снят с искусственного спутника Луны. С Земли он выглядит сходно с цирком Альфонс).

Советские космические станции установили отсутствие у Луны магнитного поля и поясов радиации.

Изучение лунного рельефа и его происхождения интересно и потому, что Луна сохранила на своей поверхности следы древних геологических событий, так как вода и ветер не разрушают кору. Но Луна — это не совсем мертвый мир. В 1958 г. советский астроном *Н. А. Козырев* заметил в кратере Альфонс выделение газов из лунных недр.

*Рассмотрите внимательно вид внутренности вала и центральной горки кратера Коперник, сфотографированных искусственным спутником Луны сбоку (рис. 49).*

В формировании рельефа Луны, по-видимому, принимали участие и внутренние, и внешние силы. Роль тектонических и вулканических явлений несомненна, так как на Луне есть линии сброса и цепочки кратеров, имеющих сходство с лавовыми озерами Гавайских островов. Что касается лунных «морей», то они, по-видимому, образованы проплавлениями лунной коры и излияниями лавы на поверхность. Однако на Луне не обнаружено пород моложе 2 млрд. лет, и это говорит о давнем прекращении магматической и вулканической активности.

Большинство лунных кратеров образовалось при ударах метеоритов и даже астероидов. На Земле также есть кратеры ударного происхождения (см. с. 82).

Многочисленные кратеры, обнаруженные на некоторых других телах планетной системы, например на Марсе и Меркурии, должны иметь такое же происхождение, как и лунные. Интенсивное кратерообразование, по-видимому, связано с разреженностью их атмосферы, неспособной уменьшить скорость падения метеоритов.

#### УПРАЖНЕНИЕ 15

1. Видны ли с Луны те же созвездия (видны ли они так же), что и с Земли?
2. На краю Луны видна с Земли гора в виде зубца высотой 1". Рассчитайте ее высоту в километрах.

#### ЗАДАНИЕ 9

Используя формулы (§ 12.4), определите линейный диаметр лунного цирка Альфонс, измерив его на рисунке 47 и зная, что угловой диаметр Луны, видимый с Земли, составляет около 30', а расстояние до нее около 380 000 км.

### 18. ПЛАНЕТЫ ЗЕМНОЙ ГРУППЫ

Планеты земной группы — Меркурий, Венера, Земля и Марс отличаются от планет-гигантов меньшими размерами, меньшей массой, большей плотностью, более медленным вращением, гораздо более разреженными атмосферами, малым числом спутников или их отсутствием.

В настоящее время исследование планет этой группы (как и Луны) носит комплексный характер и привлекает внимание не только астрономов, но и специалистов других профилей: геологов, геофизиков, топографов, радионженеров и др., которые используют для изучения планет методы, хорошо опробованные в земных условиях и позволяющие получать надежные сведения о строении их поверхности и атмосферы.

**1. Меркурий.** Это ближайшая к Солнцу планета, немногим больше Луны, но средняя плотность ее почти такая же, как и у Земли. Радиолокационные наблюдения обнаружили крайне медленное вращение Меркурия. Звездные сутки его, т. е. период вращения вокруг оси относительно звезд, равны 58,65 наших суток. Солнечные сутки на этой планете (т. е. промежуток времени между последовательными полуднями) составляют около 176 земных суток. Они равны двум меркурианским годам, так как один оборот вокруг Солнца Меркурий делает за 88 земных суток.

Атмосфера на Меркурии практически отсутствует. Поэтому дневное полушарие его сильно накаляется. В подсолнечной точке на Меркурии была измерена температура более 400°C. При такой температуре плавится свинец, олово и даже цинк.

Поверхность Меркурия усеяна кратерами так, что на фотографиях ее трудно отличить от поверхности Луны (рис. 50).

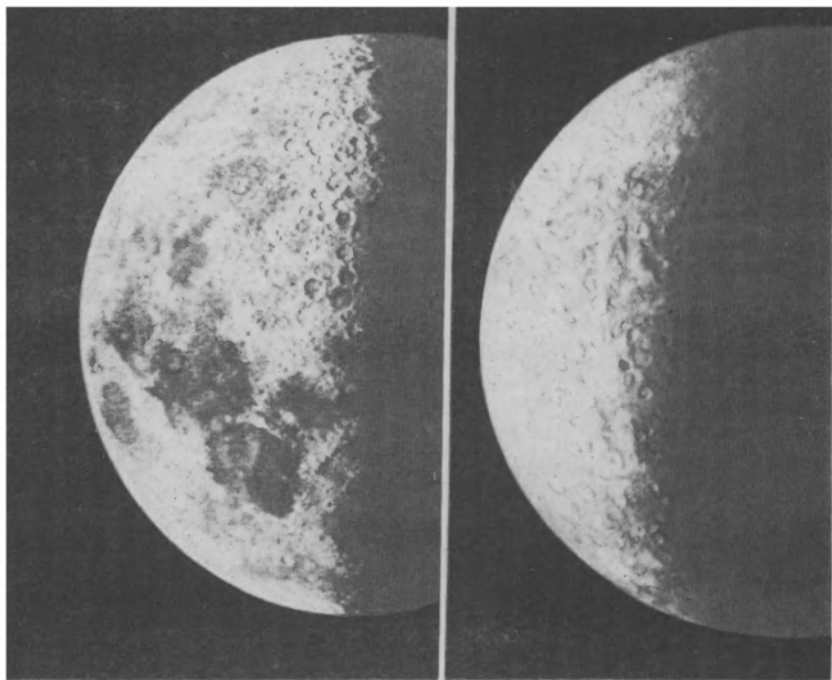


Рис. 50. Сравнение Луны и Меркурия в одинаковой фазе: Луна — слева, Меркурий — справа (масштаб этих фотографий неодинаков).

Сходны они также отражательной способностью и теплопроводностью поверхностного слоя. Заметным различием является малое число впадин, подобных лунным «морям». Крупнейшая из них — *море Зноя* — имеет диаметр около 1300 км.

**2. Венера.** Эта планета лишь немногим меньше Земли по объему и массе. Еще Ломоносов и его современники обнаружили существование у Венеры атмосферы. Ломоносов правильно полагал, что она плотнее, чем земная. Венера окутана сплошным покровом белых облаков, прозрачным только для радиоволн. Радиолокационные наблюдения выявили, что Венера вращается вокруг оси в сторону, противоположную той, в которую вращаются все планеты (кроме Урана) и в которую она сама обращается вокруг Солнца. Солнечные сутки на ней составляют 117 земных суток.

Наклон оси Венеры к плоскости ее орбиты близок к прямому углу, так что северное и южное полушария всегда освещаются Солнцем одинаково.

С 1961 г. начались запуски к Венере советских автоматических станций. Некоторые станции имели аппараты, спускавшиеся на Венеру на парашюте, автоматические приборы которых из-

меряли характеристики ее атмосферы на различной высоте и у поверхности и передавали эти сведения по радио на Землю. Магнитного поля Венеры эти приборы не обнаружили. У поверхности они зарегистрировали температуру 470—480 °С и давление примерно в 100 раз больше атмосферного на Земле ( $\approx 10^7$  Па). Выяснилось, что на 97% по массе атмосфера Венеры состоит из углекислого газа. Азот и инертные газы составляют лишь несколько процентов, кислород — около 0,1%, а водяной пар еще меньше.

В атмосфере Венеры зарегистрированы грозовые разряды.

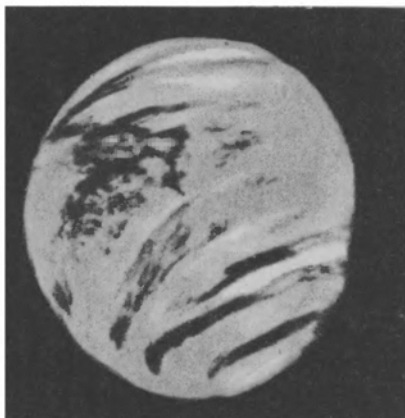
Крайне высокая температура в нижних слоях атмосферы Венеры и на ее поверхности в большой мере обусловлена так называемым «парниковым эффектом». Энергия солнечных световых лучей поглощается в нижних слоях и, излучаясь обратно в виде инфракрасных лучей, задерживается ее облачным слоем, как тепло в парниках. С высотой над поверхностью температура понижается, и в стратосфере Венеры царит мороз.

В видимых лучах облака Венеры совершенно однородны и белы, но в ультрафиолетовых отчетливо видна структура облачного слоя (рис. 51), говорящая о движениях газа, происходящих в верхних слоях атмосферы. Скорость ветров, составляющая всего несколько метров в секунду в нижних слоях атмосферы, на высотах около 50 км достигает 60 м/с. Через облака Венеры (состоящие, по-видимому, из капелек серной кислоты с небольшой примесью других химических соединений) поверхность планеты не видна. Радиолокационные исследования, проводимые как с Земли, так и с борта автоматических межпланетных станций, позволили изучить рельеф поверхности Венеры. На ней найдены горные хребты и кратеры.

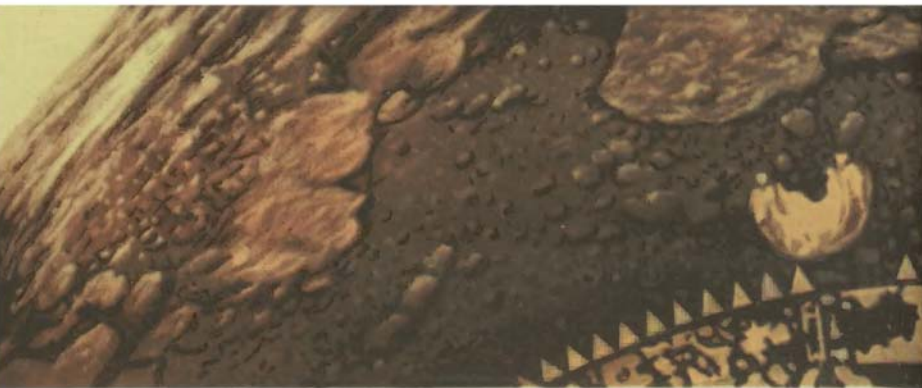
Анализ содержания радиоактивных калия, урана и тория в поверхностных породах Венеры показал их сходство с земными базальтовыми породами.

Телевизионные камеры советских автоматических станций, опущенные на поверхность планеты, впервые в мире передали на Землю панорамы окружающей их безжизненной каменной местности: в 1975 г. — в черно-белом изображении («Венера-9 и -10»), а в 1982 г. — в цветном («Венера-13 и -14»). Атмосфера Венеры изучалась при помощи научной аппаратуры, установленной на воздушных шарах, доставленных на

Рис. 51. Фотография Венеры, окутанной облаками, полученная космической станцией.







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

планету советскими станциями, например в 1986 г. станциями «Вега-1 и -2», запущенными для исследования Венеры и кометы Галлея с близкого расстояния (отсюда и название Ве(нера) и Га(ллея)).

По-видимому, лишь дальнейшие исследования смогут дать ответ на вопрос: почему столь похожая на Землю по размерам и массе планета стала в ходе своей эволюции по многим характеристикам сильно отличаться от нашей?

Несмотря на серьезные различия в природе двух соседних планет, исследования атмосферных процессов на Венере позволяют получать результаты, полезные для решения задач земной метеорологии.

**3. Марс.** Марс вдвое меньше Земли по диаметру. Его орбита имеет значительный эксцентриситет, поэтому, когда Марс находится в противостоянии вблизи перигелия, он сияет на небе, уступая по яркости только Венере. Такие противостояния называются великими и повторяются через 15 и 17 лет.

Год Марса почти вдвое длиннее земного, есть там и смена времен года, так как ось суточного вращения Марса наклонена к плоскости его орбиты, почти как земная.

В школьный телескоп на Марсе можно заметить белые полярные шапки, темные пятна («моря») на общем оранжево-красном фоне марсианских «пустынь».

Автоматические станции-лаборатории, выведенные на орбиту вокруг Марса, по команде с Земли производили фотографирование поверхности планеты и изучение ее атмосферы, существование которой было установлено уже давно. Оказалось, что атмосфера планеты очень разрежена и ее давление примерно в 100 раз меньше земного. В основном она состоит из углекислого газа. Кислорода и водяных паров в ней крайне мало.

Условия на Марсе суровые. Даже на экваторе летом темпе-

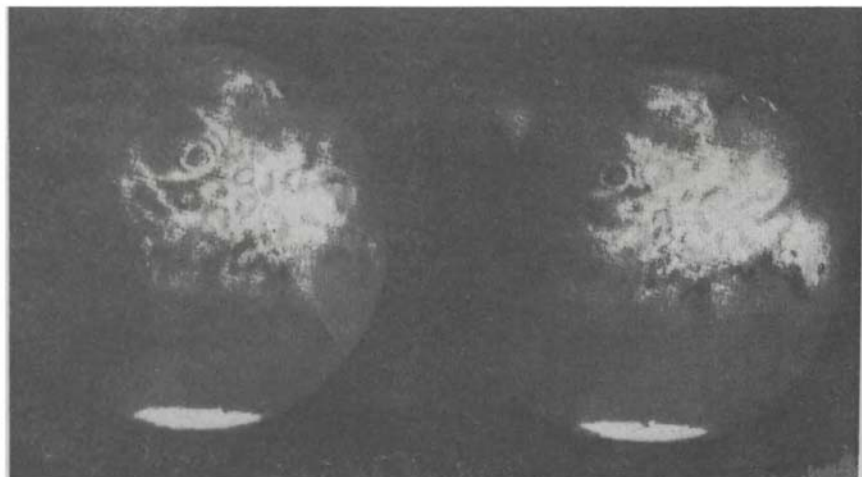


ратура редко поднимается до  $0^{\circ}\text{C}$ , а к ночи падает до жестокого мороза ( $-70$ ;  $-100^{\circ}\text{C}$ ). Суточные температурные изменения на Марсе достигают  $80-100^{\circ}\text{C}$ .

*Почему на Марсе происходят более резкие, чем на Земле, колебания температуры в течение суток?*

Особенно холодно на полюсах (до  $-130^{\circ}\text{C}$ ). В таких условиях замерзает не только вода, но и углекислый газ, которые образуют белый покров, хорошо видимый у полюсов, но имеющийся и в других частях планеты.

Фотографии Марса с расстояния около 450 000 км.



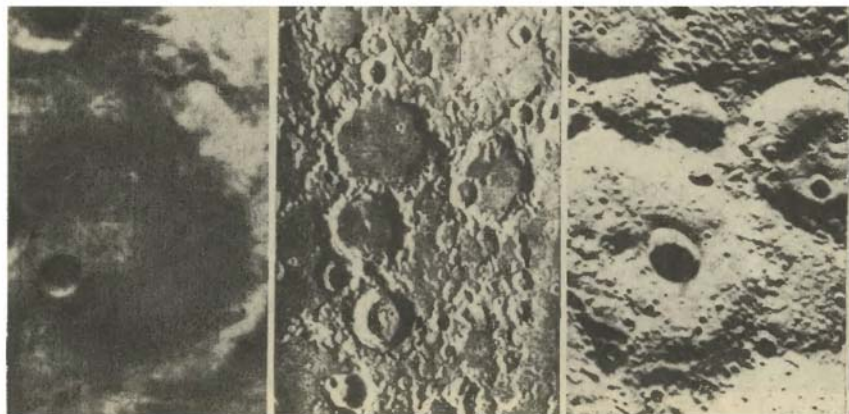


Рис. 52. Сравнение кратеров (слева направо) на Марсе, Луне и Меркурии.

В атмосфере Марса (в отличие от Венеры) лишь иногда можно наблюдать редкие белые облака и туман, чаще над полярными шапками.

Изредка на Марсе происходят мощные пылевые бури, иногда длящиеся месяцами, поднимающие в атмосферу колоссальнейшие количества мельчайших пылинок. Таким образом, подтверждается существование там песчаных пустынь, определивших собой оранжевый цвет Марса в целом. Судя по пылевым бурям, на Марсе могут быть сильные ветры, дующие со скоростями в десятки метров в секунду.

Несколько космических аппаратов опускалось на поверхность Марса. Получены тысячи фотографий планеты с разного расстояния, на основе которых составлены подробные карты ее поверхности.

Марс, подобно Луне и Меркурию, усеян кратерами (рис. 52). Форма марсианских кратеров свидетельствует о явлениях выветривания и выравнивания его поверхности. На Марсе обнаружено несколько гигантских, по-видимому, давно потухших вулканов. Высота самого большого из них составляет 27 км. Между отдельными участками поверхности планеты, как и на Земле, имеются большие перепады высот. Обнаружены на Марсе и каньоны, которые по своим масштабам и форме напоминают земные русла высохших рек.

Исследования марсианского грунта, проведенные автоматическими станциями на поверхности планеты, позволяют сделать вывод о сходстве пород с земными и лунными, а красноватый оттенок ее объяснить наличием гидратов оксидов железа.

Магнитное поле Марса значительно слабее земного.

Биологические эксперименты по обнаружению органических соединений и живых организмов (хотя бы в форме бактерий),

проведенные автоматическими космическими аппаратами «Викинг-1 и -2», не привели к положительному результату.

## УПРАЖНЕНИЕ 16

1. С Земли на Луне в телескоп видны объекты размером 1 км. Каков наименьший размер деталей, видимых с Земли на Марсе в такой же телескоп во время противостояния (на расстоянии 55 млн. км)?
2. Чему был бы равен угловой диаметр Солнца, наблюдаемого с Марса?

## 19. ПЛАНЕТЫ-ГИГАНТЫ

**1. Особенности планет-гигантов.** Из четырех гигантских планет лучше всего изучен Юпитер — самая большая планета этой группы и ближайшая из планет-гигантов к нам и Солнцу. Ось вращения Юпитера почти перпендикулярна к плоскости его орбиты, поэтому сезонных изменений условия освещения на нем нет.

У всех планет-гигантов вращение вокруг оси довольно быстрое, а плотность мала. Вследствие этого они значительно сжаты.

Все планеты-гиганты окружены мощными протяженными атмосферами, и мы видим лишь плавающие в них облака, вытянутые полосами, параллельными экватору, вследствие их быстрого вращения.

*Используя данные приложения V, рассчитайте линейную и угловую скорости вращения на экваторах Земли и Юпитера.*

Полосы облаков видны на Юпитере даже в слабый телескоп (см. форзац). Юпитер вращается зонами — чем ближе к полюсам, тем медленнее. На экваторе период вращения 9 ч 50 мин, а на средних широтах на несколько минут больше. Аналогичным образом вращаются и другие планеты-гиганты.

Поскольку планеты-гиганты находятся далеко от Солнца, их температура (по крайней мере над их облаками) очень низка: на Юпитере —145°С, на Сатурне —180°С, на Уране и Нептуне еще ниже.

Атмосферы планет-гигантов содержат в основном молекулярный водород, есть там метан  $\text{CH}_4$  и, по-видимому, много гелия, а в атмосфере Юпитера и Сатурна обнаружен еще и аммиак  $\text{NH}_3$ . Отсутствие полос  $\text{NH}_3$  в спектрах более далеких планет объясняется тем, что он там вымерз. При низкой температуре аммиак конденсируется, и из него, вероятно, состоят видимые облака Юпитера.

*Химический состав облаков на планетах весьма различен. Каковы общие свойства этих облаков? Какие процессы лежат в основе их образования на различных планетах?*

Интенсивные движения, охватывающие облачный и соседние с ним слои атмосферы, имеют устойчивый характер. В частности, таким устойчивым атмосферным «вихрем» является знаменитое Красное пятно, наблюдаемое на Юпитере уже свыше 300 лет.

Изучение процессов, происходящих в атмосферах различных планет, помогает земной метеорологии и климатологии.

Теоретически построены модели массивных планет, состоящих из водорода и гелия. Расчеты модели внутреннего строения Юпитера показывают, что по мере приближения к центру водород должен последовательно проходить через газообразную, газо-жидкую и жидкую фазы. В центре планеты, где температура может достигать нескольких тысяч кельвин, находится жидкое ядро, состоящее из металлов, силикатов и водорода в металлической фазе, которая наступает при давлениях порядка  $10^{11}$  Па. В 1975 г. металлическую фазу водорода удалось экспериментально получить на Земле, что подтверждает справедливость теоретических расчетов внутреннего строения планет-гигантов.

Благодаря наличию магнитного поля Юпитер имеет пояса радиации, подобные земным, но значительно превосходящие их. Его магнитосфера простирается на миллионы километров, охватывая четыре крупнейших спутника. Юпитер является источником радиоизлучения. Космические аппараты зарегистрировали на нем мощные вспышки молний.

Из остальных данных о планетах заслуживает упоминания особенность осевого вращения Урана, которое, как и у Венеры, происходит в направлении, противоположном направлению вращения всех остальных планет. Кроме того, он вращается как бы лежа на боку, поэтому в течение года происходит значительное изменение условий освещения поверхности планеты.

Самая далекая планета — Плутон — не является планетой-гигантом. Это очень небольшая и плохо изученная холодная планета, год на которой длится около 250 земных лет.

**2. Спутники и кольца планет.** У Меркурия и Венеры спутников нет. У Земли имеется один естественный спутник — *Луна*. Она меньше Земли по диаметру всего лишь в 4 раза. У Плутона обнаружен единственный спутник — *Харон*, который по размерам вдвое меньше, чем сама планета. У Марса — два спутника — *Фобос* и *Деймос* (рис. 53). У остальных планет спутников много, но они неизмеримо меньше своих планет. Почти каждый космический аппарат, пролетающий вблизи планет-гигантов, обнаруживает у них неизвестные ранее спутники небольшого размера. Так, у Урана за последнее время открыто еще 8 спутников.

*По таблице (см приложение V) найдите планеты, у которых наибольшее число спутников.*

Самые крупные спутники — *Титан* (спутник Сатурна) и *Ганимед* (третий спутник Юпитера). Они в 1,5 раза больше Луны по

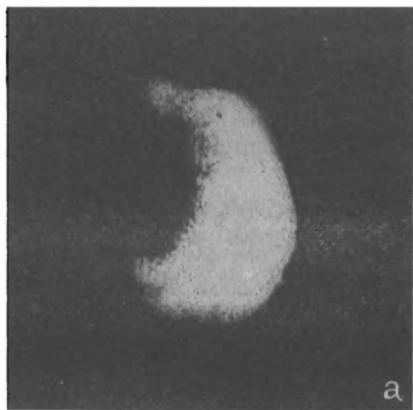


Рис. 53. Спутники Марса: а — Деймос, б — Фобос.

диаметру и немного больше Меркурия. Титан — единственный спутник, обладающий мощной атмосферой, которая в основном состоит из азота.

С помощью автоматических межпланетных станций удалось получить с близкого расстояния четкие фотографии спутников Марса и многих спутников планет-гигантов. На них хорошо видны многочисленные детали поверхности: кратеры, трещины, отдельные неровности. Спутники Юпитера и более далеких планет покрыты слоем льда с пылью в десятки километров толщиной. На спутнике Юпитера — *Ио* было сфотографировано несколько действующих вулканов. Кратерами, главным образом ударного (метеоритного) происхождения, оказались покрыты все спутники, даже столь малые, как спутники Марса размером около 20 км (см. рис. 53).

Многие спутники, как и Луна, повернуты к своей планете всегда одной и той же стороной. Их звездные периоды вращения равны периодам их обращения вокруг своих планет.

Четыре наибольших спутника Юпитера можно разглядеть даже в призмный бинокль. В телескоп за несколько часов удастся проследить, как спутники заметно перемещаются (рис. 54), иногда проходят между Юпитером и Землей, а иногда уходят за диск Юпитера или в его тень. Наблюдая периодичность этих затмений спутников, Ремер в XVII в. открыл, что скорость распространения света конечна, и определил ее числовое значение.

Многие из спутников планет интересны своим движением; например, *Фобос* обращается вокруг Марса втрое быстрее, чем сама планета вращается вокруг оси. Поэтому для наблюдателя на Марсе он дважды в сутки восходит на западе и дважды полностью меняет все фазы, проносясь по небосклону навстречу суточному вращению звезд. Спутники Марса близки к его поверх-

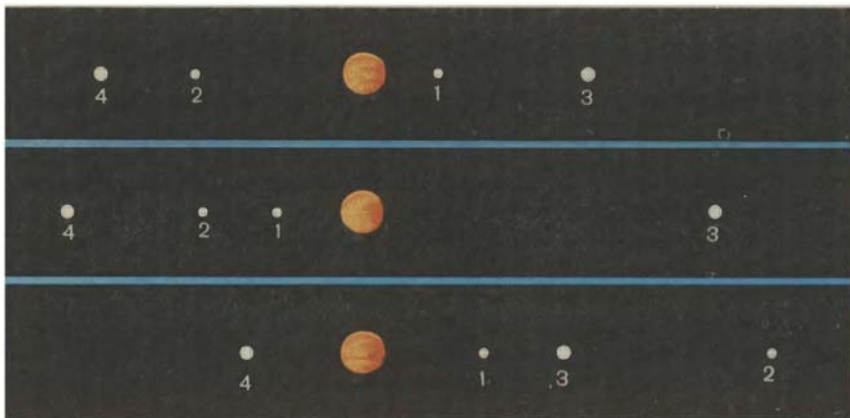


Рис. 54. Примеры изменения расположения четырех главных спутников Юпитера за три последующих дня.

ности. Фобос находится от поверхности Марса на расстоянии меньше, чем диаметр планеты.

Далекие спутники Юпитера и Сатурна очень малы, имеют неправильную форму, и некоторые из них обращаются в сторону, противоположную вращению самой планеты. Плоскости орбит спутников Урана близки к плоскости экватора планеты и, следовательно, почти перпендикулярны к плоскости его орбиты.

Для планет-гигантов характерно наличие не только большого числа спутников, но и колец. Однако с Земли в телескоп можно увидеть лишь яркое кольцо толщиной не более чем в несколько сотен метров, окружающее Сатурн (см. обложку). Оно расположено в плоскости экватора Сатурна, которая наклонена к плоскости его орбиты на  $27^\circ$ .

Рис. 55. Изменения вида кольца Сатурна.



Поэтому в течение 30-летнего оборота Сатурна вокруг Солнца кольцо его видно нам то довольно раскрытым, то точно с ребра, когда его нельзя разглядеть даже в большие телескопы (рис. 55). Ширина этого кольца в несколько раз больше диаметра земного шара.

Русский ученый А. А. Белопольский (1854—1934), изучив спектр кольца, подтвердил теоретический вывод о том, что кольцо у Сатурна должно быть не сплошным, а состоять из мно-

жества мелких частиц. По спектру, используя эффект Доплера, он установил, что внутренние части кольца вращаются быстрее, чем наружные, в соответствии с III законом Кеплера.

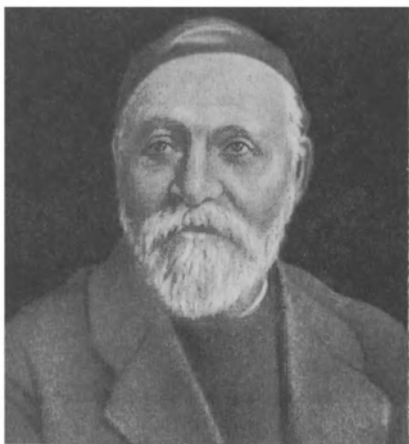
Фотографии, переданные автоматическими станциями, запущенными к Сатурну, показали, что его кольцо состоит из многих сотен отдельных узких «колечек», разделенных темными промежутками. Предполагается, что такая структура колец связана с гравитационным влиянием многочисленных спутников планеты на движение частиц вещества, образующего кольцо.

Система колец Сатурна либо возникла при разрушении некогда существовавшего спутника планеты (например, при его столкновении с другим спутником или астероидом), либо же представляет остаток вещества, из которого в далеком прошлом образовались спутники Сатурна

и которое из-за приливного воздействия планеты не смогло «собраться» в отдельные спутники.

Спутники Марса, далекие и малые спутники планет-гигантов, по-видимому, были астероидами, которые эти планеты захватили своим притяжением.

Недавно были обнаружены очень слабые и тонкие кольца вокруг Урана и Юпитера. Они значительно уступают по яркости кольцам Сатурна. Их существование вокруг больших планет было предсказано ранее советским ученым *С. К. Всехсвятским*.



**А. А. Белопольский (1854—1934).** Советский астроном, один из основателей современных методов спектральных исследований астрономических объектов. Экспериментально подтвердил эффект Доплера и оценил лучевые скорости большого числа звезд. Исследовал вращение колец Сатурна и доказал, что они состоят из мелких космических тел.

Готовясь к рассказу о планетах, используйте данные, помещенные в приложении V, и придерживайтесь такого плана:

1. Группа, к которой принадлежит планета. Отличительные характеристики данной группы.
2. Размеры и масса планеты.
3. Расстояние планеты от Солнца.
4. Периоды ее вращения и обращения.
5. Характеристика атмосферы.
6. Температурные условия.
7. Рельеф (для планет земной группы).
8. Число и характеристика спутников.



**1. Астероиды.** Малые планеты, или астероиды, в основном обращаются между орбитами Марса и Юпитера и невооруженным глазом невидимы. Первая малая планета была открыта в 1801 г., и по традиции ее назвали одним из имен греко-римской мифологии — *Церерой*. Вскоре были найдены и другие малые планеты, названные *Паллада*, *Веста* и *Юнона*. С применением фотографии стали открывать все более слабые астероиды. В настоящее время известно более 3000 астероидов. На протяжении миллиардов лет астероиды время от времени сталкиваются друг с другом. На эту мысль наводит то, что ряд астероидов имеет не шарообразную, а неправильную форму. Суммарная масса астероидов оценивается всего лишь в 0,1 массы Земли.

Самый яркий астероид — Веста не бывает ярче 6-й звездной величины. Самый крупный астероид — Церера. Его диаметр около 800 км, и за орбитой Марса даже в сильнейшие телескопы на столь малом диске ничего нельзя рассмотреть. Самые мелкие из известных астероидов имеют диаметры лишь около километра (рис. 56). Конечно, у астероидов нет атмосферы. На небе малые планеты выглядят как звезды, отчего их и называли астероидами, что в переводе с древнегреческого означает «звездopodobные». Они обладают характерным для планет петлеобразным перемещением на фоне звездного неба. Орбиты некоторых астероидов имеют необычайно большие эксцентриситеты. Вследствие этого в перигелии они подходят к Солнцу ближе Марса и Земли, а *Икар* — ближе, чем Меркурий (рис. 57). В 1968 г. Икар приблизился к Земле на расстояние менее 10 млн. километров, но его ничтожное притяжение никакого влияния на Землю не имело.

Рис. 56. Размер одного из наименьших известных астероидов в сравнении со зданием МГУ.

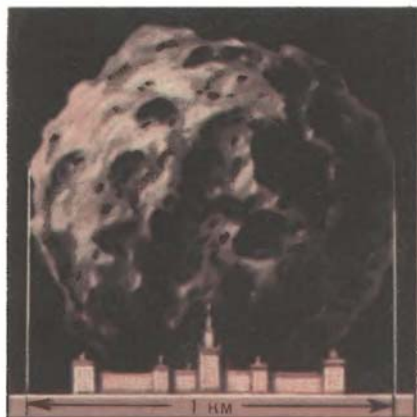


Рис. 57. Орбиты некоторых астероидов с большим эксцентриситетом орбит.

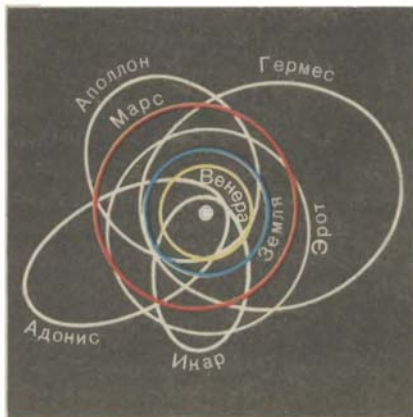




Рис. 58. Полет болида.



Рис. 59. Железный метеорит.

Время от времени близко подходят к Земле *Гермес*, *Эрот* и другие малые планеты.

Новые астероиды открывают ежегодно. Первооткрыватель имеет право на выбор названия открытой им планеты, которое затем утверждается международным комитетом. Чаще всего астероидам присваивают имена известных ученых, героев, деятелей искусства. Так, в 1978 г. был открыт астероид, получивший позднее имя *Воронвеля* в честь автора настоящего учебника.

**2. Болиды и метеориты.** Болидом называется довольно редкое явление — летящий по небу огненный шар (рис. 58). Это явление вызывается вторжением в плотные слои атмосферы крупных твердых частиц, называемых метеорными телами. Двигаясь в атмосфере, частица нагревается вследствие торможения и вокруг нее образуется обширная светящаяся оболочка, состоящая из горячих газов. Болиды часто имеют заметный угловой диаметр и бывают видны даже днем. Суеверные люди принимали такие огненные шары за летящих драконов с огнедышащей пастью. От сильного сопротивления воздуха метеорное тело нередко раскаляется и с грохотом выпадает на Землю в виде осколков. Остатки метеорных тел, упавшие на Землю, называются метеоритами.

Метеорное тело, имеющее небольшие размеры, иногда целиком испаряется в атмосфере Земли. В большинстве случаев его масса за время полета сильно уменьшается и до Земли долетают лишь остатки, обычно успевающие остыть, когда космическая скорость уже погашена сопротивлением воздуха. Иногда выпадает целый метеоритный дождь. При полете метеориты оплавливаются и покрываются черной корочкой. Один такой «черный камень» в Мекке вделан в стену храма и служит предметом религиозного поклонения.

Известны три вида метеоритов: *каменные*, *железные* (рис. 59)

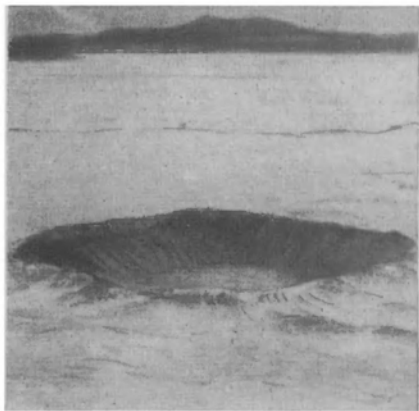


Рис. 60. Аризонский метеоритный кратер.

Самый большой кратер из хорошо сохранившихся находится в Аризоне (США) (рис. 60). Его диаметр 1200 м и глубина 200 м. Этот кратер возник, по-видимому, около 5000 лет назад. Найдены следы еще больших и более древних метеоритных кратеров. Все метеориты — это члены Солнечной системы.

Судя по тому, что открыто немало мелких астероидов, пересекающих орбиту Марса, можно думать, что метеориты — это осколки тех астероидов, которые пересекают орбиту Земли. Структура некоторых метеоритов свидетельствует о том, что они подвергались высоким температурам и давлению и, следовательно, могли существовать в недрах разрушившейся планеты или крупного астероида.

В составе метеоритов обнаружено значительно меньшее число минералов, чем в земных горных породах. Это свидетельствует о примитивном характере метеоритного вещества. Однако многие минералы, входящие в состав метеоритов, не встречаются на Земле. Например, каменные метеориты содержат округлые зерна — хондры, химический состав которых почти идентичен с составом Солнца. Это наиболее древнее вещество дает сведения о начальном этапе формирования планет Солнечной системы.

**3. Кометы. Их открытие и движение.** Находясь в пространстве вдали от Солнца, кометы имеют вид очень слабых, размытых, светлых пятен, в центре которых находится ядро. Очень яркими и «хвостатыми» становятся лишь те кометы, которые проходят сравнительно близко от Солнца. Вид кометы с Земли зависит также и от расстояния до нее, углового расстояния от Солнца, света Луны и т. п. Большие кометы — туманные образования с длинным бледным хвостом — считались вестниками разных несчастий, войн и т. п. Еще в 1910 г. в царской России служили молебны, чтобы отвести «божий гнев в образе кометы».

и железно-каменные. Иногда метеориты находят через много лет после их падения. Особенно много найдено железных метеоритов. В СССР метеорит — собственность государства и подлежит сдаче в научные учреждения для изучения. По содержанию радиоактивных элементов и свинца определяют возраст метеоритов. Он различен, но самые старые метеориты имеют возраст 4,5 млрд. лет.

Некоторые наиболее крупные метеориты при большой скорости падения взрываются и образуют метеоритные кратеры, напоминающие лунные.

Впервые И. Ньютон вычислил орбиту кометы из наблюдений ее перемещения на фоне звезд и убедился, что она, подобно планетам, двигалась в Солнечной системе под действием тяготения Солнца. Его современник, английский ученый Э. Галлей (1656—1742), вычислив орбиты нескольких появившихся ранее комет, предположил, что в 1531, 1607 и 1682 гг. наблюдалась одна и та же комета, периодически возвращающаяся к Солнцу, и впервые предсказал ее появление. В 1758 г. (через 16 лет после смерти Галлея), как и было предсказано, комета действительно появилась и получила название кометы Галлея. В афелии она уходит за орбиту Нептуна (рис. 61) и через 75—76 лет вновь возвращается к Земле и Солнцу. В 1986 г. она снова прошла на кратчайшем расстоянии от Солнца. На встречу с кометой впервые были направлены автоматические межпланетные станции, снабженные различной научной аппаратурой.

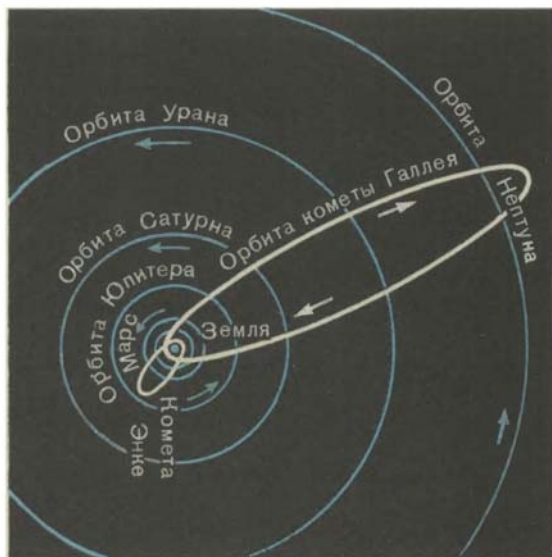
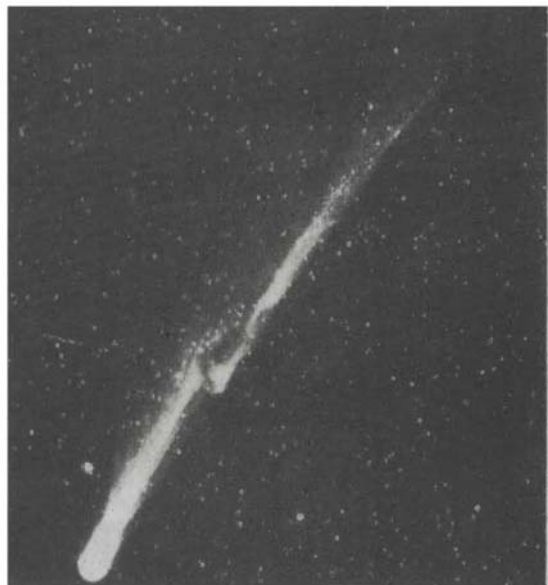


Рис. 61. Орбиты комет Галлея и Энке.

Комета Галлея (январь 1986 г.).

Виден излом хвоста под воздействием солнечного ветра в магнитном поле Солнца. (Фотография получена на высокогорной станции (высота 2800 м) Казахской обсерватории.)



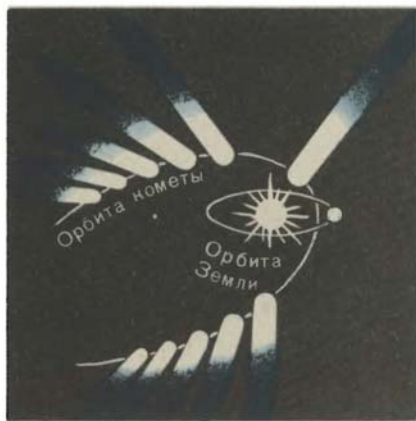
Комета Галлея относится к числу *периодических комет*. Теперь известно много короткопериодических комет с периодами обращения от трех (*комета Энке*) до десяти лет. Их афелии лежат около орбиты Юпитера. Приближение комет к Земле и их будущий видимый путь по небу вычисляют заранее с большой точностью. Наряду с этим есть кометы,двигающиеся по очень вытянутым орбитам с большими периодами обращения. Мы принимаем их орбиты за параболы, хотя в действительности они, по-видимому, являются очень вытянутыми эллипсами, но различить эти кривые, зная лишь малый отрезок пути комет вблизи Земли и Солнца, нелегко. Большинство комет не имеют хвоста и видны лишь в телескоп.

Каждый год появляются сведения об открытии нескольких неизвестных ранее комет, которые получают название по фамилии обнаружившего их ученого. В каталоги занесено около тысячи наблюдававшихся комет.

**4. Физическая природа комет.** Маленькое ядро диаметром в доли километра является единственной твердой частью кометы, и в нем практически сосредоточена вся ее масса. Масса комет крайне мала и нисколько не влияет на движение планет. Планеты же производят большие возмущения в движении комет.

Ядро кометы, по-видимому, состоит из смеси пылинок, твердых кусочков вещества и замерзших газов, таких, как углекислый газ, аммиак, метан. При приближении кометы к Солнцу ядро прогревается и из него выделяются газы и пыль. Они создают газовую оболочку — г о л о в у кометы. Газ и пыль, входящие в состав головы, под действием давления солнечного излучения и корпускулярных потоков образуют хвост кометы, всегда направленный в сторону, противоположную Солнцу (рис. 62).

Рис. 62. Хвост кометы растет с приближением ее к Солнцу и всегда направлен от Солнца.

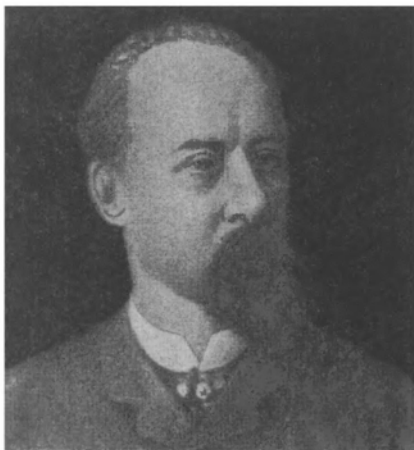


Чем ближе к Солнцу подходит комета, тем она ярче и тем длиннее ее хвост вследствие большего ее облучения и интенсивного выделения газов. Чаще всего он прямой, тонкий, струйчатый. У больших и ярких комет иногда наблюдается широкий, изогнутый веером хвост (рис. 63). Некоторые хвосты достигают в длину расстояния от Земли до Солнца, а голова кометы — размеров Солнца. С удалением от Солнца вид и яркость кометы меняются в обратном порядке и комета исчезает из вида, достигнув орбиты Юпитера.

Спектр головы и хвоста ко-

меты имеет обычно яркие полосы. Анализ спектра показывает, что голова кометы состоит в основном из паров углерода и циана, а в составе ее хвоста имеются ионизованные молекулы оксида углерода (II) (угарного газа). Спектр ядра кометы является копией солнечного спектра, т. е. ядро светится отраженным солнечным светом. Голова и хвост светятся холодным светом, поглощая и затем переизлучая солнечную энергию (это разновидность флуоресценции). На расстоянии Земли от Солнца комета не горячее, чем Земля.

Выдающийся русский ученый *Ф. А. Бредихин* (1831—1904) разработал способ определения по кривизне хвоста силы, действующей на его частицы. Он установил классификацию кометных хвостов и объяснил ряд наблюдаемых в них явлений на основе законов механики и физики. В последние годы стало ясно, что движение газов в прямых хвостах и изломы вызваны взаимодействием ионизованных молекул газов хвоста с налетающим на них потоком частиц (корпускул), летящих от Солнца, который называют солнечным ветром. Воздействие солнечного ветра на ионы ко-



**Ф. А. Бредихин (1831—1904).**  
Русский астроном. Главное направление исследований — изучение комет. Создал теорию, объясняющую движение вещества в хвостах комет.

метных хвостов и объяснил ряд наблюдаемых в них явлений на основе законов механики и физики. В последние годы стало ясно, что движение газов в прямых хвостах и изломы вызваны взаимодействием ионизованных молекул газов хвоста с налетающим на них потоком частиц (корпускул), летящих от Солнца, который называют солнечным ветром. Воздействие солнечного ветра на ионы ко-

**Рис. 63.** Фотография кометы Мркоса 1957 г.



метного хвоста превосходят их притяжение Солнцем в тысячи раз. Усиление коротковолновой радиации Солнца и корпускулярных потоков вызывает внезапные вспышки яркости комет.

И в наше время иногда среди населения высказываются опасения, что Земля столкнется с кометой. В 1910 г. Земля прошла сквозь хвост кометы Галлея, где есть угарный газ. Однако его примесь в приземном воздухе не удалось обнаружить, так как даже в голове кометы газы чрезвычайно разрежены. Столкновение Земли с ядром кометы крайне маловероятное событие. Возможно, такое столкновение наблюдалось в 1908 г. как падение Тунгусского метеорита. При этом на высоте нескольких километров произошел мощный взрыв, воздушная волна которого повалила лес на огромной площади.

**5. Метеоры и метеорные потоки.** Давно замечено, что ядра периодических комет истощаются, с каждым оборотом они светятся все слабее. Не раз наблюдалось деление кометных ядер на части. Это разрушение производили либо солнечные приливы, либо столкновения с метеоритными телами. Комета, открытая чешским ученым Биэлой еще в 1772 г., наблюдалась при повторных возвращениях с семилетним периодом. В 1846 г. ее ядро распалось, и она превратилась в две слабые кометы, которые после 1852 г. не наблюдались. Когда в 1872 г., по расчетам, исчезнувшие кометы должны были пройти вблизи Земли, наблюдался дождь «падающих звезд». С тех пор 27 ноября это явление повторяется ежегодно, хотя и менее эффектно. Мелкие твердые частички распавшегося ядра бывшей кометы Биэлы растянулись вдоль ее орбиты (рис. 64), и, когда Земля пересекает их поток, они влетают в ее атмосферу. Эти частички вызывают в атмосфере явление метеороидов и полностью разрушаются, не долетая до Земли. Известен ряд других метеорных потоков, ширина которых, как правило, неизмеримо больше, чем размер породивших их ядер комет.

С кометой Галлея связаны два метеорных потока, один из которых наблюдается в мае, другой — в ноябре.

Фотографируя путь одного и того же метеора на звездном небе, как он проецируется для наблюдателей, отстоящих друг от друга на 20—30 км, определяют высоту, на которой появился метеор. Чаще всего метеорные тела начинают светиться на высоте 100—120 км и полностью испаряются уже на высоте 80 км. В их спектрах видны яркие линии железа, кальция, кремния и др. Изучение спектров метеоров позволяет установить химический состав твердых частиц, покинувших ядро кометы. Фотографируя полет метеора камерой, объектив которой перекрывается вращающимся затвором, получают прерывистый след, по которому можно оценить торможение метеора воздухом.

Масса метеорных тел — порядка миллиграммов, а размер — доли миллиметра. Вероятно, метеорные тела — это пористые частицы, заполненные кометным льдом, который испаряется первым.

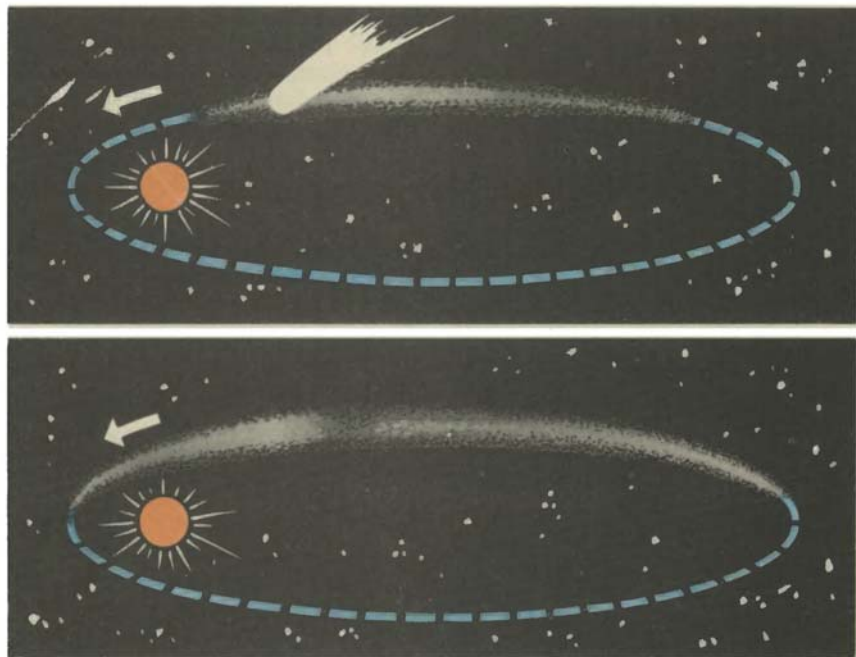


Рис. 64. Схема превращения распадающегося ядра кометы в поток метеорных частиц.

Удается определить и скорость метеоров. Метеорные тела, догоняющие Землю, имеют скорости, с которыми они влетают в атмосферу, не менее 11 км/с, а летящие навстречу Земле — до 60—70 км/с.

*Подумайте, почему минимальная и максимальная скорости встречи метеорных тел с Землей имеют именно такие значения.*

Раскаленные газы, оставляемые метеорным телом, образуют светящийся след. Метеорная частица на своем пути ионизирует воздух. След из ионизованного воздуха отражает радиоволны. Это позволило применить для изучения метеоров радиолокатор.

Метеоры иногда кажутся вылетающими из некоторой области на небе, называемой радиантом метеорного потока (рис. 65). Это эффект перспективы. Пути метеоров, летящих по параллельным направлениям, будучи продолжены, кажутся сходящимися вдаль, как рельсы железной дороги. Радиант находится на небе в том направлении, откуда летят данные метеорные тела. Всякий радиант занимает определенное положение среди созвездий и участвует в суточном вращении неба. Положение радианта опре-





Рис. 65. Дождь метеоров из радианта. Эффект перспективы.

5. Может ли комета, периодически возвращаясь к Солнцу, вечно сохранять свой вид неизменным?

#### ЗАДАНИЕ 10

Предположим, что рисунок 63 есть десятикратное увеличение фотографии, полученной камерой с фокусным расстоянием объектива 10 см. Оцените длину прямого луча в хвосте кометы в градусах, зная, что изображения Луны и Солнца ( $0,5^\circ$ ) на фотопленке равны  $1/114$  доле фокусного расстояния объектива.

### 21. СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА — КОМПЛЕКС ТЕЛ, ИМЕЮЩИХ ОБЩЕЕ ПРОИСХОЖДЕНИЕ

**Раздел астрономии, в котором изучаются происхождение и развитие небесных тел, называется космогонией.**

Решение вопроса о происхождении Земли и Солнечной системы в целом в значительной степени затрудняется тем, что других подобных систем мы не наблюдаем. Нашу Солнечную систему не с чем пока еще сравнивать, хотя системы, подобные ей, должны быть достаточно распространены и их возникновение должно быть не случайным, а закономерным явлением.

деляет название метеорного потока. Например, метеоры, наблюдающиеся 10—12 августа, радиант которых находится в созвездии Персея, называются персеидами.

Наблюдения метеорных потоков — важная научная задача, вполне посильная для школьников. Они способствуют изучению нашей атмосферы и вещества распавшихся комет.

#### УПРАЖНЕНИЕ 17

1. После захода Солнца на западе находится комета. Как относительно горизонта направлен ее хвост?
2. Какова большая ось орбиты кометы Галлея, если период ее обращения 76 лет?
3. Как можно доказать, что действительно звезды с неба не падают?
4. Болид, замеченный на расстоянии 0,5 км от наблюдателя, имел видимый диск вдвое меньше лунного. Каков был его действительный диаметр?

В настоящее время при проверке той или иной гипотезы о происхождении Солнечной системы в значительной мере основываются на данных о химическом составе и возрасте пород Земли и других тел Солнечной системы. Наиболее точный метод определения возраста пород состоит в подсчете отношения количества радиоактивного урана к количеству свинца, находящихся в данной породе. Дело в том, что свинец является конечным продуктом самопроизвольного распада урана. Скорость этого процесса известна точно, и изменить ее нельзя никакими способами. Чем меньше урана осталось и чем больше свинца накопилось в породе, тем больше ее возраст. Самые древние горные породы в земной коре имеют возраст несколько миллиардов лет. Земля в целом возникла, очевидно, несколько раньше, чем земная кора.

Изучение окаменелых остатков животных и растений показывает, что за последние сотни миллионов лет излучение Солнца существенно не изменилось. По современным оценкам Солнцу около 5 млрд. лет. Солнце лишь ненамного старше Земли.

Для развития материалистического мировоззрения огромную роль сыграли уже первые научные предположения о происхождении Солнечной системы. Таковой была гипотеза немецкого философа И. Канта, разработанная им на основе закона всемирного тяготения. В середине XVIII в. он изложил идею о возникновении Солнечной системы из облака холодных пылинок, находящихся в хаотическом движении. В 1796 г. французский ученый П. Лаплас подробно описал гипотезу образования Солнца и планет из уже вращающейся газовой туманности. Лаплас учел основные характерные черты Солнечной системы, которые должна объяснить любая гипотеза о ее происхождении: основная масса системы сосредоточена в Солнце; орбиты планет и спутников почти круговые и лежат почти в одной плоскости; расстояния между ними возрастают по определенному закону; почти все планеты не только обращаются вокруг Солнца, но и вращаются вокруг своих осей в одном направлении. Свою гипотезу он строил на основе представлений о том, что и планеты, и вещество, из которого они образовались, первоначально были в горячем, расплавленном состоянии.

В настоящее время ученые пришли к выводу о том, что Земля никогда не была ни газовой, ни огненно-жидкой.

В данный период наиболее разработанной является гипотеза, основы которой были заложены работами советского академика *О. Ю. Шмидта* (1891—1956) в середине нашего века.

*По гипотезе Шмидта*, планеты возникли из вещества огромного холодного газопылевого облака, частицы которого обращались по самым различным орбитам вокруг незадолго до этого сформировавшегося Солнца. Со временем форма этого облака менялась. Столкновения частиц и обмен энергией между ними приводили к тому, что облако постепенно сплющивалось, а орбиты частиц становились круговыми. Крупные частицы присоединяли к себе мел-

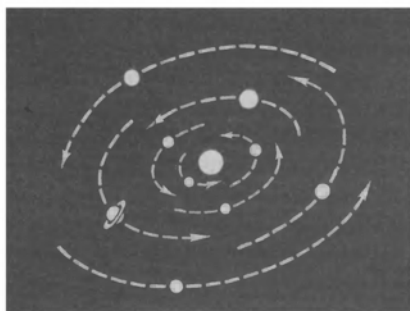
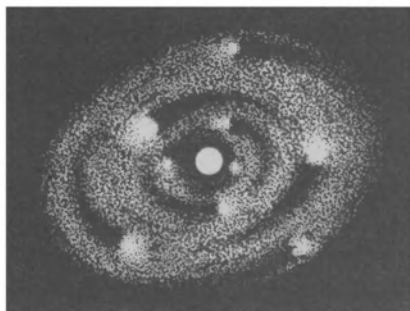
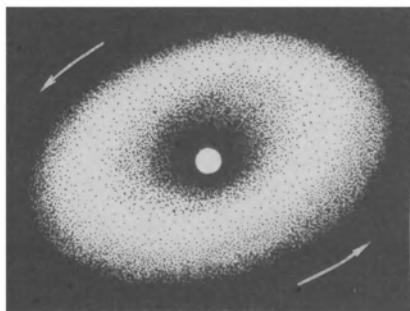


Рис. 66. Этапы возникновения Земли и планет из газопылевого облака по гипотезе О. Ю. Шмидта.

кие. Стало преобладать движение в одном направлении. Возникали сгустки вещества, которое теперь распределялось в виде диска, имевшего толщину, в тысячу раз меньшую его диаметра. Быстрее всего росла масса крупнейших сгустков. Затем из большого числа первоначально образовавшихся «рыхлых» комков вещества всевозможных размеров возникло несколько крупных тел — планет (рис. 66). Расчеты показывают, что Земля выросла до ее современной массы за несколько сот миллионов лет. Холодная на поверхности, она стала разогреваться внутри за счет распада радиоактивных элементов. Это привело к расплавлению земных недр. Тяжелые элементы образовали ядро, а легкие всплыли и образовали кору. В рое частиц, окружавшем зародыши планет, тоже происходил процесс слипания частиц, и возникли спутники планет.

Падение частиц и тел различного размера (диаметром до нескольких километров) на планеты и их спутники продолжалось и после образования их коры. Ударяясь о поверхность планет и спутников с космическими скоростями, они взрывались и образовывали многочисленные кратеры.

Гипотеза происхождения Солнечной системы из газопылевого облака позволяет объяснить различия физических характеристик планет земной группы и планет-гигантов.

Сильный нагрев облака вблизи Солнца привел к тому, что водород и гелий улетучились из центра на окраины и в планетах земной группы почти не сохранились. В удаленных от Солнца частях газопылевого облака царила низкая температура, поэтому газы здесь намерзли на твердые частицы. Из этого вещества, содержавшего много водорода и гелия, образовались планеты-гиганты. Объем и масса этой удаленной от Солнца части облака были зна-

чительно больше, чем той, где образовались планеты типа Земли. Поэтому планеты-гиганты имеют большую массу.

О происхождении малых тел Солнечной системы (астероидов и комет) существует несколько различных гипотез.

Так, уже более ста лет назад было высказано предположение, что астероиды являются осколками планеты, ранее существовавшей между Марсом и Юпитером, но по какой-то причине разрушившейся. Б. А. Воронцов-Вельяминов (автор учебника) считает, что все малые тела Солнечной системы имеют общее происхождение. Они могли образоваться из различных частей этой некогда большой и неоднородной планеты в результате ее взрыва. Смерзшиеся в космическом пространстве после взрыва газы, пары и мелкие частицы стали ядрами комет, а обломки большей плотности — астероидами, которые, как показывают наблюдения, имеют явно обломочную форму.

Многие кометные ядра, как более мелкие и более легкие, при своем образовании получили большие и по-разному направленные скорости и ушли очень далеко от Солнца (или навсегда покинули Солнечную систему).

Другое возможное объяснение происхождения малых тел учитывает, что далеко не все зародыши выросли в планеты. Многие остались в Солнечной системе в виде астероидов и метеоритных тел. На больших расстояниях от Солнца эти зародыши существуют до сих пор в виде отдельных ледяных глыб с примесью твердых частиц вещества. Это ядра комет, образующие огромное облако, которое простирается далеко за пределы орбиты Плутона.

Большая часть комет движется по своим орбитам на периферии Солнечной системы. Притяжение Юпитера может превратить орбиты некоторых комет в очень вытянутые эллипсы, двигаясь по которым кометы попадают внутрь планетной системы. Они несут в себе вещество, сохранившееся в «космическом холодильнике» со времени ее формирования миллиарды лет тому назад. На планетах, где за это время происходило расплавление, кристаллизация и другие физико-химические процессы, первоначальный состав и строение вещества сильно изменились.

*Вспомните сведения о химическом составе и возрасте пород обнаруженных на Луне и других телах Солнечной системы*

Имеющиеся данные о возрасте и химическом составе пород на различных телах Солнечной системы вполне согласуются с гипотезой Шмидта, развитой в работах других ученых.

Расчеты, проводимые при помощи компьютеров и учитывающие наличие магнитного поля и ряд других факторов, позволяют объяснить происхождение планетной системы из газопылевого облака, которое окружало около 5 млрд. лет назад молодое Солнце. Однако отдельные стороны этого длительного сложного процесса продолжают изучаться и уточняться.

## 22. СОЛНЦЕ — БЛИЖАЙШАЯ ЗВЕЗДА<sup>1</sup>

**1. Энергия Солнца.** Солнце — центральное и самое массивное тело Солнечной системы. Его масса в 333 000 раз больше массы Земли и в 750 раз превышает массу всех других планет, вместе взятых. Солнце — мощный источник энергии, постоянно излучаемой им во всех участках спектра электромагнитных волн — от рентгеновских и ультрафиолетовых лучей до радиоволн. Это излучение оказывает сильное воздействие на все тела Солнечной системы: нагревает их, влияет на атмосферы планет, дает свет и тепло, необходимые для жизни на Земле.

Вместе с тем Солнце — ближайшая к нам звезда, у которой в отличие от всех других звезд мы можем наблюдать диск и при помощи телескопа изучать на нем мелкие детали, размером даже до нескольких сотен километров. Солнце — типичная звезда, а потому его изучение помогает понять природу звезд вообще.

Видимый угловой диаметр Солнца незначительно меняется из-за эллиптичности орбиты Земли. В среднем он составляет около 32', или 1/107 радиана, т. е. диаметр Солнца равен 1/107 а. е., или приблизительно 1 400 000 км, что в 109 раз превышает диаметр Земли.

На поверхность площадью 1 м<sup>2</sup>, расположенную перпендикулярно солнечным лучам за пределами земной атмосферы, приходится 1,36 кВт лучистой энергии Солнца. Умножив это число на площадь поверхности шара радиусом, равным расстоянию от Земли до Солнца, получим мощность полного излучения Солнца (его светимость), которая составляет около  $4 \cdot 10^{23}$  кВт. Так излучает тело солнечных размеров, нагретое до температуры около 6000 К (эффективная температура Солнца). Земля получает от Солнца примерно 1/2 000 000 000 часть излучаемой им энергии.

### УПРАЖНЕНИЕ 18

1. Какая энергия поступает за 1 мин от Солнца в озеро площадью 1 км<sup>2</sup> в ясную погоду, если высота Солнца над горизонтом 30°, а атмосфера пропускает 80% излучения?
2. Какая мощность излучения в среднем приходится на 1 кг солнечного вещества?

<sup>1</sup> Материал этого параграфа написан при участии Э. В. Кононовича.

**2. Строение Солнца.** Как и все звезды, Солнце — раскаленный газовый шар. В основном оно состоит из водорода с примесью 10% (по числу атомов) гелия. Число атомов всех остальных элементов, вместе взятых, примерно в 1000 раз меньше. Однако масса этих более тяжелых элементов составляет 1—2% массы Солнца.

На Солнце вещество сильно ионизовано, т. е. атомы потеряли свои внешние электроны и вместе с ними стали свободными частицами ионизованного газа — плазмы.

*Что можно сказать о полном электрическом заряде некоторого объема плазмы, содержащего, например,  $10^7$  таких частиц?*

Средняя плотность солнечного вещества  $\bar{\rho} \approx 1400 \text{ кг/м}^3$ . Это значение соизмеримо с плотностью воды и в тысячу раз больше плотности воздуха у поверхности Земли. Однако в наружных слоях Солнца плотность в миллионы раз меньше, а в центре — в 100 раз больше, чем средняя плотность.

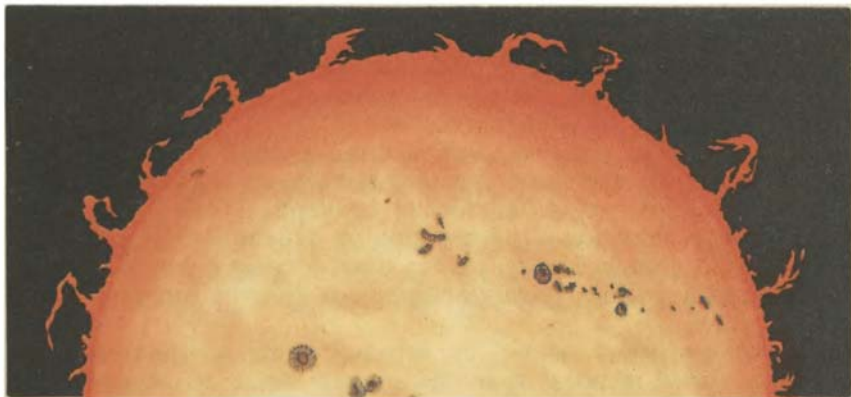
Под действием сил гравитационного притяжения, направленных к центру Солнца, в его недрах создается огромное давление.

Если бы вещество внутри Солнца было распределено равномерно и плотность всюду равнялась средней, то рассчитать внутреннее давление было бы легко. Сделаем приближенно такой расчет для глубины, равной  $1/2R_{\odot}$ .

Сила тяжести  $F = mg$  на этой глубине будет определяться массой вещества, заключенного в радиальном столбике высотой  $1/2R_{\odot}$ , площадь которого  $S$ , а также значением  $g$  на поверхности сферы радиусом  $1/2R_{\odot}$ . Масса солнечного вещества, содержащегося в этом столбике, равна:

$$m = \bar{\rho} \frac{R_{\odot}}{2} S,$$

Солнце с пятнами и протуберанцами.



а гравитационное ускорение на расстоянии  $\frac{1}{2} R_{\odot}$  от центра «однородного» Солнца по закону всемирного тяготения равно:

$$g = G \frac{\frac{1}{8} M_{\odot}}{\left(\frac{1}{2} R_{\odot}\right)^2},$$

так как объем указанной сферы составляет  $\frac{1}{8}$  от объема всего Солнца и при постоянстве плотности в нем заключена  $\frac{1}{8} M_{\odot}$ . Поэтому давление

$$p = \frac{mg}{S} = G \frac{\frac{1}{8} M_{\odot}}{\left(\frac{1}{2} R_{\odot}\right)^2} \bar{q} \frac{R_{\odot}}{2}.$$

Отсюда получаем, что  $p \approx 6,6 \cdot 10^{13}$  Па, т. е. оно в миллиард раз превышает атмосферное давление.

Согласно газовым законам давление пропорционально температуре и плотности. Это дает возможность определить температуру в недрах Солнца.

Точные расчеты, учитывающие рост плотности и температуры к центру, показывают, что в центре Солнца плотность газа составляет около  $1,5 \cdot 10^5$  кг/м<sup>3</sup> (в 13 раз больше, чем у свинца!), давление — около  $2 \cdot 10^{18}$  Па, а температура — около 15 000 000 К.

При такой температуре ядра атомов водорода (протоны) имеют очень высокие скорости (сотни километров в секунду) и могут сталкиваться друг с другом, несмотря на действие электростатической силы отталкивания. Некоторые столкновения завершаются ядерными реакциями, при которых из водорода образуется гелий и выделяется большое количество теплоты. Эти реакции являются источником энергии Солнца на современном этапе его эволюции. В результате количество гелия в центральной области Солнца постепенно увеличивается, а водорода — уменьшается.

Поток энергии, возникающей в недрах Солнца, передается во внешние слои и распределяется на все большую и большую площадь. Вследствие этого температура солнечных газов убывает по мере удаления от центра. В зависимости от значения температуры и характера определяемых ею процессов все Солнце условно можно разделить на 4 области (рис. 67):

1) *внутренняя, центральная область (ядро)*, где давление и температура обеспечивают протекание ядерных реакций, она простирается от центра до расстояния примерно  $1/3 R_{\odot}$ ;

2) *«лучистая» зона* (расстояние от  $1/3$  до  $2/3 R_{\odot}$ ), в которой энергия передается наружу от слоя к слою в результате последовательного поглощения и излучения квантов электромагнитной энергии;

3) *конвективная зона* — от верхней части «лучистой» зоны почти до самой видимой границы Солнца. Здесь температура бы-

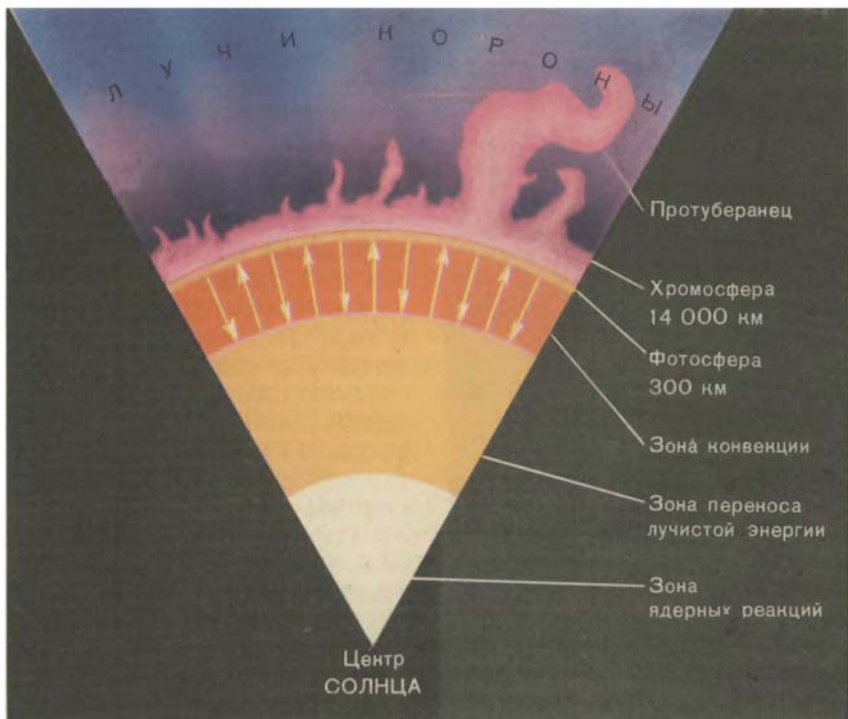


Рис. 67. Схема строения Солнца.

стро уменьшается по мере приближения к видимой границе Солнца, в результате чего происходит перемешивание вещества (конвекция), подобное кипению жидкости в сосуде, подогреваемом снизу;

4) *атмосфера*, начинающаяся сразу за конвективной зоной и простирающаяся далеко за пределы видимого диска Солнца. Нижний слой атмосферы включает тонкий слой газов, который воспринимается нами как поверхность Солнца. Верхние слои атмосферы непосредственно не видны и могут наблюдаться либо во время полных солнечных затмений, либо при помощи специальных приборов.

**3. Солнечная атмосфера и солнечная активность.** Солнечную атмосферу также можно условно разделить на несколько слоев (см. рис. 67).

Самый глубокий слой атмосферы, толщиной 200—300 км, называется фотосферой (сфера света). Из него исходит почти вся та энергия Солнца, которая наблюдается в видимой части спектра.

В фотосфере, как и в более глубоких слоях Солнца, температура убывает по мере удаления от центра, изменяясь примерно от



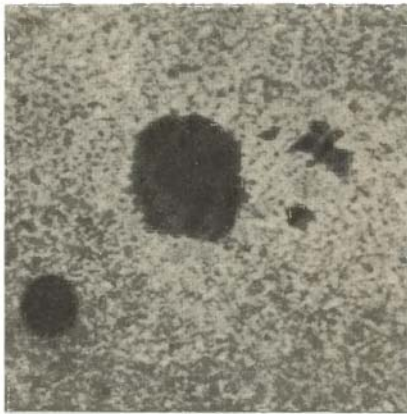


Рис. 68. Фотосфера с грануляцией и пятнами.

8000 до 4000 К: сильное охлаждение наружных слоев фотосферы происходит из-за ухода излучения в межпланетное пространство.

На фотографиях фотосферы (рис. 68) хорошо заметна ее тонкая структура в виде ярких «зернышек» — гранул размером в среднем около 1000 км, разделенных узкими темными промежутками. Эта структура называется грануляцией. Она оказывается следствием движения газов, которое происходит в расположенной под фотосферой конвективной зоне Солнца.

Убывание температуры в наружных слоях фотосферы приводит к тому, что в спектре видимого излучения Солнца, почти целиком возникающего в фотосфере, наблюдаются темные линии поглощения. Они называются фраунгоферовыми в честь немецкого оптика *И. Фраунгофера* (1787—1826), впервые в 1814 г. зарисовавшего несколько сотен таких линий. По той же причине (падение температуры от центра Солнца) солнечный диск к краю кажется более темным.

В самых верхних слоях фотосферы температура достигает значения, близкого к 4000 К. При такой температуре и плотности  $10^{-3}$ — $10^{-4}$  кг/м<sup>3</sup> практически весь водород оказывается нейтральным. Ионизовано только около 0,01% атомов, принадлежащих главным образом металлам. Однако выше в атмосфере температура, а вместе с ней и ионизация снова начинают расти, сначала медленно, а затем очень быстро. Область солнечной атмосферы, в которой температура растет вверх и происходит последовательная ионизация водорода, гелия и других элементов, называется хромосферой. Ее температура составляет десятки и сотни тысяч кельвин. Она в виде блестящей розовой каемки видна вокруг темного диска Луны в редкие моменты полных солнечных затмений. Выше хромосферы температура солнечных газов достигает  $10^6$ — $2 \cdot 10^6$  К и далее на протяжении многих радиусов Солнца почти не меняется. Эта разреженная и горячая оболочка называется солнечной короной (рис. 69). В виде лучистого жемчужного сияния ее можно увидеть при полной фазе затмения Солнца, тогда она представляет собой поразительно красивое зрелище. «Испаряясь» в межпланетное пространство, газ короны образует постоянно текущий от Солнца поток горячей разреженной плазмы, называемый солнечным ветром.

Лучше всего хромосферу и корону наблюдать со спутников

и орбитальных космических станций в ультрафиолетовых и рентгеновских лучах.

Временами в отдельных областях фотосферы темные промежутки между гранулами увеличиваются, образуются небольшие округлые поры, некоторые из них развиваются в большие темные пятна (см. рис. 68), окруженные полутьней, состоящей из продолговатых, радиально вытянутых фотосферных гранул.

Наблюдая солнечные пятна в телескоп, Галилей заметил, что они перемещаются по видимому диску Солнца. На этом основании он сделал вывод, что Солнце вращается вокруг своей оси. Угловая скорость вращения Солнца убывает от экватора к полюсам, точки на экваторе совершают полный оборот за 25 сут, а вблизи полюсов звездный период вращения Солнца увеличивается до 30 сут. Земля движется по своей орбите

в том же направлении, в котором происходит вращение Солнца. Поэтому относительно земного наблюдателя период вращения Солнца почти на двое суток больше и пятно, находившееся в центре солнечного диска, снова пройдет через центральный меридиан Солнца через 27 сут.

Пятна — непостоянные образования. Число и форма пятен на Солнце непрерывно меняются (рис. 70). Обычно солнечные пятна появляются группами.

Около края солнечного диска вокруг пятен видны светлые образования, почти незаметные, когда пятна близки к центру солнечного диска. Эти образования называются факелами. Они гораздо контрастнее и видны по всему диску, если Солнце фотографировать не в белом свете, а в лучах, соответствующих спектральным линиям водорода, ионизованного кальция и некоторых других элементов. Такие фотографии называются спектрогелиограммами. По ним изучается структура более высоких слоев солнечной атмосферы и чаще всего хромосферы.

Количество активных областей и групп пятен на Солнце периодически меняется со временем в среднем в течение примерно 11 лет. Это явление называется *циклом солнечной активности*.

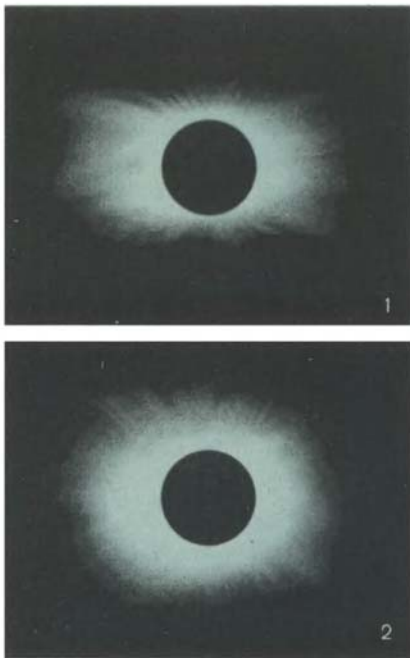


Рис. 69. Вид солнечной короны: 1 — в годы, когда пятен на Солнце много; 2 — в годы, когда пятен мало.

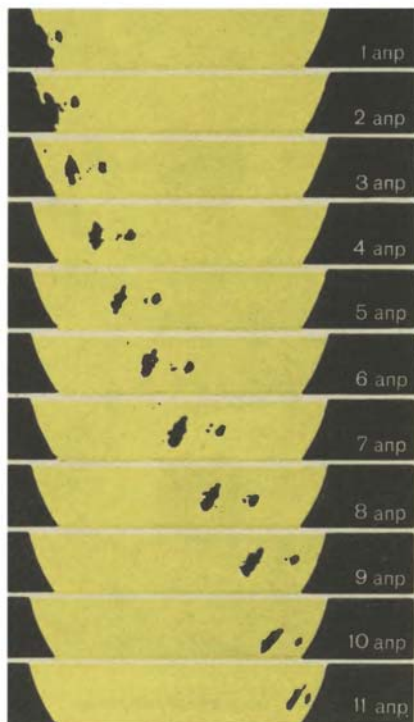


Рис. 70. Изменения видимого положения пятен на Солнце при его вращении.

В частности, увеличение яркости фотосферы в факелах и значительное ее уменьшение (до 10 раз) в области пятен вызваны соответственно усилением конвективных движений в слабом магнитном поле и сильным их ослаблением при большой индукции магнитного поля.

Черными пятна кажутся лишь по контрасту с более горячей и оттого более яркой фотосферой. Температура пятен составляет около 3700 К, поэтому в спектре пятна есть полосы поглощения простейших двухатомных молекул: CO, TiO, CH, CN и др., которые в более горячей фотосфере распадаются на атомы.

Хромосфера над факелами ярче благодаря большей температуре и плотности. Во время значительных изменений, происходящих в группах пятен, в небольшой области иногда возникают хромосферные вспышки: внезапно, за каких-нибудь 10—15 мин, яркость хромосферы сильно увеличивается, происходят выбросы сгустков газа, ускоряются потоки горячей плазмы. В некоторых случаях отдельные заряженные частицы ускоряются до очень высоких значений энергии. Мощность солнечного радиоиз-

В начале цикла пятен почти нет, затем их количество увеличивается сначала вдали от экватора, а потом все ближе к нему. Через несколько лет наступает максимум количества пятен, или, как говорят, максимум солнечной активности, а после него происходит ее спад.

Главной особенностью пятен, а также факелов является присутствие магнитных полей. В пятнах индукция магнитного поля велика и достигает иногда 0,4—0,5 Тл, в факелах магнитное поле слабее.

Как правило, в группе пятен присутствуют два особенно крупных пятна — одно на западной, а другое на восточной стороне группы, которые имеют противоположную магнитную полярность, подобно двум полюсам подковообразного магнита.

Магнитные поля играют очень важную роль в солнечной атмосфере, оказывая сильное влияние на движение плазмы, ее плотность и температуру.

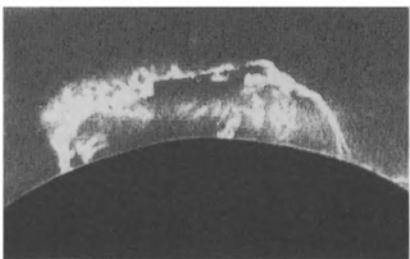
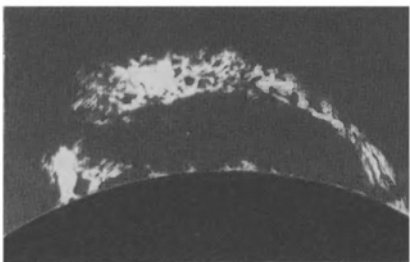
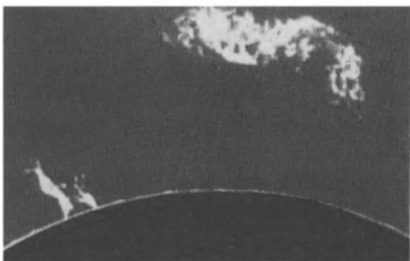
лучения при этом обычно увеличивается в миллионы раз (всплески радиоизлучения).

В короне наблюдаются еще более грандиозные по размерам активные образования — протуберанцы. Они представляют собой исключительно разнообразные по форме и характеру своего движения облака более плотных газов по сравнению с веществом короны (рис. 71). Форма протуберанцев и их движение связаны с магнитными полями, проникающими из фотосферы в корону.

**4. Солнечно-земные связи.** Солнце оказывает огромное влияние на явления, происходящие на Земле. Коротковолновое его излучение определяет важнейшие физико-химические процессы в верхних слоях земной атмосферы. Видимые и инфракрасные лучи являются основными «поставщиками» тепла для Земли. В различных странах мира, в том числе и в нашей стране, проводятся работы по более широкому использованию солнечной энергии для хозяйственных и промышленных целей (выработка электроэнергии, отопление зданий и др.). В будущем употребление энергии прямого солнечного излучения неизбежно возрастет.

Солнце не только освещает и согревает Землю. Проявлениям солнечной активности сопутствует возникновение целого ряда геофизических явлений. Потоки заряженных частиц, ускоренные во вспышках, влияют на магнитное поле Земли и вызывают магнитные бури, которые приводят к проникновению заряженных частиц в более низкие слои атмосферы, отчего и возникают полярные сияния. Коротковолновое излучение Солнца усиливает ионизацию верхних слоев земной атмосферы (ионосферы), что сильно влияет на условия распространения радиоволн, иногда нарушая радиосвязь. Оказалось, что активные процессы на Солнце, влияя на атмосферу и магнитное поле Земли, косвенным

Рис. 71. Изменения протуберанца (1 ч 41 мин — нижний рисунок, 2 ч 57 мин — средний, 5 ч 33 мин — верхний).



образом воздействуют и на сложные процессы органического мира — как животного, так и растительного. Эти воздействия и их механизм в настоящее время исследуются учеными.

#### УПРАЖНЕНИЕ 19

1. Можно ли заметить невооруженным глазом (через темный фильтр) на Солнце пятно размером с Землю, если глаз различает предметы, видимые под углом не менее  $2-3'$ ?
2. Считая, что яркость пропорциональна четвертой степени температуры и что температура фотосферы  $6000\text{ К}$ , определите температуру солнечного пятна, если его яркость в 10 раз меньше, чем яркость фотосферы.

#### ЗАДАНИЕ 11

1. Определите площадь солнечного пятна (см. рис. 68). (Темный круг внизу соответствует размеру Земли в масштабе фотографии.)
2. Определите скорость подъема протуберанца (выразите ее в км/с), измеряя его положение на трех фотографиях (см. рис. 71). (Для определения масштаба фотографии оцените радиус Солнца по его сегменту, видимому на рисунке.) Является ли движение этого протуберанца равномерным?

### 23. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЙ ДО ЗВЕЗД. ИХ ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Звезды являются самым распространенным типом небесных тел во Вселенной. Звезд до 6-й звездной величины насчитывается около 6000, до 11-й звездной величины примерно миллион, а до 21-й звездной величины их на всем небе около 2 млрд.

Все они, как и Солнце, являются горячими самосветящимися газовыми шарами, в недрах которых выделяется огромная энергия. Однако звезды даже в самые сильные телескопы видны как светящиеся точки, так как они находятся очень далеко от нас.

**1. Годичный параллакс и расстояния до звезд.** Радиус Земли оказывается слишком малым, чтобы служить базисом для измерения параллактического смещения звезд и для определения расстояний до них. Еще во времена Коперника было ясно, что если Земля действительно обращается вокруг Солнца, то видимые положения звезд на небе должны меняться. За полгода Земля перемещается на величину диаметра своей орбиты. Направления на звезду с противоположных точек этой орбиты должны различаться. Иначе говоря, у звезд должен быть замечен годичный параллакс (рис. 72).

Годичным параллаксом звезды  $p$  называют угол, под которым со звезды можно было бы видеть большую полуось земной орбиты (равную 1 а. е.), если она перпендикулярна лучу зрения.

Чем больше расстояние  $D$  до звезды, тем меньше ее параллакс. Параллактическое смещение положения звезды на небе в

течение года происходит по маленькому эллипсу или кругу, если звезда находится в полюсе эклиптики (см. рис. 72).

Коперник пытался, но не смог обнаружить параллакс звезд. Он правильно утверждал, что звезды слишком далеки от Земли, чтобы существовавшими тогда приборами можно было заметить их параллактическое смещение.

Впервые надежное измерение годового параллакса звезды Веги удалось осуществить в 1837 г. русскому академику В. Я. Струве. Почти одновременно с ним в других странах определили параллаксы еще у двух звезд, одной из которых была  $\alpha$  Центавра. Эта звезда, которая в СССР не видна, оказалась ближайшей к нам, ее годичный параллакс  $p = 0,75''$ . Под таким углом невооруженному глазу видна проволочка толщиной 1 мм с расстояния 280 м. Неудивительно, что так долго не могли заметить у звезд столь малые угловые смещения.

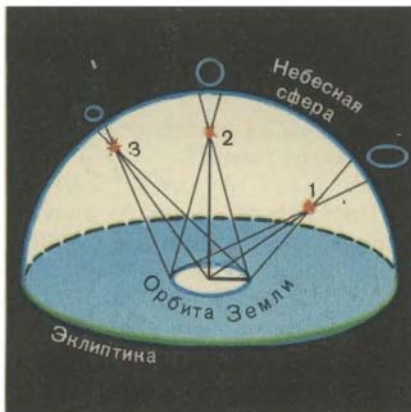


Рис. 72. Годичные параллаксы звезд.

Расстояние до звезды  $D = \frac{a}{\sin p}$ , где  $a$  — большая полуось земной орбиты. При малых углах  $\sin p = \frac{p}{206265''}$ , если  $p$  выражено в секундах дуги. Тогда, приняв  $a = 1$  а. е., получим:

$$D_{\text{а. е.}} = \frac{206265''}{p}$$

Расстояние до ближайшей звезды  $\alpha$  Центавра  $D = 206\,265'' : 0,75'' = 270\,000$  а. е. Свет проходит это расстояние за 4 года, тогда как от Солнца до Земли он идет только 8 мин, а от Луны около 1 с.

Расстояние, которое свет проходит в течение года, называется световым годом. Эта единица используется для измерения расстояния наряду с парсеком (пк).

Парсек — расстояние, с которого большая полуось земной орбиты, перпендикулярная лучу зрения, видна под углом в  $1''$ .

Расстояние в парсеках равно обратной величине годового параллакса, выраженного в секундах дуги. Например, расстояние до звезды  $\alpha$  Центавра равно  $0,75''$  ( $3/4''$ ), или  $4/3$  пк.

**1 парсек = 3,26 светового года = 206 265 а. е. =  $3 \cdot 10^{13}$  км.**

В настоящее время измерение годового параллакса является основным способом при определении расстояний до звезд. Параллаксы измерены уже для очень многих звезд.

Измерением годовичного параллакса можно надежно установить расстояние до звезд, находящихся не далее 100 пк, или 300 световых лет.

Почему не удается точно измерить годовичный параллакс более далеких звезд?

Расстояние до более далеких звезд в настоящее время определяют другими методами (см. §25.1).

**2. Видимая и абсолютная звездная величина. Светимость звезд.** После того как астрономы получили возможность определять расстояния до звезд, было установлено, что звезды отличаются по видимой яркости не только из-за различия расстояния до них, но и вследствие различия их светимости.

*Светимостью звезды  $L$  называется мощность излучения световой энергии по сравнению с мощностью излучения света Солнцем.*

Если две звезды имеют одинаковую светимость, то звезда, которая находится дальше от нас, имеет меньшую видимую яркость. Сравнивать звезды по светимости можно лишь в том случае, если рассчитать их видимую яркость (звездную величину) для одного и того же стандартного расстояния. Таким расстоянием в астрономии принято считать 10 пк.

*Видимая звездная величина, которую имела бы звезда, если бы находилась от нас на стандартном расстоянии  $D_0=10$  пк, получила название абсолютной звездной величины  $M$ .*

Рассмотрим количественное соотношение видимой и абсолютной звездных величин звезды при известном расстоянии  $D$  до нее (или ее параллаксе  $p$ ). Вспомним сначала, что разность в 5 звездных величин соответствует различию яркости ровно в 100 раз (см. §3.2). Следовательно, разность видимых звездных величин двух источников равна единице, когда один из них ярче другого ровно в  $\sqrt[5]{100}$  раз (эта величина примерно равна 2,512). Чем ярче источник, тем его видимая звездная величина считается меньшей. В общем случае отношение видимой яркости двух любых звезд  $I_1:I_2$  связано с разностью их видимых звездных величин  $m_1$  и  $m_2$  простым соотношением:

$$I_1:I_2=2,512^{m_2-m_1}.$$

Пусть  $m$  — видимая звездная величина звезды, находящейся на расстоянии  $D$ . Если бы она наблюдалась с расстояния  $D_0=10$  пк, ее видимая звездная величина  $m_0$  по определению была бы равна абсолютной звездной величине  $M$ . Тогда ее кажущаяся яркость изменилась бы в

$$I:I_0=2,512^{M-m} \text{ раз.} \quad (1)$$

В то же время известно, что кажущаяся яркость звезды меняется обратно пропорционально квадрату расстояния до нее. Поэтому

$$I:I_0=D_0^2:D^2. \quad (2)$$

Следовательно,

$$2,512^{M-m}=D_0^2:D^2. \quad (3)$$

Логарифмируя это выражение, находим:

$$0,4(M-m)=\lg 10^2 - \lg D^2, \text{ или}$$

$$M=m+5-5\lg D, \text{ или} \quad (4)$$

$$M=m+5+5\lg p, \quad (5)$$

где  $p$  выражено в секундах дуги.

Эти формулы дают абсолютную звездную величину  $M$  по известной *видимой звездной величине*  $m$  при реальном расстоянии до звезды  $D$ . Наше Солнце с расстояния 10 пк выглядело бы примерно как звезда 5-й видимой звездной величины, т. е. для Солнца  $M_{\odot} \approx 5$ .

Зная абсолютную звездную величину  $M$  какой-нибудь звезды, легко вычислить ее светимость  $L$ . Принимая светимость Солнца  $L_{\odot}=1$ , по определению светимости можно записать, что

$$L=2,512^{5-M}, \text{ или } \lg L=0,4(5-M).$$

Величины  $M$  и  $L$  в разных единицах выражают мощность излучения звезды.

Исследование звезд показывает, что по светимости они могут отличаться в десятки миллиардов раз. В звездных величинах это различие достигает 26 единиц.

*Абсолютные величины* звезд очень высокой светимости отрицательны и достигают  $M = -9$ . Такие звезды называются гигантами и сверхгигантами. Излучение звезды S Золотой Рыбы мощнее излучения нашего Солнца в 500 000 раз, ее светимость  $L=500\,000$ , наименьшую мощность излучения имеют карлики с  $M = +17$  ( $L=0,000013$ ).

Чтобы понять причины значительных различий в светимости звезд, необходимо рассмотреть и другие их характеристики, которые можно определить на основе анализа излучения.

**3. Цвет, спектры и температура звезд.** Во время наблюдений вы обратили внимание на то, что звезды имеют различный цвет, хорошо заметный у наиболее ярких из них. Цвет нагреваемого тела, в том числе и звезды, зависит от его температуры. Это дает возможность определить температуру звезд по распределению энергии в их непрерывном спектре (см. § 14.3).

Цвет и спектр звезд связаны с их температурой. В сравнительно холодных звездах преобладает излучение в красной области спектра, отчего они и имеют красноватый цвет. Температура красных звезд низкая. Она растет последовательно при переходе от красных звезд к оранжевым, затем к желтым, желтова-



тым, белым и голубоватым. Спектры звезд крайне разнообразны. Они разделены на классы, обозначаемые латинскими буквами и цифрами (см. задний форзац). *В спектрах холодных красных звезд класса M с температурой около 3000 К видны полосы поглощения простейших двухатомных молекул, чаще всего оксида титана. В спектрах других красных звезд преобладают оксиды углерода или циркония. Красные звезды первой величины класса M — Антарес, Бетельгейзе.*

*В спектрах желтых звезд класса G, к которым относится и Солнце (с температурой 6000 К на поверхности), преобладают тонкие линии металлов: железа, кальция, натрия и др. Звездой типа Солнца по спектру, цвету и температуре является яркая Капелла в созвездии Возничего.*

*В спектрах белых звезд класса A, как Сириус, Вега и Денеб, наиболее сильны линии водорода. Есть много слабых линий ионизованных металлов. Температура таких звезд около 10 000 К.*

*В спектрах наиболее горячих, голубоватых звезд с температурой около 30 000 К видны линии нейтрального и ионизованного гелия.*

Температуры большинства звезд заключены в пределах от 3000 до 30 000 К. У немногих звезд встречается температура около 100 000 К.

Таким образом, спектры звезд очень сильно отличаются друг от друга и по ним можно определить химический состав и температуру атмосфер звезд. Изучение спектров показало, что *в атмосферах всех звезд преобладающими являются водород и гелий.*

Различия звездных спектров объясняются не столько разнообразием их химического состава, сколько различием температуры и других физических условий в звездных атмосферах. При высокой температуре происходит разрушение молекул на атомы. При еще более высокой температуре разрушаются менее прочные атомы, они превращаются в ионы, теряя электроны. Ионизованные атомы многих химических элементов, как и нейтральные атомы, излучают и поглощают энергию определенных длин волн. Путем сравнения интенсивности линий поглощения атомов и ионов одного и того же химического элемента теоретически определяют их относительное количество. Оно является функцией температуры. Так, по темным линиям спектров звезд можно определить температуру их атмосфер.

У звезд одинаковой температуры и цвета, но разной светимости спектры в общем одинаковы, однако можно заметить различия в относительных интенсивностях некоторых линий. Это происходит от того, что при одинаковой температуре давление в их атмосферах различно. Например, в атмосферах звезд-гигантов давление меньше, они разреженнее. Если выразить эту зависимость графически, то по интенсивности линий можно найти абсолютную величину звезды, а далее по формуле (4) определить расстояние до нее.

**Задача.** Какова светимость звезды  $\zeta$  Скорпиона, если ее видимая звездная величина 3, а расстояние до нее 7500 св. лет?

<p>Дано:</p> <p><math>m=3</math></p> <p><math>D=7500</math> св. лет</p> <hr style="width: 100%;"/> <p><math>L=?</math></p>	<p>Решение.</p> <p><math>\lg L = 0,4(5 - M)</math>.</p> <p><math>M = m + 5 - 5 \lg D</math>, где <math>D</math> выражено в парсеках.</p> <p><math>D_{\text{пк}} = 7500</math> св. лет : 3,26 св. год = 2300 пк.</p> <p>Тогда <math>M = 3 + 5 - 5 \lg 2,3 \cdot 10^3 = -8,8</math>.</p> <p><math>\lg L = 0,4[5 - (-8,8)] = 5,52</math>.</p> <p>Отсюда <math>L = 3,3 \cdot 10^5</math>.</p> <p>Ответ: <math>L = 3,3 \cdot 10^5</math>.</p>
--	--

## УПРАЖНЕНИЕ 20

1. Во сколько раз Сириус ярче, чем Альдебаран? Солнце ярче, чем Сириус?
2. Одна звезда ярче другой в 16 раз. Чему равна разность их звездных величин?
3. Параллакс Веги 0,11". Сколько времени свет от нее идет до Земли?
4. Сколько лет надо было бы лететь по направлению к созвездию Лиры со скоростью 30 км/с, чтобы Вега стала вдвое ближе?
5. Во сколько раз звезда 3,4 звездной величины слабее, чем Сириус, имеющий видимую звездную величину  $-1,6$ ? Чему равны абсолютные величины этих звезд, если расстояние до обеих составляет 3 пк?
6. Назовите цвет каждой из звезд приложения IV по их спектральному классу.

## 24. МАССЫ И РАЗМЕРЫ ЗВЕЗД

**1. Двойные звезды. Массы звезд.** Как мы убедились на примере Солнца, масса звезды является той важнейшей характеристикой, от которой зависят физические условия в ее недрах. Прямое определение массы возможно лишь для *двойных звезд*.

*Двойные звезды называются визуально-двойными, если их двойственность может быть замечена при непосредственных наблюдениях в телескоп.*

Примером визуально-двойной звезды, видимой даже невооруженным глазом, является  $\zeta$  Большой Медведицы, вторая звезда с конца «ручки» ее «ковша». При нормальном зрении совсем близко от нее видна вторая слабая звездочка. Ее заметили еще древние арабы и назвали *Алькор* (Всадник). Яркой звезде они дали название *Мицар*. Мицар и Алькор отстоят друг от друга на небе на 11'. В бинокль таких звездных пар можно найти немало.

Системы с числом звезд  $n \geq 3$  называются *кратными*. Так, в бинокль видно, что  $\epsilon$  Лиры состоит из двух одинаковых звезд 4-й звездной величины с расстоянием между ними 3'. При наблюдении в телескоп  $\epsilon$  Лиры — визуально-четверная звезда. Однако некоторые звезды оказываются лишь *оптически-двойными*, т. е. близость таких двух звезд является результатом случайной про-

екции их на небо. На самом деле в пространстве они далеки друг от друга. Если же при наблюдении звезд выясняется, что они образуют единую систему и обращаются под действием сил взаимного притяжения вокруг общего центра масс, то их называют *физическими двойными*.

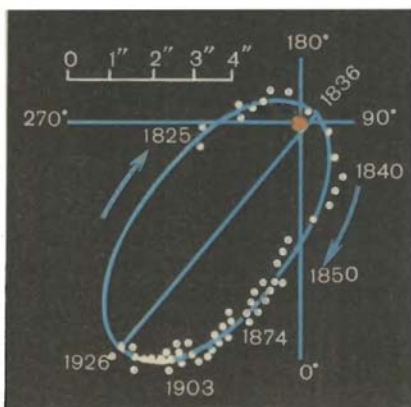
Множество двойных звезд открыл и изучил известный русский ученый В. Я. Струве. Самые короткие из известных периодов обращения визуально-двойных звезд — несколько лет. Изучены пары с периодами обращения в десятки лет, а пары с периодами в сотни лет изучат в будущем. Ближайшая к нам звезда  $\alpha$  Центавра является двойной. Период обращения ее составляющих (компонентов) 70 лет. Обе звезды в этой паре по массе и температуре сходны с Солнцем.

Главная звезда обычно не находится в фокусе видимого эллипса, описываемого спутником, потому что мы видим его орбиту в проекции искаженной (рис. 73). Но знание геометрии позволяет восстановить истинную форму орбиты и измерить ее большую полуось  $a$  в секундах дуги. Если известно расстояние  $D$  до двойной звезды в парсеках и большая полуось орбиты звезды-спутника в секундах дуги, равная  $a''$ , то в астрономических единицах она будет равна:

$$A_{a. e.} = a'' \cdot D_{пк}, \text{ или } A_{a. e.} = \frac{a''}{p''},$$

так как  $D_{пк} = 1/p''$ .

Рис. 73. Орбита спутника двойной звезды ( $\gamma$  Девы) относительно главной звезды, расстояние которой от нас составляет 10 пк. (Точки отмечают измеренные положения спутника в указанные годы. Их отклонения от эллипса вызваны погрешностями наблюдений.)



Сравнивая движение спутника звезды с движением Земли вокруг Солнца (для которой период обращения  $T_{\oplus} = 1$  год, а большая полуось орбиты  $a_{\oplus} = 1$  а. е.), мы по III закону Кеплера можем написать:

$$\frac{m_1 + m_2}{A^3} T^2 = \frac{M_{\odot} + M_{\oplus}}{1^3} 1^2,$$

где  $m_1$  и  $m_2$  — массы компонентов в паре звезд,  $M_{\odot}$  и  $M_{\oplus}$  — массы Солнца и Земли, а  $T$  — период обращения пары в годах. Пренебрегая массой Земли в сравнении с массой Солнца, мы получаем сумму масс звезд, составляющих пару, в массах Солнца:

$$m_1 + m_2 = A^3 : T^2.$$

Чтобы определить массу каждой звезды, надо изучить движение компонентов относительно окружающих звезд и вычис-

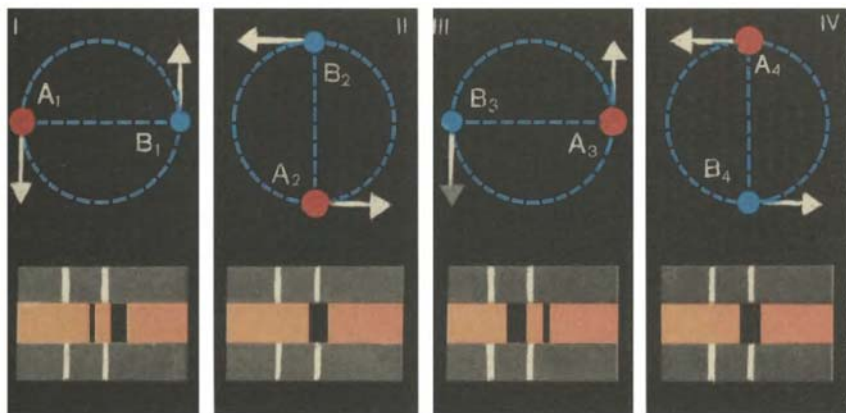


Рис. 74. Объяснение раздвоения, или колебания, линий в спектрах спектрально-двойных звезд.

лить их расстояния  $A_1$  и  $A_2$  от общего центра масс. Тогда получим второе уравнение  $m_1:m_2=A_2:A_1$  и из системы двух уравнений найдем обе массы отдельно.

Двойные звезды в телескоп нередко представляют собой красивое зрелище: главная звезда желтая или оранжевая, а спутник белый или голубой.

Если компоненты двойной звезды при взаимном обращении подходят близко друг к другу, то даже в самый сильный телескоп их нельзя видеть раздельно. В этом случае двойственность может быть определена по спектру. Такие звезды будут называться *спектрально-двойными*. Из-за эффекта Доплера линии в спектрах звезд будут смещаться в противоположные стороны (когда одна звезда удаляется от нас, другая приближается). Смещение линий меняется с периодом, равным периоду обращения пары. Если яркости и спектры звезд, составляющих пару, сходны, то в спектре двойной звезды наблюдается периодически повторяющееся раздвоение спектральных линий (рис. 74). Пусть компоненты, занимают положения  $A_1$  и  $B_1$  или  $A_3$  и  $B_3$ , тогда один из них движется к наблюдателю, а другой — от него (рис. 74, I, III). В этом случае наблюдается раздвоение спектральных линий. У приближающейся звезды спектральные линии сместятся к синему концу спектра, а у удаляющейся — к красному. Когда же компоненты двойной звезды занимают положения  $A_2$  и  $B_2$  или  $A_4$  и  $B_4$  (рис. 74, II, IV), то оба они движутся под прямым углом к лучу зрения и раздвоения спектральных линий не получится.

Если одна из звезд светится слабо, то будут видны линии только другой звезды, смещающиеся периодически.

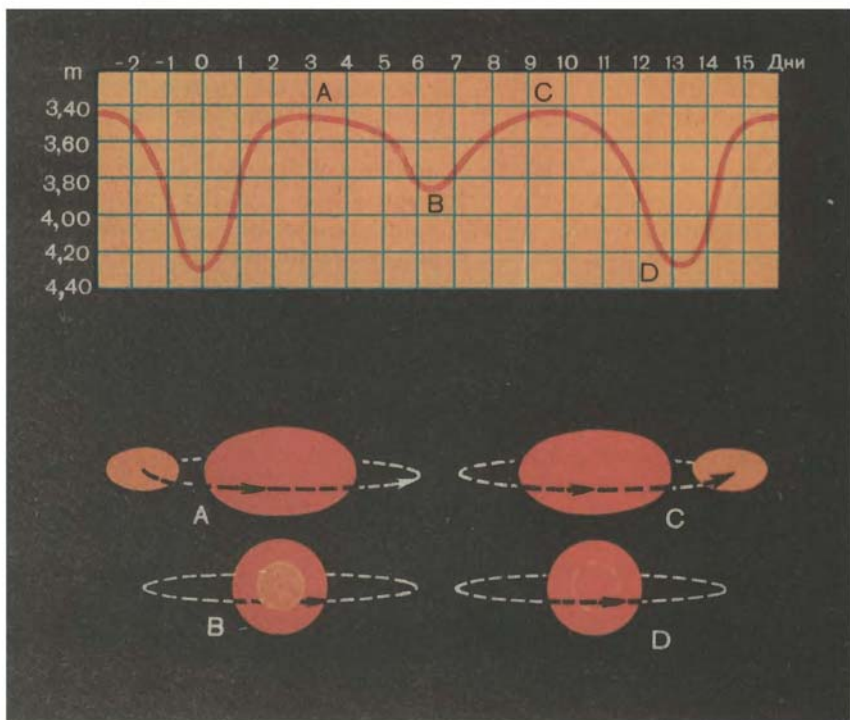
Компоненты спектрально-двойной звезды могут при взаимном обращении поочередно загораживать друг друга. Такие звезды называются *затменно-двойными* или алголями, по названию

своего типичного представителя  $\beta$  Персея. Во время затмений общая яркость пары, компонентов которой мы по отдельности не видим, будет ослабевать (положения *B* и *D* на рис. 75.) В остальное же время в промежутках между затмениями она почти постоянна (положения *A* и *C*) и тем дольше, чем короче длительность затмений и чем больше радиус орбиты. Если спутник большой, но сам дает мало света, то когда яркая звезда затмевает его, суммарная яркость системы будет уменьшаться лишь ненамного.

Древние арабы назвали  $\beta$  Персея *Алголем* (испорченное эль гуль), что означает «дьявол». Возможно, что они заметили ее странное поведение: в течение 2 дней 11 ч яркость Алголя постоянна, затем за 5 ч она ослабевает от 2,3 до 3,5 звездной величины, а затем за 5 ч яркость ее возвращается к прежнему значению.

Анализ кривой изменения видимой звездной величины в функции времени позволяет установить размеры и яркость звезд, размеры орбиты, ее форму и наклон к лучу зрения, а также массы звезд. Таким образом, затменно-двойные звезды, наблюдаемые также и в качестве спектрально-двойных, являются наиболее хо-

Рис. 75. Изменения видимой яркости  $\beta$  Лиры и схема движения ее спутника. (Форма звезд, близко расположенных друг к другу, вследствие их приливного воздействия может сильно отличаться от сферической.).



рошо изученными системами. К сожалению, таких систем известно пока сравнительно мало.

Периоды известных спектрально-двойных звезд и алголей в основном короткие — около нескольких суток.

В общей сложности двойственность звезд очень распространенное явление. Статистика показывает, что до 30% всех звезд, вероятно, являются двойными.

Определенные описанными методами массы звезд различаются гораздо меньше, чем их светимости: примерно от 0,1 до 100 масс Солнца. Очень большие массы встречаются крайне редко. Обычно звезды обладают массой меньше пяти масс Солнца.

Именно масса звезд обуславливает их существование и природу как особого типа небесных тел, для которых характерна высокая температура недр (свыше  $10^7$  К). Происходящие при такой температуре ядерные реакции превращения водорода в гелий являются у большинства звезд источником излучаемой ими энергии. При меньшей массе температура внутри небесных тел не достигает тех значений, которые необходимы для протекания термоядерных реакций.

Эволюция химического состава вещества во Вселенной происходила и происходит в настоящее время главным образом благодаря звездам. Именно в их недрах идет необратимый процесс синтеза более тяжелых химических элементов из водорода.

#### ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

**Задача.** У двойной звезды период обращения 100 лет. Большая полуось видимой орбиты  $a=2,0''$ , а параллакс  $p=0,05''$ . Определите сумму масс и массы звезд в отдельности, если звезды отстоят от центра масс на расстояниях, относящихся как 1:4.

Дано:

$$T=100 \text{ лет}$$

$$a=2,0''$$

$$p=0,05''$$

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{1}{4}$$

$$m_1=?$$

$$m_2=?$$

Решение.

$$\text{Так как } \frac{A_1}{A_2} = \frac{m_2}{m_1}, \text{ то } \frac{m_2}{m_1} = \frac{1}{4}.$$

$$\text{Тогда } m_1 = 4m_2.$$

По III закону Кеплера

$$m_1 + m_2 = A^3 : T^2, \text{ или } 4m_2 + m_2 = A^3 : T^2, \text{ т. е. } 5m_2 = A^3 : T^2,$$

$$\text{а } A_{\text{а. е.}} = \frac{a}{p}, \text{ если } a \text{ и } p \text{ выражены в секундах дуги.}$$

$$A_{\text{а. е.}} = \frac{2,0''}{0,05''} = 40 \text{ а. е.}$$

$$m_2 = \frac{40^3}{100^2 \cdot 5} \approx 1,28. \quad m_1 = 4 \cdot 1,28 = 5,12.$$

Ответ:  $m_1 = 5,12$  масс Солнца,  $m_2 = 1,28$  масс Солнца.

#### УПРАЖНЕНИЕ 21

1. Определите сумму масс двойной звезды Капеллы, если большая полуось ее орбиты равна 0,85 а. е., а период обращения составляет 0,285 года.

2. Если бы по орбите Земли двигалась звезда с такой же массой, как у Солнца, каков был бы период ее обращения?
3. По рисунку 73 оцените период обращения спутника, большую полуось орбиты и вычислите сумму масс компонентов. Считать, что большая полуось орбиты лежит в плоскости рисунка.

**2. Размеры звезд. Плотность их вещества.** Покажем на простом примере, как можно сравнить размеры звезд одинаковой температуры, например Солнца и Капеллы ( $\alpha$  Возничего). Эти звезды имеют одинаковые спектры, цвет и температуру, но светимость Капеллы в 120 раз превышает светимость Солнца. Так как при одинаковой температуре яркость единицы поверхности звезд тоже одинакова, то, значит, поверхность Капеллы больше, чем поверхность Солнца, в 120 раз, а диаметр и радиус ее больше сочленных в  $\sqrt{120} \approx 11$  раз.

Определить размеры других звезд позволяет знание законов излучения.

Так, в физике установлено, что полная энергия, излучаемая в единицу времени с  $1 \text{ м}^2$  поверхности нагретого тела, равна:  $i = \sigma T^4$ , где  $\sigma$  — коэффициент пропорциональности, а  $T$  — абсолютная температура<sup>1</sup>. Относительный линейный диаметр звезд, имеющих известную температуру  $T$ , находят из формулы

$$\frac{L}{L_{\odot}} = \frac{4\pi r^2}{4\pi r_{\odot}^2} \cdot \frac{i}{i_{\odot}} = \left(\frac{r}{r_{\odot}}\right)^2 \left(\frac{T}{T_{\odot}}\right)^4,$$

где  $r$  — радиус звезды,  $i$  — излучение единицы поверхности звезды,  $r_{\odot}$ ,  $i_{\odot}$ ,  $T_{\odot}$  относятся к Солнцу, а  $L_{\odot} = 1$ .

Отсюда

$$r = \sqrt{L} : \left(\frac{T}{T_{\odot}}\right)^2 \quad \text{в радиусах Солнца.}$$

Результаты таких вычислений размеров светил полностью подтвердились, когда стало возможным измерять угловые диаметры звезд при помощи особого оптического прибора (звездного интерферометра).

Звезды очень большой светимости называются сверхгигантами. Красные сверхгиганты оказываются такими и по размерам (рис. 76). Бетельгейзе и Антарес в сотни раз больше Солнца по диаметру. Более далекая от нас VV Цефея настолько велика, что внутри нее поместилась бы Солнечная система с орбитами планет до орбиты Юпитера включительно! Между тем массы сверхгигантов больше солнечной всего лишь в 30—40 раз. В результате даже средняя плотность красных сверхгигантов в тысячи раз меньше, чем плотность комнатного воздуха.

При одинаковой светимости размеры звезд тем меньше, чем

<sup>1</sup> Закон Стефана — Больцмана установлен австрийскими физиками Й. Стефаном (экспериментально) и Л. Больцманом.



Рис. 76. Сравнительные размеры Солнца и звезд разных типов (масштабы в двух частях рисунка различны).

эти звезды горячее. Самыми малыми среди обычных звезд являются красные карлики. Массы их и радиусы — десятые доли солнечных, а средние плотности в 10—100 раз выше, чем плотность воды. Еще меньше красных белые карлики — но это уже необычные звезды.

У близкого к нам и яркого Сириуса (имеющего радиус примерно вдвое больше солнечного) есть спутник, обращающийся вокруг него с периодом 50 лет. Для этой двойной звезды расстояние, орбита и массы хорошо известны. Обе звезды белые, почти одинаково горячие. Следовательно, поверхности одинаковой площади излучают у этих звезд одинаковое количество энергии, но по светимости спутник в 10 000 раз слабее, чем Сириус. Значит, его радиус меньше в  $\sqrt{10000} = 100$  раз, т. е. он почти такой же, как Земля. Между тем масса у него почти как у Солнца! Следовательно, белый карлик имеет громадную плотность — около  $10^9$  кг/м<sup>3</sup>. Существование газа такой плотности было объяснено следующим образом: обычно предел плотности ставит размер атомов, являющихся системами, состоящими из ядра и электронной оболочки. При очень высокой температуре в недрах звезд и при полной ионизации атомов их ядра и электроны становятся независимыми друг от друга. При колоссальном давлении вышележащих слоев это «крошево» из частиц может быть сжато гораздо сильнее, чем нейтральный газ. Теоретически допускается возможность существования при некоторых условиях звезд с плотностью, равной плотности атомных ядер.

Мы еще раз видим на примере белых карликов, как астрофизические исследования расширяют представления о строении вещества; пока создать в лаборатории такие условия, какие есть внутри звезд, еще нельзя. Поэтому астрономические наблюдения помогают развитию важнейших физических представлений. Например, для физики громадное значение имеет теория относительности Эйнштейна. Из нее вытекает несколько следствий, ко-



торые можно проверить по астрономическим данным. Одно из следствий теории состоит в том, что в очень сильном поле тяготения световые колебания должны замедляться и линии спектра смещаться к красному концу, причем это смещение тем больше, чем сильнее поле тяготения звезды. Красное смещение было обнаружено в спектре спутника Сириуса. Оно вызвано действием сильного поля тяготения на его поверхности. Наблюдения подтвердили это и ряд других следствий теории относительности. Подобные примеры тесной взаимосвязи физики и астрономии характерны для современной науки.

#### ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

**Задача.** Во сколько раз Арктур больше Солнца, если светимость Аркура 100, а температура 4500 К?

<p>Дано:</p> $L = 100$ $T = 4500 \text{ К}$ $T_{\odot} = 6000 \text{ К}$ $\frac{L_{\odot} = 1}{\frac{r}{r_{\odot}} = ?}$	<p>Решение.</p> $\frac{L}{L_{\odot}} = \left(\frac{r}{r_{\odot}}\right)^2 \left(\frac{T}{T_{\odot}}\right)^4, \text{ отсюда}$ $\frac{r}{r_{\odot}} = \sqrt{L} : \left(\frac{T}{T_{\odot}}\right)^2.$ $\frac{r}{r_{\odot}} = \sqrt{100} : \left(\frac{4500 \text{ К}}{6000 \text{ К}}\right)^2 = 18.$ <p>Ответ: <math>\frac{r}{r_{\odot}} = 18</math> раз.</p>
--	---

#### УПРАЖНЕНИЕ 22

1. Во сколько раз Ригель имеет большую светимость, чем Солнце, если его параллакс равен  $0,0069''$ , а видимая звездная величина  $0,34$ ?
2. Какова средняя плотность красного сверхгиганта, если его диаметр в 300 раз больше солнечного, а масса в 30 раз больше, чем масса Солнца?

### 25. ПЕРЕМЕННЫЕ И НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ЗВЕЗДЫ

**1. Цефеиды.** Как вы уже знаете, изменения видимой яркости в системах алголей вызваны не изменением светимости самих звезд, а их периодически повторяющимися затмениями. Вместе с тем в настоящее время известны десятки тысяч физических переменных звезд, у которых реально меняется их светимость. Причем у одних она меняется строго периодически, а у других — с периодичностью, часто нарушаемой, или даже неправильным образом.

! *Вспомните, от каких физических характеристик зависит светимость звезды. Почему она может измениться?*

Итак, изменение размера и температуры приводит к изменению светимости звезд. Поэтому для всех физических переменных звезд типично, что вместе с изменением светимости происходят те или иные изменения в спектре, т. е. в состоянии их атмосферы.

Из периодических переменных звезд замечательны цефеиды. Это белые или желтоватые звезды, свое название они получили от типичной представительницы — звезды  $\delta$  Цефея. Период ее переменности 5,37 сут, а амплитуда изменения яркости от 4,6 до 3,7 звездной величины. Амплитуды изменения яркости у цефеид составляют не более 1,5 звездной величины при периодах от десятков минут до нескольких десятков суток. Этот период у них долгие годы постоянен с точностью до долей секунды.

На рисунке 77 представлены изменения яркости и сопутствующие им изменения температуры и лучевой скорости цефеид.

С изменением температуры несколько меняется и спектральный класс цефеиды. Причина этого состоит в том, что *цефеиды — пульсирующие звезды*. Они периодически расширяются и сжимаются. Сжатие наружных слоев вызывает их нагрев.

Цефеиды делятся на две группы: короткопериодические цефеиды, иначе звезды типа RR Лиры, с периодами меньше 1 сут и классические с периодами больше 2 сут. Первые из них горячее и имеют одинаковую абсолютную величину  $M=0,5$ .

Классические цефеиды холоднее и обладают следующей замечательной особенностью. Это сверхгиганты, и их светимость тем выше, чем больше период звезды. Наиболее медленно меняющиеся цефеиды самые яркие. При периоде около 50 сут их светимость в 10 000 раз больше, чем у Солнца. Установив светимость цефеиды по периоду изменения ее яркости, который легко определяется прямыми наблюдениями даже у предельно слабых цефеид, можно вычислить абсолютную звездную величину  $M$  и, сравнив ее с видимой звездной величиной  $m$ , определить расстояние до звезды по формуле

$$\lg D = 0,2(m - M) + 1, \text{ что следует из формулы (4).}$$

Поэтому зависимость светимости от периода цефеид необычайно важна для установления расстояний и размеров нашей звездной системы.

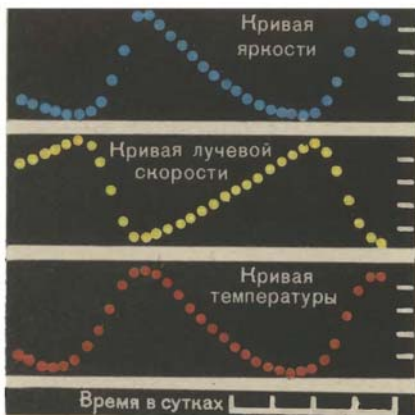


Рис. 77. Примерные кривые яркости, лучевой скорости и температуры цефеид.

Яркие цефеиды-гиганты видны нам, как маяки Вселенной, издалека. По ним мы намечаем контуры нашей звездной системы.

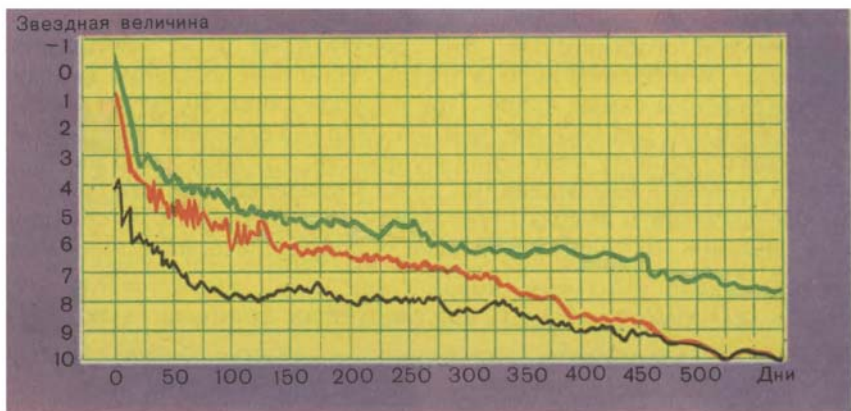
**2. Новые звезды.** Название «новые звезды» сохранилось с древних времен за звездами, которые считались действительно новыми. Накопленные коллекции фотографий показали, что на самом деле так называемая новая звезда в действительности существовала и раньше, но внезапно вспыхнула, вследствие чего ее яркость за короткое время увеличилась в десятки тысяч раз. После вспышки звезда постепенно возвращается к прежнему состоянию. Амплитуда изменения яркости новых звезд — от 7 до 14 звездных величин, т. е. их светимость может изменяться до 400 000 раз. В максимуме они бывают от  $-6$  до  $-9$  абсолютных звездных величин. Возможно, что у новых звезд вспышки повторяются с промежутками в тысячи лет. Яркие новые звезды, которые в максимуме достигали первой звездной величины, наблюдались редко, например в 1901, 1918, 1925 гг.

Ввиду неожиданности такого рода вспышек открытие новых звезд происходит случайно. Их открывают по большей части любители астрономии, иногда школьники. Для этого надо чаще осматривать созвездия вблизи Млечного Пути. Но не примите плату за новую звезду!

*Вспышка новой звезды происходит обычно за несколько дней — катастрофически, а возврат к прежней светимости длится годами и сопровождается колебаниями яркости (рис. 78).*

Изменения в спектре новой звезды показали следующее: яркость звезды увеличивается потому, что вздувается фотосфера — растет ее поверхность. В момент максимума светимости диаметр новой звезды больше диаметра земной орбиты. В момент наибольшей яркости со звезды срывается внешний слой и со скоростью  $\approx 1000$  км/с, расширяясь, устремляется в пространство.

Рис. 78. Кривые изменения видимой яркости трех новых звезд.



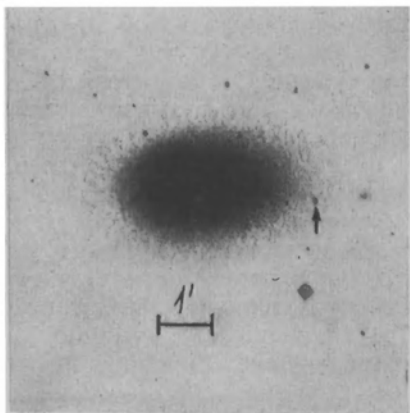


Рис. 79. Фотография (негатив) далекой звездной системы — галактики со сверхновой звездой, отмеченной стрелкой (указан угловой масштаб фотографии).

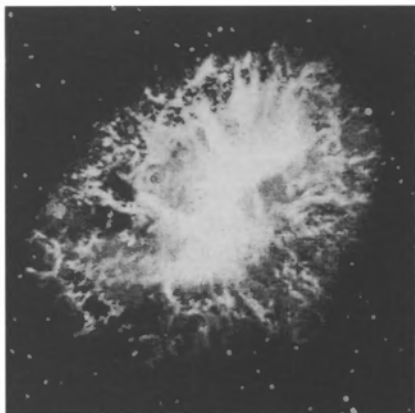


Рис. 80. Крабовидная туманность — остаток сверхновой звезды, вспыхнувшей в созвездии Тельца в 1054 г.

Вспыхивают как новые только некоторые очень горячие звезды умеренных светимостей, причем все новые звезды, по-видимому, являются двойными, так что нашему Солнцу вспышка не угрожает.

**3. Сверхновые звезды.** Некоторые особые звезды, невидимые ранее, неожиданно вспыхивают и угасают подобно новым звездам. Однако в максимуме светимости они бывают в тысячи раз ярче, чем новые звезды. Их называют **сверхновыми** звездами. Скорость выброса газов из них тоже во много раз больше, чем у обычных новых звезд.

Вследствие колоссальной светимости, в максимуме превосходящей в десятки тысяч раз светимость ярчайших из обычных звезд, мы видим сверхновые звезды на громадных расстояниях от нас, в других звездных системах (рис. 79). Измерение яркости сверхновых звезд используют для оценки этих расстояний.

Вспышки сверхновых звезд крайне редки — в среднем одна вспышка за несколько десятилетий или столетий в системе, содержащей миллиарды звезд.

Еще до изобретения телескопа в нашей звездной системе наблюдалось несколько звезд, несомненно бывших сверхновыми. На месте, где одна из них вспыхнула в 1054 г. в созвездии Тельца, находится особенная, слабо светящаяся туманность, названная *Крабовидной* (рис. 80). Она содержит ионизованный газ в виде прожилок, пронизывающих ее основную аморфную массу. Из сравнения фотографий, сделанных в разные годы, выяснилось, что туманность расширяется со скоростью  $\approx 1000$  км/с. Ее

расширение началось с момента вспышки сверхновой звезды. Газ, образующий туманность, был выброшен ею при вспышке. Позднее оказалось, что Крабовидная туманность является одним из мощнейших источников радиоизлучения. Оно вызывается тем, что имеющееся в туманности магнитное поле тормозит электроны, рожденные при взрыве звезды и движущиеся со скоростью, близкой к скорости света. Такое радиоизлучение электронов в магнитном поле называется нетепловым или синхротронным. Крабовидная туманность оказалась также и одним из наиболее мощных космических источников рентгеновских лучей.

На месте вспышек других «близких» сверхновых звезд также найдены радиоизлучающие и расширяющиеся туманности. Вспышки сверхновых звезд — грандиознейшие и редчайшие из катастроф, происходящих с небесными телами.

Изучение всех переменных и новых звезд крайне важно для понимания природы и эволюции звезд вообще, так как переменные и особенно новые звезды находятся на поворотных этапах своего развития. Кроме того, происходящие у этих звезд изменения легко наблюдаемы, а у обычных звезд нет, так как их изменения слишком медленны.

## УПРАЖНЕНИЕ 23

1. У новых звезд яркость обычно возрастает при примерно постоянной температуре вследствие вздутия фотосферы. Если изменение яркости новой звезды составляет 10 звездных величин, то во сколько раз изменился радиус звезды?
2. На каком расстоянии от центра галактики в проекции на небо находится сверхновая звезда (рис. 79), если видимый диаметр галактики  $2'$ , а расстояние от нее  $10^7$  пк?

## 26. ВАЖНЕЙШИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ В МИРЕ ЗВЕЗД. ЭВОЛЮЦИЯ ЗВЕЗД

Мы видели, что существуют и одиночные, и двойные, и кратные звезды, переменные звезды различных типов, новые и сверхновые, сверхгиганты и карлики, звезды разнообразнейших размеров, светимостей, температур и плотностей. Но образуют ли они хаос физических характеристик? Оказывается, что нет. Обобщая полученные данные о звездах, установили ряд закономерностей.

Сопоставляя известные массы и светимости звезд, можно убедиться, что *с увеличением массы быстро растет светимость звезд*:  $L \approx m^{3.9}$ . По этой так называемой зависимости «масса — светимость» можно определить массу одиночной звезды, зная ее светимость (белые карлики этой зависимости не подчиняются).

Для наиболее распространенных типов звезд справедлива формула  $L \approx R^{5.2}$ , где  $R$  — радиус звезды. Во всех случаях берется полная светимость. Эти формулы показывают, что входящие в них физические характеристики звезд взаимосвязаны.

Исключительно большой интерес представляет сопоставление светимости звезд с их температурой и цветом. Эта зависимость представлена на диаграмме «цвет — светимость» (Ц — С) (*диаграмма Герцшпрунга — Рассела*, см. задний форзац). На этой диаграмме по оси ординат откладываются логарифмы светимостей или абсолютные звездные величины  $M$ , а по оси абсцисс — спектральные классы, или соответствующие им логарифмы температур, или величину, характеризующую цвет. Точки, соответствующие звездам с известными характеристиками, располагаются на диаграмме не хаотично, а вдоль некоторых линий — последовательностей. Большинство их располагается вдоль наклонной линии, идущей слева сверху вправо вниз. В этом направлении уменьшаются одновременно светимости, радиусы и температуры звезд. Это *главная последовательность*. На ней стрелкой отмечено положение Солнца как звезды — желтого карлика. Параллельно главной последовательности располагается *последовательность субкарликов*, которые на одну звездную величину слабее звезд главной последовательности с такой же температурой.

Вверху параллельно оси абсцисс расположена *последовательность сверхгигантов*. У них цвет и температура различны, а светимость почти одинакова.

От середины главной последовательности вправо вверх отходит *последовательность красных гигантов*. Наконец, внизу располагаются *белые карлики* с различными температурами. *Белоголубую последовательность* составляют звезды, вспыхивающие как новые, и другие типы горячих звезд.

Принадлежность звезды к той или иной последовательности можно распознать по некоторым деталям в ее спектре.

Мы видим, что в природе не существует произвольных комбинаций массы, светимости, температуры и радиуса. Теория показывает, что место звезды на диаграмме Ц — С определяется прежде всего ее массой и возрастом, следовательно, *диаграмма отражает эволюцию звезд*.

Чем массивнее звезда, тем температура в ее недрах выше и быстрее «выгорает» водород, превращаясь в гелий. Голубые звезды, относящиеся к главной последовательности, «сжигают» водород за  $10^6$ — $10^7$  лет, а такие, как Солнце, лишь за  $10^{10}$  лет. Внутренней энергии Солнца хватит еще на миллиарды лет.

С выгоранием водорода в центре звезды ее эволюция ускоряется. Звезда превращается в красный гигант. В плотном и горячем ядре красных гигантов идет реакция синтеза углерода из гелия. С уменьшением запасов гелия эта реакция прекращается. Звезда сжимается, приходит в состояние белого, крайне плотного карлика. При малой поверхности (и поэтому малом расходе энергии) белый карлик может светить очень долгое время. Так происходит эволюция Солнца и звезд, масса которых не превышает его массу.

В звездной Вселенной происходят не только медленные изменения, но и быстрые, даже катастрофические. Например, за время порядка года обычная на вид звезда вспыхивает как сверхновая и примерно за то же время ее яркость спадает. В результате она, вероятно, превращается в крохотную звезду, размером всего около 10—20 км, состоящую из нейтронов и вращающуюся с периодом порядка секунды и быстрее (нейтронную звезду). Ее плотность возрастает до плотности атомных ядер ( $10^{16}$  кг/м<sup>3</sup>), и она становится мощнейшим излучателем радио- и рентгеновских лучей, которые, как и ее свет, пульсируют с периодом вращения звезды. Примером такого пульсара, как их называют, служит слабая звездочка в центре расширяющейся Крабовидной радиотуманности. Остатков вспышек сверхновых звезд в виде пульсаров и радиотуманностей, подобных Крабовидной, известно уже много.

Нейтронные звезды — это конечная стадия эволюции звезд с массой немного большей, чем у Солнца.

Принято считать, что звезды с массой, значительно превышающей солнечную, завершают свою эволюцию, превращаясь в плотный объект размером примерно с нейтронную звезду, гравитационное поле которого препятствует излучению света. Такой объект называют черной дырой.

Белые карлики, нейтронные звезды и черные дыры, существование которых предсказано теорией, но еще не подтверждено наблюдениями, являются конечными стадиями эволюции звезд различной массы. Из вещества, которое выброшено звездами, в последующем могут образовываться звезды нового поколения. В целом процесс формирования и развития звезд становится понятным, если рассматривать их как составную часть всей звездной системы — Галактики.

## ЗАДАНИЕ 12

1. В какой части диаграммы располагаются звезды, которые: а) обладают большими, чем у Солнца, светимостями и температурой; б) меньшими, чем у Солнца, светимостями и температурой; в) большей, чем у Солнца, светимостью, но меньшей, чем у него, температурой; г) меньшей, чем у Солнца, светимостью, но большей, чем у него, температурой?

На диаграмме цифрами отмечены положения следующих звезд:

1 — Бетельгейзе, 2 — Вега, 3 — Арктур, 4 — Сириус В, 5 — звезда Барнарда.

2. Используя диаграмму,

- а) вычислите расстояние до звезд 1, 2, 3, взяв данные о видимой звездной величине из приложения IV;

- б) определите видимую звездную величину спутника Сириуса — звезды Сириус В;

- в) определите видимую звездную величину звезды Барнарда, если расстояние до нее составляет 1,8 пк.

## 27. НАША ГАЛАКТИКА

**1. Млечный Путь и Галактика.** Долгий путь прошла наука, прежде чем была установлена структура окружающей нас Вселенной. Только в начале XX в. было окончательно доказано, что все видимые на небе звезды образуют обособленную звездную систему — Галактику, хотя задолго до этого высказывалось немало правильных идей. Так, английский ученый *Вильям Гершель* (1738—1822) первым указал путь для решения задачи о строении мира звезд, состоящий в подсчете звезд в одинаково малых участках, выбранных в различных областях неба.

Постепенно выяснилось, что звезды *Млечного Пути* — светлой серебристой полосы, опоясывающей все небо<sup>1</sup>, составляют основную часть нашей сильно сплюсненной звездной системы — *Галактики*. Так как полоса Млечного Пути опоясывает небо по большому кругу, то мы находимся вблизи его плоскости, которую называют галактической. Дальше всего Галактика простирается вдоль этой плоскости. В перпендикулярном к ней направлении плотность звезд быстро падает, следовательно, Галактика в этом направлении простирается не так далеко.

Наблюдаемая структура Млечного Пути (рис. 81) отчасти обусловлена реальным расположением слабых (т. е. далеких) звезд, из которых он состоит, отчасти тем, что местами их закрывают облака, содержащие космическую пыль. Такое темное облако можно заметить около звезды Денеб в созвездии Лебедя, где начинается разделение Млечного Пути на две ветви, соединяющиеся снова в южном полушарии неба. Это кажущееся разделение вызвано скоплением космической пыли, заслоняющей часть самых ярких мест Млечного Пути, в том числе находящихся в созвездиях Скорпиона и Стрельца (рис. 82).

Иногда неудачно говорят, что Млечный Путь — это и есть наша Галактика. Млечный Путь — это видимое нами на небе светлое кольцо, а наша Галактика — это гигантский звездный остров (рис. 83). Большинство ее звезд находится в полосе Млечного Пути, но ими она не исчерпывается. В Галактику входят звезды всех созвездий.

Подсчитано, что число звезд 21-й величины и всех более ярких на всем небе составляет около  $2 \cdot 10^9$ , но это лишь неболь-

<sup>1</sup> Древние греки называли его «галаксиас», т. е. молочный круг (от слова гала — молоко).



шая часть звездного «населения» нашей звездной системы — Галактики.

Размеры Галактики были намечены по расположению звезд, которые видны на больших расстояниях. Это цефеиды и горячие сверхгиганты. Диаметр Галактики можно принять примерно равным 30 000 пк, или 100 000 световых лет, но четкой границы у нее нет, так как звездная плотность в Галактике постепенно сходit на нет.

В центре Галактики находится ядро диаметром 1000—2000 пк — огромное уплотненное скопление звезд. Оно расположено от нас на расстоянии почти 10 000 пк (30 000 световых лет) в направлении созвездия Стрельца, но почти целиком скрыто за-весой облаков, содержащих космическую пыль.

В состав ядра Галактики входит много красных гигантов и короткопериодических цефеид. Звезды верхней части главной последовательности, а особенно сверхгиганты и классические цефеиды, составляют более молодое население. Оно располагается дальше от центра и образует сравнительно тонкий слой, или диск. Среди звезд этого диска расположена пылевая материя и облака газа. Субкарлики и гиганты образуют вокруг ядра и дис-



Рис. 81. Вид Млечного Пути для невооруженного глаза.

Рис. 82. Фотография участка Млечного Пути в созвездии Стрельца.



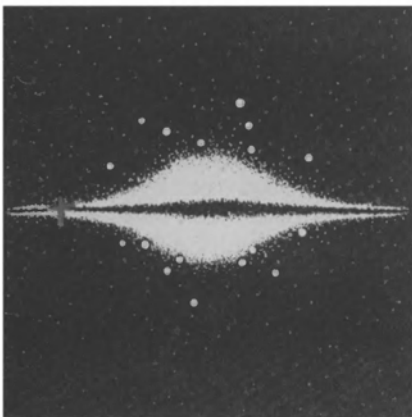
ка Галактики сферическую систему.

По аналогии с другими звездными системами, о которых будет рассказано в § 29, можно считать, что в диске нашей Галактики должны существовать спиральные ветви, выходящие из ядра и сходящиеся на концах на нет (рис. 84). Для таких ветвей характерны горячие сверхгиганты и классические цефеиды. Однако точное расположение и форма спиральных ветвей в нашей Галактике еще не установлены.

*Связь между принадлежностью звезд к той или иной последовательности и их расположением в пространстве* отражает различия условий и времени образования звезд.

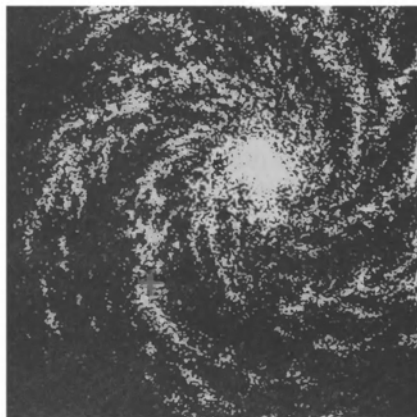
**2. Звездные скопления и ассоциации.** В некоторых местах на небе в телескоп, а кое-где даже невооруженным глазом можно различить тесные группы звезд, связанных взаимным тяготением, или *звездные скопления*. Различают два вида звездных скоплений: *рассеянные* и *шаровые*. Сопоставим их свойства. Рассеянные

Рис. 83. Схематическое изображение Галактики с системой шаровых звездных скоплений (вид с ребра, положение Солнечной системы отмечено крестиком).



Вильям Гершель (1738—1822). Английский астроном и оптик. Открыл планету Уран, исследовал двойные звезды и структуру Млечного Пути. Построил несколько крупнейших для своего времени телескопов.

Рис. 84. Спиральные ветви Галактики (схематическое изображение Галактики в плоскости, вид плашмя).



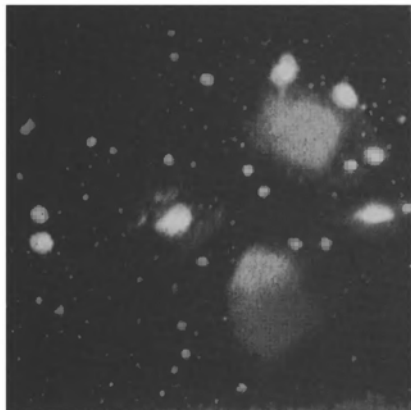


Рис. 85. Рассеянное звездное скопление Плеяды (его главные звезды освещают окружающую их космическую пыль).

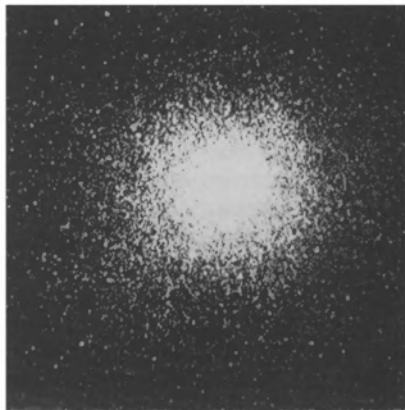


Рис. 86. Шаровое звездное скопление в созвездии Геркулеса.

скопления (рис. 85) состоят обычно из десятков или сотен звезд главной последовательности и сверхгигантов со слабой концентрацией к центру. Шаровые скопления (рис. 86) состоят из десятков или сотен тысяч звезд главной последовательности и красных гигантов. Иногда они содержат короткопериодические цефеиды.

Размер рассеянных скоплений — несколько парсек. Пример их — скопления Гиады и Плеяды в созвездии Тельца. Если на скопление Плеяды навести телескоп, то вместо группы из 6 звезд, видимых невооруженным глазом, в поле зрения телескопа мы увидим бриллиантовую россыпь звезд. Размер шаровых скоплений с сильной концентрацией звезд к центру — десятки парсек. Они все далеки от нас и в слабый телескоп выглядят как туманные пятна.

Диаграммы «цвет — светимость» для звезд шаровых и рассеянных скоплений различны. Это и помогает различать тип звездного скопления. В состав рассеянных скоплений входят также газ и пыль (см. рис. 85), которые не наблюдаются в шаровых звездных скоплениях.

Расстояния до ближайших шаровых скоплений определяют по находящимся в их составе короткопериодическим цефеидам, сравнивая их видимую звездную величину с известной для них абсолютной звездной величиной.

Расстояния до рассеянных скоплений определяют, строя для их звезд диаграмму «цвет — видимая звездная величина» и сопоставляя ее с диаграммой «цвет — абсолютная звездная величина». Это позволяет найти разность между видимой и абсолютной величинами для звезд одного и того же цвета, отсюда и расстояние до звезд скопления (см. формулу (4)).

Известно более 100 шаровых и сотни рассеянных скоплений, но в Галактике последних должно быть десятки тысяч. Мы видим лишь ближайшие из них.

На небе наблюдаются рассеянные группы горячих сверхгигантов, которые советский ученый академик В. А. Амбарцумян назвал *O*-ассоциациями. Звезды их далеки друг от друга и не всегда удерживаются взаимным тяготением, как в звездных скоплениях. *O*-ассоциации также характерное население спиральных ветвей.

## УПРАЖНЕНИЕ 24

1. Каково расстояние до шарового звездного скопления, если в нем видно несколько короткопериодических цефеид? Их видимая звездная величина 15,5, а абсолютная 0,5. Каков линейный диаметр скопления, если его угловой диаметр 1'? Какую видимую звездную величину имело бы Солнце, если бы оно находилось от нас на том же расстоянии, что и указанное скопление?
2. На фотографии звездного скопления Плеяды (рис. 85) угловой масштаб 1,2' в 1 мм. Параллакс скопления  $\rho = 0,15''$ . Определите линейное расстояние между двумя ярчайшими звездами этого скопления, считая, что их расстояние от Земли одинаково.

**3. Движения звезд в Галактике.** В древности звезды не случайно называли «неподвижными». Только в XVIII в. было обнаружено очень медленное перемещение Сириуса среди звезд, заметное при сравнении точных измерений его положения, которые были выполнены с промежутком времени в несколько десятилетий.

*Собственным движением звезды  $\mu$  называется ее видимое угловое смещение по небу за один год на фоне слабых далеких звезд. Оно выражается долями секунды дуги в год.*

Только звезда Барнарда проходит за год дугу в  $10''$ , что за 200 лет составит  $0,5^\circ$ , или видимый поперечник Луны. За эту звезду Барнарда называли «летающей».

Собственные движения звезд в настоящее время определяют, сравнивая фотографии выбранного участка неба, сделанные на одном и том же телескопе через промежуток времени, измеряемый годами или даже десятилетиями. Из-за того, что звезда движется, ее положение на фоне более далеких звезд за это время немного изменяется. Смещение звезды на фотографиях измеряют с помощью специальных микроскопов. Такое смещение удается оценить лишь для сравнительно близких звезд.

Но если расстояние до звезды неизвестно, то ее собственное движение мало что говорит об ее истинной скорости. Например, пути, пройденные звездами за год (рис. 87), могут быть разные:  $S_1A$ ,  $S_2C$ , а соответствующие им собственные движения ( $\mu$ ) одинаковые. Скорость звезды в пространстве можно представить как векторную сумму двух компонентов, один из которых направлен вдоль луча зрения, другой перпендикулярен ему. Первый компо-

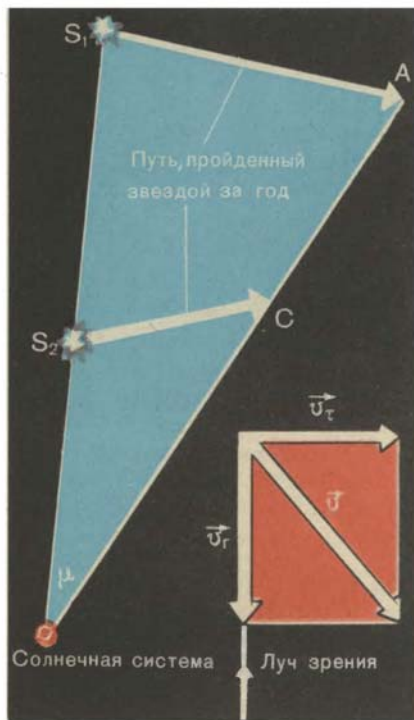


Рис. 87. Собственное движение  $\mu$ , лучевая  $v_r$ , тангенциальная  $v_t$  и полная пространственная скорость звезды  $v_0$ .

**4. Движение Солнечной системы.** В начале XIX в. В. Гершель установил по собственным движениям немногих близких звезд, что по отношению к ним Солнечная система движется в направлении созвездий Лиры и Геркулеса. Направление, в котором движется Солнечная система, называется апексом движения. Впоследствии, когда стали определять по спектрам лучевые скорости звезд, вывод Гершеля подтвердился. В направлении апекса звезды в среднем приближаются к нам со скоростью 20 км/с, а в противоположном направлении с такой же скоростью в среднем удаляются от нас. Итак, *Солнечная система движется в направлении созвездий Лиры и Геркулеса со скоростью 20 км/с по отношению к соседним звездам.*

Звезды, близкие друг к другу на небе, в пространстве могут быть расположены далеко друг от друга и двигаться с различными скоростями. Поэтому по истечении тысячелетий вид созвездий должен сильно меняться вследствие собственных движений звезд (рис. 88).

нент представляет собой лучевую, второй — тангенциальную скорость. Собственное движение звезды определяется лишь ее тангенциальной скоростью и не зависит от лучевой. Чтобы вычислить тангенциальную скорость  $v_t$  в километрах в секунду, надо  $\mu$ , выраженное в радианах в год, умножить на расстояние до звезды  $D$ , выраженное в километрах, и разделить на число секунд в году. Но так как на практике  $\mu$  всегда определяется в секундах дуги, а  $D$  — в парсеках, то для вычисления  $v_t$  в километрах в секунду получается формула

$$v_t = 4,74 \mu D.$$

Если определена по спектру и лучевая скорость звезды  $v_r$ , то пространственная скорость ее  $v$  будет равна:

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

Скорости звезд относительно Солнца (или Земли) обычно составляют десятки километров в секунду.

**5. Вращение Галактики.** Все звезды Галактики обращаются вокруг ее центра. Угловая скорость обращения звезд во внутренней области Галактики примерно одинакова, а внешние ее части вращаются медленнее. Этим обращение звезд в Галактике отличается от обращения планет в Солнечной системе, где и угловая, и линейная скорости быстро уменьшаются с увеличением радиуса орбиты. Это различие связано с тем, что ядро Галактики не преобладает в ней по массе, как Солнце в Солнечной системе.

*Солнечная система совершает полный оборот вокруг центра Галактики примерно за 200 млн. лет со скоростью около 250 км/с.*

По вращению Галактики оценивается ее масса, она составляет около  $2 \cdot 10^{11}$  масс Солнца.

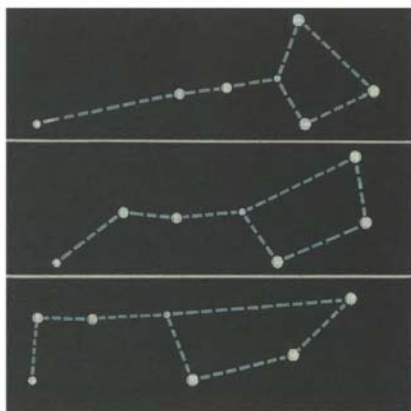


Рис. 88. Изменение видимого расположения ярких звезд созвездия Большой Медведицы вследствие их собственных движений: сверху — 50 тыс. лет назад; в середине — в настоящее время; внизу — через 50 тыс. лет.

## УПРАЖНЕНИЕ 25

1. Собственное движение звезды составляет  $0,1''$  в год. Расстояние до нее 10 пк. Какова ее тангенциальная скорость?
2. У звезды (см. предыдущую задачу) лучевая скорость 10 км/с. Какова ее пространственная скорость?
3. Если звезда (см. задачу 1) приближается к нам со скоростью 100 км/с, то как изменится ее видимая яркость за 100 лет?

## ЗАДАНИЕ 13

Сравнивая на рисунке относительное положение первой и третьей слева звезд «ручки» «ковша» Большой Медведицы (рис. 88), примерно оцените (в долях мм) их относительный сдвиг за 50 лет, если масштаб фотографии больше, чем на этом рисунке, в 10 раз.

## 28. ДИФFUЗНАЯ МАТЕРИЯ

**1. Межзвездная пыль и газ.** В. Я. Струве более ста лет назад указал на существование межзвездного поглощения света, которое окончательно было доказано только в 1930 г. *Межзвездное поглощение света ослабляет яркость звезд тем больше, чем они дальше от нас, и тем сильнее, чем короче длина волны. Поэтому*



Рис. 89. Темная пылевая туманность Конская голова, окаймленная светлой пылевой туманностью.

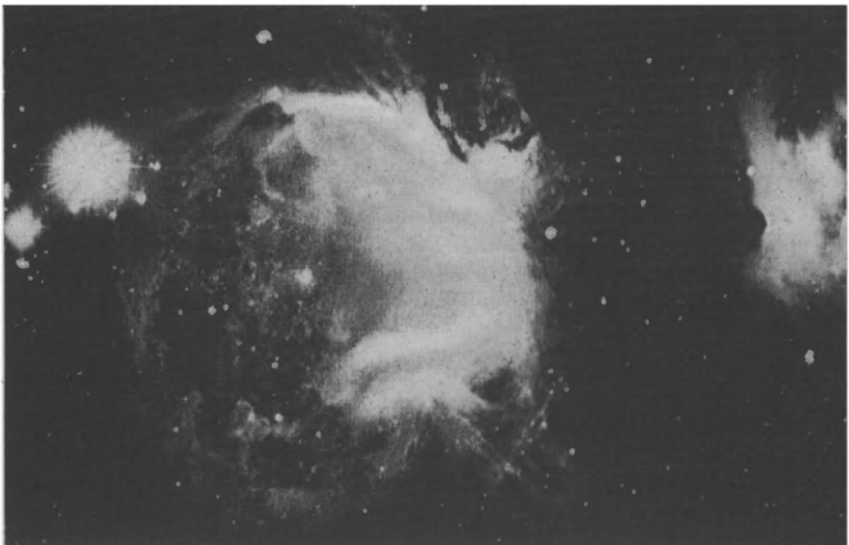
далекие звезды выглядят краснее, чем они есть. Такой эффект должна вызывать мелкая пыль, размеры частичек которой сравнимы с длиной световой волны.

Исследования показали, что межзвездная пыль сосредоточена в слое небольшой толщины (около 200—300 пк) вдоль галактической плоскости. Он состоит из разреженной газопылевой среды, которая местами сгущается в облака. Проходя расстояние в 1000 пк в плоскости Галактики, свет ослабляется в среднем на 1,5 звездной величины.

Уменьшение видимой яркости звезд затрудняет точное определение расстояния до них путем сравнения их абсолютной звездной величины с видимой. Определяя расстояния, приходится учитывать не только влияние космической пыли, но и неравномерное ее распределение, наличие темных облаков.

Сходные по своей природе и близкие по составу газопылевые облака выглядят по-разному. Непрозрачные для света, они могут наблюдаться как *темные туманности* (рис. 89).

Рис. 90. Диффузная газопылевая туманность в созвездии Ориона.



Если вблизи от большого газопылевого облака находится яркая звезда большой светимости, то она освещает это облако. Оно, отражая излучение звезды, выглядит *светлой туманностью*. Спектр такой туманности совпадает со спектром освещающей его звезды.

Когда газопылевое облако освещается очень горячей звездой (температура которой не ниже 20 000—30 000 К), то ультрафиолетовое излучение звезды ионизует водород и другие газы облака и заставляет их светиться. Газ поглощает ультрафиолетовые лучи, а излучает в красных, зеленых и других линиях спектра. Такое светящееся облако называют *диффузной газовой туманностью*. Если бы горячая звезда вдруг угасла, туманность бы тоже вскоре перестала светиться. Типичная туманность такого типа находится в созвездии Ориона (рис. 90). Она видна (зимой) в сильный бинокль, но только фотография выявляет ее структуру.

Газопылевых разреженных диффузных туманностей известно много. Все они клочковаты, неправильной формы, без четких очертаний. Спектр туманностей состоит из ярких линий водорода, кислорода и других легких газов. Некоторые газы находятся в таком состоянии, что дают спектр, никогда не наблюдающийся в земных условиях. Две самые яркие зеленые линии спектра туманностей долго приписывали предполагаемому химическому элементу «небулию» (что значит «туманный»), имеющемуся только в туманностях. Но потом выяснилось, что эти линии принадлежат атому кислорода, потерявшему два электрона и светящемуся в условиях такой разреженности, какая в лаборатории неосуществима. Действительно, плотность газовых туманностей около  $10^{-18}$ — $10^{-20}$  кг/м<sup>3</sup>.

Особым типом туманностей являются *планетарные туманности* (рис. 91) — светящиеся газовые оболочки, выбрасываемые звездами на определенной стадии их развития, которая является закономерным этапом для большинства звезд. Природа их свечения такая же, как и диффузных туманностей.

В 1931 г. автором этого учебника было доказано, что звезды в процессе эволюции выбрасывают столько газа, что его достаточно для формирования новых поколений звезд.

Газовые диффузные туманности образуют в галактической плоскости слой толщиной всего лишь около 200 пк. Они принадлежат к населению, характерному для спиральных ветвей Галак-



Рис. 91. Самая большая и близкая к нам планетарная туманность в созвездии Водолея.





**В. Я. Струве (1793—1864).**  
Русский астроном. Руководитель работ по высокоточным определениям координат звезд, проводившихся в Пулковской обсерватории. Впервые в мире определил расстояние до звезды (Веги).

Важнейший из них заключается в том, что образование звезд наблюдается вблизи галактической плоскости, где концентрируются облака наиболее плотного и холодного межзвездного газа. Поскольку зарождающаяся звезда (протозвезда) имеет еще не высокую плотность и температуру, то она может излучать в инфракрасном диапазоне длин волн. В областях звездообразования находят мощные источники инфракрасного излучения

Туманность Рыбачья сеть в созвездии Лебедя.



тики. Размеры туманностей огромны — от нескольких парсек до десятков парсек, так что в них обычно бывает погружено несколько звезд.

Современная техника наблюдений в инфракрасном и радиодиапазонах позволяет исследовать газопылевые облака, непрозрачные для видимого света, и изучать процесс звездообразования, который в этих облаках происходит. Ближайшей к нам областью, где и в настоящее время образуются звезды, является газопылевой комплекс в созвездии Ориона.

## 2. Возникновение звезд.

В пользу гипотезы о возникновении звезд путем гравитационной конденсации (т. е. взаимного тяготения частиц) из холодных газопылевых облаков говорит целый ряд фактов.

очень маленького углового размера. Эти источники могут быть формирующимися или недавно сформировавшимися звездами, еще окруженными плотной газопылевой средой, из которой они возникли.

Сжимаясь, протозвезда разогревается, пока в ее недрах температура не поднимется до нескольких миллионов градусов. Тогда начнутся ядерные реакции с участием легких элементов и выделением энергии. Переменность яркости молодых звезд — знак того, что они еще не стали устойчивыми. Нагрев вводит в действие реакцию превращения водорода в гелий и останавливает сжатие. Сила давления газа уравнивает силу тяготения. Звезда становится устойчивой и большую часть своей жизни сохраняет размер и светимость приблизительно постоянными (см. § 26). Именно такие звезды образуют главную последовательность на диаграмме «цвет — светимость». Звезда, масса которой такая же, как у Солнца, сжалась и появилась на главной последовательности примерно за  $10^8$  лет.

**3. Нейтральный водород и молекулярный газ.** Много сведений о межзвездном газе приносят исследования его радиоизлучения. Водород в светлых туманностях ионизируется и светится, только если поблизости есть горячие звезды. Но *основная масса водорода в Галактике нейтральна*. Нейтральный водород в космосе не светится и невидим. Однако он излучает радиоволну длиной 0,21 м. По интенсивности излучения на этой длине волны определяют массу и плотность водорода, а по отклонению фактической длины волны от 0,21 м по эффекту Доплера находят скорость водородного облака. В настоящее время выяснена общая картина распределения водорода в Галактике (рис. 92). Он расположен преимущественно в тонком слое вблизи галактической плоскости. Облака водорода можно наблюдать на расстояниях, гораздо больших, чем те, на которых возможно наблюдать в телескоп отдельные звезды. Температура облаков нейтрального водорода в среднем около 100 К, а температура ионизованных светящихся облаков (туманностей) около 10 000 К. В плотных газовых облаках атомы водорода объединяются в молекулы  $H_2$ . Полная масса межзвездного водорода составляет несколько процентов от общей массы Галактики, а масса космической пыли еще в 100 раз меньше. Плотность нейтрального водорода в плоскости Галактики составляет в среднем около  $10^{-21}$  кг/м<sup>3</sup>.

В межзвездном пространстве, помимо водорода, находятся гелий, а также атомы и некоторые простейшие молекулы других химических элементов в количестве, малом сравнительно с водородом и гелием. Многие молекулы обнаружены радиометодами (по излучению и поглощению радиоволн). Среди них  $OH$ ,  $H_2O$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $NH_3$  и некоторые более сложные молекулы.

**4. Магнитное поле, космические лучи и радиоизлучение.** В Галактике существует общее магнитное поле. Линии индукции этого поля в основном параллельны галактической плоскости. Изги-

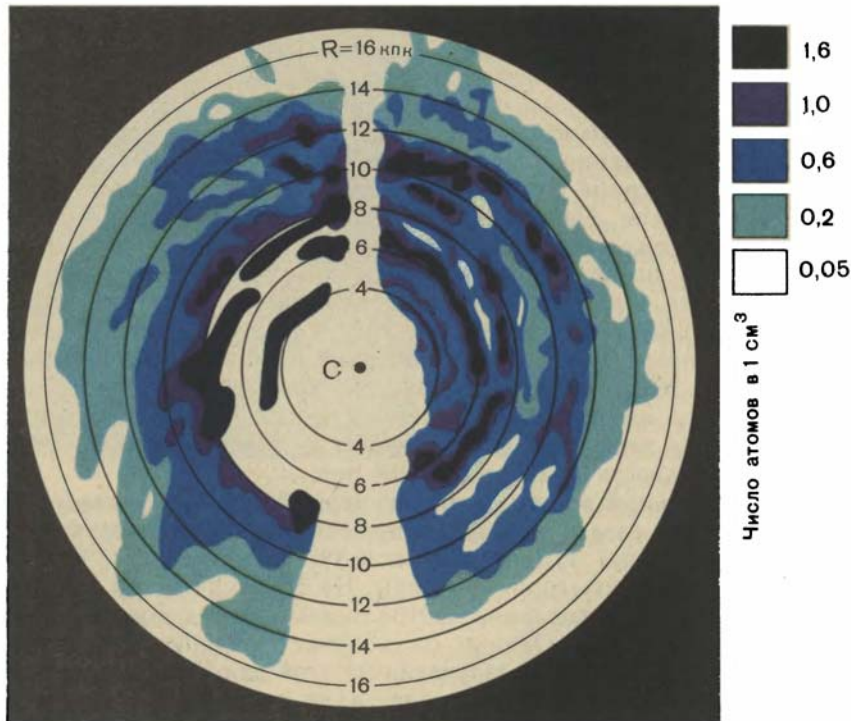


Рис. 92. Распределение плотности нейтрального водорода в плоскости Галактики на различных расстояниях от ее центра.

баясь, они идут вдоль спиральных ветвей Галактики. Индукция магнитного поля Галактики около  $10^{-10}$  Тл, но в облаках газа она выше.

При вспышках сверхновых звезд, кроме быстрых атомных ядер (в основном протонов), составляющих космические лучи, выбрасывается много электронов со скоростями, близкими к скорости света. *Магнитное поле Галактики тормозит быстрые электроны, и это вызывает нетепловое (синхротронное) радиоизлучение* на метровых и более длинных волнах. Оно приходит к нам со всех сторон, но наиболее сильное радиоизлучение принимается из области Млечного Пути. Это радиоизлучение рождается в межзвездном пространстве вблизи плоскости нашей Галактики, где плотность космических лучей и индукция межзвездного магнитного поля достигают наиболее высоких значений.

Помимо Млечного Пути, в Галактике есть и другие источники радиоизлучения. Один из них, называемый Стрелец А, находится в центре нашей Галактики.

**1. Основные характеристики галактик.** В. Гершель в XVIII в. открыл и занес в каталоги тысячи наблюдаемых на небе туманных пятен (туманностей). У многих из них впоследствии была обнаружена спиральная структура.

Рис. 93. Спиральная галактика М 31 в созвездии Андромеды и ее спутник — малая эллиптическая галактика (справа).



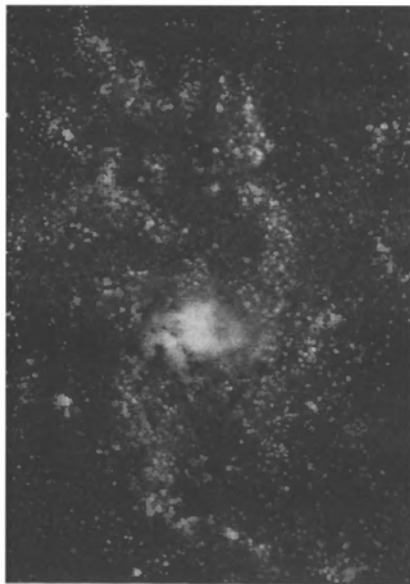


Рис. 94. Спиральная галактика М 33 в созвездии Треугольника, видимая почти плашмя. Ее ярчайшие звезды в спиральных ветвях расположены менее тесно, чем в М 31, и поэтому заметнее.

газопылевые туманности, как и в нашей Галактике. Вследствие того что галактика в созвездии Андромеды повернута под большим углом к лучу зрения, она имеет продолговатую форму. Галактика в созвездии *Треугольника* тоже спиральная, менее наклонена к лучу зрения и имеет поэтому иной вид (рис. 94).

Астрономы нашли множество гигантских звездных систем за пределами нашей Галактики, им дали нарицательное название галактик в отличие от нашей Галактики.

Хаббл выяснил, что в спектрах галактик, расстояния до которых были оценены по видимой яркости их ярчайших звезд, линии смещены к красному концу спектра. Это *красное смещение возрастает пропорционально расстоянию до галактики* (рис. 95). В соответствии с эффектом Доплера (см. § 14.3) красное смещение означает удаление источника от наблюдателя. Скорость удаления пропорциональна смещению и, следовательно, расстоянию. Наблюдаемая пропорциональность между расстоянием до галактик и скоростью носит название закона Хаббла:  $v = HD$ . Коэффициент пропорциональности  $H$  называют постоянной Хаббла. Установлено, что величина постоянной Хаббла<sup>1</sup>  $H$  со-

Американский астроном Э. Хаббл (1889—1953) получил фотографии туманности в созвездии *Андромеды*, на которых было видно, что это туманное пятно состоит из множества звезд (рис. 93). Он обнаружил среди них рассеянные и шаровые скопления, новые звезды и цефеиды. Определив периоды переменности и видимую звездную величину этих цефеид, Хаббл установил, что все они находятся очень далеко за пределами нашей Галактики.

Зная расстояние до этой туманности и ее угловые размеры, легко вычислить ее диаметр в линейных единицах (см. § 12.4, рис. 34).

Оказалось, что *спиральная туманность в созвездии Андромеды — огромная звездная система, примерно такая же, как и наша Галактика*. Мы знаем теперь, что расстояние до нее 2 млн. световых лет. В ней есть

<sup>1</sup> Значение этой величины все уточняется.

ставляет примерно  $100 \frac{\text{км}}{\text{с} \cdot \text{Мпк}}$ , т. е. на каждый миллион парсек скорость удаления возрастает на 100 км/с. Поэтому расстояние до далекой галактики можно определить по величине красного смещения линий в ее спектре:

$$D = \frac{v}{H},$$

Рис. 95. Красное смещение в спектрах галактик возрастает с расстоянием до них (на фотографии спектра заметнее всего две главные линии поглощения ионизованного кальция). Ширина спектра зависит от видимого размера и яркости галактики. Яркие линии — спектр земного источника света.

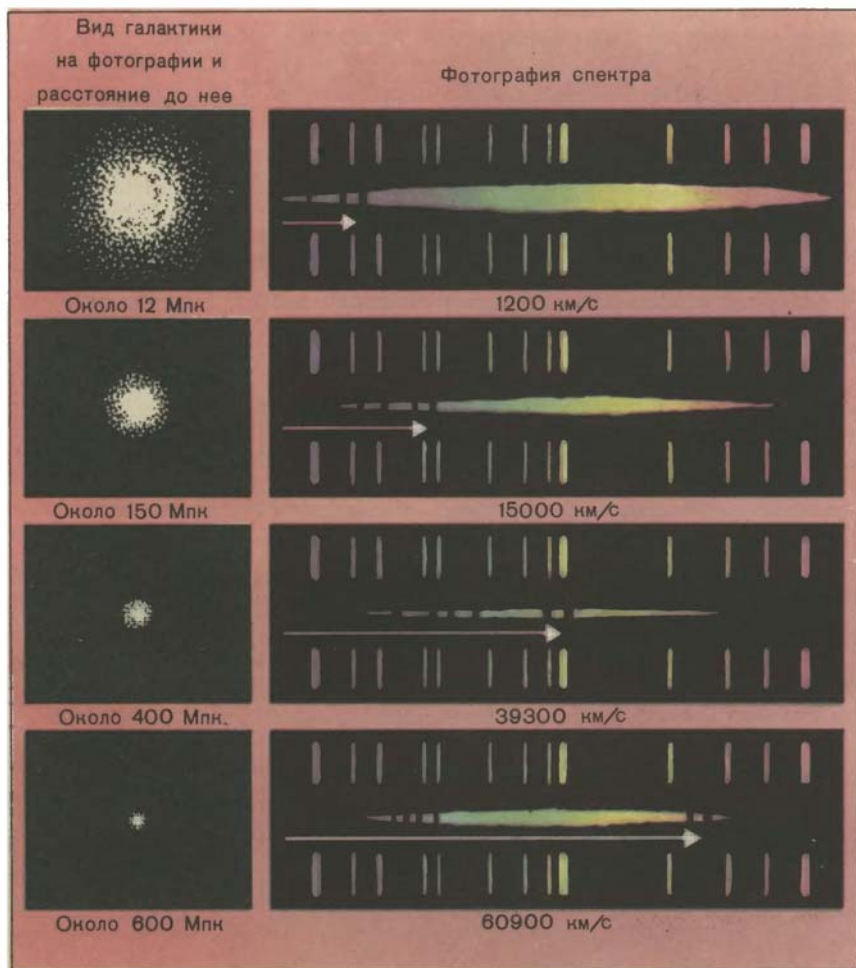




Рис. 96. Спиральная галактика, видимая с ребра, с темными пылевыми туманностями, скрывающими от нас ее ядро.

где  $v$  — скорость, определенная по красному смещению. Если, например, сдвиг линии спектра соответствует 10 000 км/с, то до галактики 100 Мпк. Этот способ используется в тех случаях, когда в далеких галактиках цефеиды или даже ярчайшие сверхгиганты не видны.

По своему внешнему виду галактики делятся на спиральные, неправильные и эллиптические. Большинство наблюдаемых галактик спиральные. Наша Галактика и галактика в созвездии Андромеды относятся к числу спиральных галактик очень большого размера. Все спиральные галактики вращаются с периодами в несколько сот миллионов лет. Массы их составляют  $10^{10}$ — $10^{11}$  масс Солнца.

Ветви спиральных галактик, как и у нашей Галактики, состоят из горячих звезд, цефеид, сверхгигантов, рассеянных звездных скоплений и газовых туманностей. Галактики излучают радиоволны. Радиоизлучение исходит от нейтрального водорода на

Рис. 97. Большое Магелланово Облако — ближайшая к нам галактика. Относится к типу неправильных галактик.



длине волны 21 см, а также от ионизованного горячего водорода в светлых туманностях. Нейтрального водорода в них содержится до 10% от массы галактики. Есть в галактиках и пыль. Ее присутствие особенно хорошо заметно в тех из них, которые повернуты к нам ребром, поэтому похожи на веретено или чечевицу (рис. 96). Вдоль галактической плоскости у них проходит темная полоса — скопление пылевых туманностей.

Во время экспедиции Магеллана в XVI в. наблюдаемые в южном полушарии неба два больших звездных облака называли *Большим* и *Малым Магеллановыми Облаками* (рис. 97). Эти галактики по их бесформенному виду относят к типу неправильных. Они являются спутниками нашей Галактики. Расстояние до них около 150 000 световых лет. Их звездный состав такой же, как и у ветвей спиральных галактик, а ядра нет. Неправильные галактики (рис. 98, а) значительно меньше спиральных и встречаются редко.

Эллиптические галактики наблюдаются часто. По виду они похожи на шаровые звездные скопления (рис. 98, б), но гораздо больше их по размерам. Они вращаются крайне медленно и потому слабо сплюснуты в отличие от быстро вращающихся спиральных галактик (рис. 98, в). Эллиптические галактики не содержат ни звезд-сверхгигантов, ни диффузных туманностей.

Разнообразны светимости галактик.

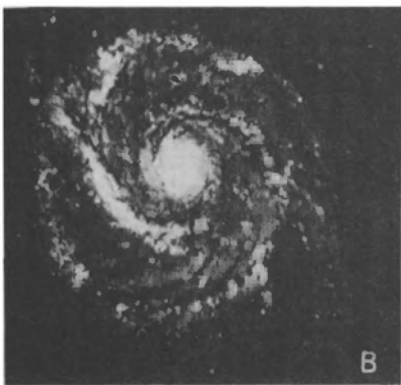
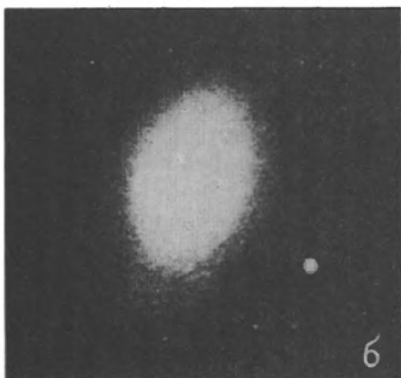
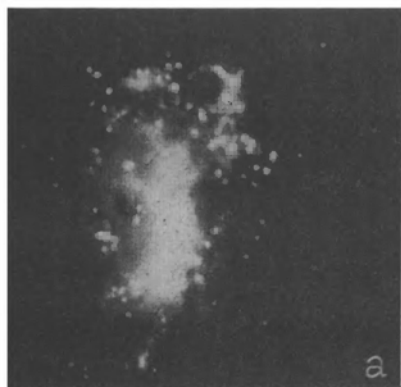


Рис. 98. Основные типы галактик (масштабы фотографий различны):  
а — неправильная;  
б — эллиптическая;  
в — спиральная.



У гигантских галактик абсолютная звездная величина около  $-21$ . Существуют галактики-карлики, в тысячи раз более слабые, с абсолютной звездной величиной около  $-13$ .

Академик В. А. Амбарцумян первым показал, что в центральных областях многих спиральных и эллиптических галактик — в их ядрах — происходят взрывоподобные явления, сопровождающиеся выделением очень большого количества энергии.

Мощное рентгеновское излучение некоторых галактических ядер — важное свидетельство их высокой активности. В. А. Амбарцумян также высказал предположение, что галактики образовались из какого-то сверхплотного «дозвездного вещества». По его мысли, оно обладает способностью самопроизвольно дробиться и образует галактики. Ядра их путем дальнейшего дробления порождают ассоциации «дозвездных» тел, а те, дробясь, порождают и звезды, и диффузную материю. Галактики с активными ядрами, с которыми связано мощное радиоизлучение и из которых происходит выброс больших масс газа, в рамках этого предположения считаются молодыми.

Большинство ученых придерживаются более подробно разработанной гипотезы о том, что звезды и галактики возникали из водородно-гелиевой среды путем ее распада на отдельные облака. За этим следовало сжатие этих облаков вследствие тяготения. Процесс образования звезд в шаровых скоплениях и эллиптических галактиках давно закончился. Их звезды являются самыми старыми. В спиральных и неправильных галактиках звездообразование продолжается.

#### ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

**Задача.** В галактике, у которой красное смещение линий в спектре  $2000$  км/с, вспыхнула сверхновая звезда. Ее яркость в максимуме соответствовала 18-й видимой звездной величине. Каковы ее абсолютная звездная величина и светимость?

Дано:

$$\begin{array}{l} v = 2000 \text{ км/с} \\ H = 100 \text{ км/с (с} \cdot \text{Мпк)} \\ m = 18 \\ \hline M - ? \quad L - ? \end{array}$$

Решение.

$$\begin{array}{l} L = 2,512^{5-M}, \text{ или } \lg L = 0,4(5-M). \\ M = m + 5 - 5 \lg D. \\ D = \frac{v}{H} \end{array}$$

$$D = \frac{2000 \text{ км/с}}{100 \text{ км/с} \cdot \text{Мпк}} = 20 \text{ Мпк} = 2 \cdot 10^7 \text{ пк.}$$

$$M = 18 + 5 - 5 \lg 2 \cdot 10^7 = -13,5.$$

$$\lg L = 0,4(5 - (-13,5)) = 7,4, \text{ откуда } L = 2,5 \cdot 10^7.$$

Отв е т:  $M = -13,5$ ;  $L = 2,5 \cdot 10^7$ .

1. Линии спектра далекой галактики оказались сдвинуты на величину, соответствующую скорости удаления от нас в 15 000 км/с. Каково расстояние до нее? Каков ее размер, если она видна как пятнышко 20" в диаметре?
2. Каково расстояние до галактики и с какой скоростью она от нас удаляется, если в ней обнаружена новая звезда, видимая звездная величина которой +18, а абсолютная звездная величина равна —7?

## ЗАДАНИЕ 14

1. По фотографии (рис. 93) оцените угол наклона спиральной галактики к лучу зрения.
2. На каком расстоянии (в парсеках) от центра галактики (рис. 79) находится в проекции на небо сверхновая звезда, если красное смещение в их спектрах 10 000 км/с, а видимый диаметр галактики 2'?

**2. Радиогалактики и квазары.** Некоторые галактики выделяются среди других особенно мощным синхротронным радиоизлучением, которое возникает при взаимодействии очень быстрых электронов с магнитным полем. Их называли радиогалактиками. Чаще всего они имеют два очага радиоизлучения, расположенные по обе стороны от галактики. Они возникли в результате активности ядер галактик, выбрасывающих в противоположные стороны быстрые потоки вещества.

На месте некоторых радиоисточников на небе нашли объекты, неотличимые на фотографиях от очень слабых звезд. Но как показали особенности их излучения, эти объекты не могут быть звездами. В их спектре имеются яркие линии со значительным красным смещением. В некоторых случаях это линии газа, обычно наблюдаемые в ультрафиолетовой области спектра, смещенные в его видимую часть. Красное смещение их так велико, что ему соответствуют расстояния в миллиарды световых лет. Эти объекты, названные квазизвездными (звездopodobными) источниками радиоизлучения или квазарами, являются самыми далекими небесными телами, расстояние до которых удалось определить. Ярчайший из квазаров выглядит как звезда 13-й звездной величины, но по светимости *некоторые квазары в сотни раз ярче, чем гигантские галактики.* Остается неясным происхождение колоссальных потоков энергии, излучаемой ими в оптическом и радиодиапазоне. Наблюдения свидетельствуют, что квазары сходны по своей природе с активными ядрами галактик и, вероятно, являются ядрами очень далеких звездных систем.

**Метагалактика и космология.** Галактики, подобно звездам, бывают *двойными, кратными, образуют группы и скопления*. Большинство галактик сосредоточено в скоплениях. Скопления галактик, как и скопления звезд, бывают рассеянными и шарообразными и содержат десятки, иногда тысячи членов. Ближайшее к нам скопление галактик находится в созвездии Девы (рис. 99) на расстоянии около 20 млн. пк (20 Мпк).

Самый большой каталог (составленный в СССР) содержит около 30 000 галактик ярче 15-й звездной величины. При помощи сильного телескопа можно сфотографировать много сотен миллионов галактик до 23—25-й звездной величины, из которых самые далекие с трудом отличимы от слабых звезд и отстоят от нас на миллиарды световых лет.

В последние годы было обнаружено, что в пространственном распределении галактик и их скоплений наблюдается определенная закономерность — ячеисто-сотовая структура. Стенки этих ячеек, состоящие из множества галактик, имеют толщину 3—4 Мпк, а размеры самих ячеек около 100 Мпк. Большие скопления галактик образуют узлы этих ячеек.

**Вся наблюдаемая система галактик и их скоплений называется Метагалактикой. Метагалактика — часть безграничной Вселенной.**

В Метагалактике действует закон красного смещения Хаббла, и признано, что это смещение действительно отражает особенности движения галактик, непрерывное увеличение расстояний между ними. Это означает, что галактики удаляются от нас (и друг от друга) во все стороны, и тем быстрее, чем они от нас дальше. Этот процесс захватывает всю наблюдаемую часть Вселенной, а возможно, и всю Вселенную, и потому его назвали *расширением Вселенной*. На возможность расширения Вселенной впервые указал в своих работах советский ученый *А. А. Фридман* (1888—1925) на основании общей теории относительности *А. Эйнштейна* (1879—1955). Сделано это было за несколько лет до открытия закона Хаббла.

**Наука, которая изучает Вселенную как единое целое, называется космологией.** Большинство существующих космологических теорий опирается на теорию тяготения, физику элементарных частиц, общую теорию относительности и другие фундаментальные физические теории и, конечно, на астрономические наблюдения. В космологии широко используется метод моделирования, ученые строят теоретические модели Вселенной, ищут наблюдательные факты, на основе которых можно проверить правильность теоретических выводов. Применение ЭВМ позволяет проводить необходимые при этом расчеты. В частности, такие расчеты показали, что под действием гравитационных сил первоначально практически однородная среда в конце концов за миллиарды лет

могла приобрести структуру, наблюдаемую во Вселенной в современную эпоху. Реальная Вселенная, как оказалось, хорошо описывается моделями расширяющейся Вселенной, из которых следует, что раньше галактики были в среднем ближе друг к другу, чем сейчас, а 10—15 млрд. лет назад средняя плотность материи во Вселенной была такой большой, температура столь высокой, что вещество могло существовать только в виде элементарных частиц. В процессе расширения происходило образование химических элементов и постепенное формирование галактик, звезд и других объектов. Теория расширяющейся Вселенной позволяет объяснить наблюдаемое соотношение содержания водорода и гелия в звездах. Излучение, испущенное горячим газом миллиарды лет назад, еще до образования галактик, приходит к нам с больших расстояний до сих пор и названо поэтому *реликтовым*. Его существование было теоретически предсказано задолго до обнаружения. Энергия реликтового излучения максимальна в области очень коротких (миллиметровых) радиоволн. Это излучение приходит равномерно со всех направлений неба. Принимая его с помощью радиотелескопов, мы получаем информацию о физических свойствах вещества на ранних этапах расширения Вселенной, когда его средняя плотность была в сотни миллионов раз выше, чем в наше время. Открытие реликтового излучения подтвердило выводы теории о том, что вещество тогда было горячим и распределялось равномерно.

Что представляла собой Вселенная до начала расширения, на самых ранних его этапах, и сменится ли в будущем расширение

Рис. 99. Часть скопления галактик в созвездии Девы.



сжатием? Это очень сложные вопросы, над решением которых ученые работают сейчас.

Идеалисты и богословы спешат воспользоваться тем, что природа указанного явления пока еще не изучена. Они торопятся сделать угодный религии вывод о том, что начало расширения Вселенной порождено было сверхъестественным, «божественным актом». Такое ничем не обоснованное заявление необходимо противникам материализма для якобы научного подтверждения библейской легенды о сотворении мира. Однако все огромное многообразие качественных изменений материи, наблюдаемых в процессе расширения Метагалактики, происходит без нарушения законов сохранения и не требует никаких сверхъестественных сил. Открытие эволюции нашей Метагалактики представляет грандиозную победу человеческого разума. Это достижение означает проникновение человека в глубь Вселенной, в ее далекое прошлое и разбивает миф об ограниченности человеческого познания.

В противоположность религии, которая приписывает все происходящее воле бога и утверждает, что мир непознаваем, наука шаг за шагом познает Вселенную, опираясь на добытые знания, а не на догму или слепую веру. Наука строго разграничивает известное и предполагаемое, предполагаемое и неизвестное. Сила науки в ее движении вперед. Она постепенно заменяет предполагаемое твердо установленным, а неизвестное заменяет предполагаемым. Этим наука постоянно доказывает неограниченные возможности познания природы.

Материалистическая наука считает бессмысленным вопрос о начале мира и о происхождении Вселенной. Весь опыт человечества показывает, что материя несозидаема и неуничтожаема. Она лишь меняет форму своего существования. Во Вселенной идет непрерывное развитие и изменение не только органического, но и неорганического вещества — вечный круговорот его, а не простое повторение уже пройденных этапов. Современные представления о Вселенной опираются не только на всю совокупность наук о природе, но и на философию.

*Вселенная безгранична во времени и пространстве.* Она не имела начала и никогда не будет иметь конца, она всегда существовала и будет существовать. Все это касается Вселенной в целом, точнее, материи, из которой она состоит. Отдельные же ее части, например Земля, Солнечная система, звезды и даже звездные системы — галактики, возникают, совершают долгий путь развития и когда-нибудь прекратят свое существование, с тем чтобы образующая их материя приняла новую форму. Медленно меняется и вся окружающая нас Вселенная. Об этом говорит, например, происходящее в наше время увеличение расстояний между галактиками.

На смену отжившим мирам возникают новые. На них с течением времени при благоприятных условиях может возникнуть

жизнь, путем постепенного усложнения воспроизводящая свое высшее выражение — разумные мыслящие существа.

В настоящее время мы не можем еще даже приблизительно оценить, у какого количества звезд есть планеты (пока у других звезд планет не обнаружено), на скольких из них могла зародиться жизнь, где жизнь успела воспроизвести разумные существа и технику, допускающую возможность обмена информацией с другими цивилизациями. Мы знаем, что центральное тело нашей планетной системы — Солнце является обычной звездой. И Солнце, и Земля, и другие члены Солнечной системы состоят из тех же химических элементов и подчиняются тем же законам физики, что и другие тела, наблюдаемые на самых различных расстояниях. Поэтому условия, которые когда-то привели к зарождению жизни на Земле, должны реализовываться и в других областях Вселенной, даже если эти условия связаны с редким стечением обстоятельств. Очаги жизни, а тем более разумной жизни, могут быть отделены друг от друга очень большим расстоянием, что сильно затрудняет их поиск. Развитие науки и техники позволит в будущем ответить на вопрос о распространенности жизни во Вселенной.

Возможная уникальность земной цивилизации повышает ответственность человечества за сохранение природы нашей планеты и жизни на ней во имя мира и прогресса.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### I. Справочная таблица наиболее важных величин, встречающихся в астрономии (величины полезно запомнить)

Видимый угловой диаметр Солнца и Луны	$\frac{1^\circ}{2}$
Наклон эклиптики к экватору	$23 \frac{1^\circ}{2}$
Весеннее равноденствие	около 21 марта
Летнее солнцестояние	„ 22 июня
Осеннее равноденствие	„ 23 сентября
Зимнее солнцестояние	„ 22 декабря
Продолжительность года	365 сут 5 ч 49 мин
Продолжительность синодического месяца (промежуток между двумя одинаковыми лунными фазами)	$29 \frac{1}{2}$ сут
Продолжительность звездного (сидерического) месяца (период обращения Луны вокруг Земли)	$27 \frac{1}{3}$ сут
Средний радиус Земли	6370 км
Разность экваториального и полярного радиусов Земли	21 км
Диаметр Луны по сравнению с диаметром Земли	$\frac{1}{4}$
Диаметр Солнца по сравнению с диаметром Земли	109 диаметров Земли
Диаметр самой большой планеты (Юпитера)	11 диаметров Земли
Самый короткий период обращения планеты (Меркурия)	3 месяца (88 сут)
Самый большой период обращения планеты (Плутона)	250 лет
Масса Солнца по сравнению с массой Земли	330 000 масс Земли
Температура поверхности Солнца	6000 К
Средний период изменения числа солнечных пятен	11 лет
Среднее расстояние Луны от Земли	384 000 км
Среднее расстояние Земли от Солнца, или 1 астрономическая единица	150 000 000 км
Расстояние от Солнца до ближайшей планеты (Меркурия) по сравнению с расстоянием Земли от Солнца	0,4 а. е.
Среднее расстояние от Солнца до самой далекой планеты (Плутон)	40 а. е.
1 парсек	206 265 а. е., или $3 \frac{1}{4}$ св. год
Расстояние от Солнечной системы до ближайшей звезды ( $\alpha$ Центавра)	4 св. года, или $1 \frac{1}{3}$ пк, или 270 000 а. е.
Число звезд, видимых невооруженным глазом	около 6000
Температура звезд	от 3000 (красные звезды) до 30 000 К (голубоватые звезды)
Возраст земной коры	около 5 млрд. лет
Возраст Солнца	„ 6 млрд. лет
Поперечник нашей звездной системы — Галактики	100 000 св. лет
Расстояние до ближайшей спиральной звездной системы — галактики в созвездии Андромеды	2 000 000 св. лет

## II. Греческий алфавит

α — альфа	η — эта	ν — ни (ню)	τ — тау
β — бета	θ — тэта	ξ — кси	υ — ипсилон
γ — гамма	ι — йота	ο — омикрон	φ — фи.
δ — дельта	κ — каппа	π — пи	χ — хи
ε — эпсилон	λ — ламбда	ρ — ро	ψ — пси
ζ — дзета	μ — ми (мю)	σ — сигма	ω — омега

## III. Наиболее употребительные названия ярких звезд

Алголь — β Персея	Кастор — α Близнецов
Альдебаран — α Тельца	Мицар — ζ Б. Медведицы
Альтаир — α Орла	Поллукс — β Близнецов
Антарес — α Скорпиона	Полярная — α М. Медведицы
Арктур — α Волопаса	Процион — α М. Пса
Беллатрикс — γ Ориона	Регул — α Льва
Бетельгейзе — α Ориона	Ригель — β Ориона
Вега — α Лиры	Сириус — α Б. Пса
Денеб — α Лебеда	Спика — α Девы
Капелла — α Возничего	Фомальгаут — α Южной Рыбы

## IV. Список некоторых ярких звезд, видимых в СССР

О, В — голубые звезды, А — белые, F — желтоватые, G — желтые, К — оранжевые, М — красные,

Звезда	Звездная величина	Прямое восхождение, α	Склонение, δ	Спектральный класс**	Температура	Расстояние в парсеках
	<i>m</i>	ч мин	°		10 <sup>3</sup> K	
α Тельца	1,06	4 33,0	+16 25	K	3,5	20,8
β Ориона	0,34	5 12,1	— 8 15	B	12,8	330
α Возничего	0,21	5 13,0	+45 57	G	5,2	13,7
α Ориона	0,92*	5 52,5	+ 7 24	M	3,1	200
α Б. Пса	—1,58	6 42,9	—16 39	A	16,8	2,7
α Близнецов	1,99	7 31,4	+32 00	A	10,4	13
α М. Пса	0,48	7 36,7	+ 5 21	F	6,9	3,5
β Близнецов	1,21	7 42,3	+28 09	K	4,6	10,7
α Льва	1,34	10 05,7	+12 13	A	13,2	25,6
α Девы	1,21	13 22,6	—10 54	B	16,8	47,7
α Волопаса	0,24	14 13,4	+19 27	K	4,1	11,1
α Скорпиона	1,22*	16 26,3	—26 19	M	5,1	52,5
α Лиры	0,14	18 35,2	+38 41	A	10,6	8,1
α Орла	0,89	19 48,3	+ 8 44	F	8,4	5,0
α Лебеда	1,33	20 39,7	+45 06	A	9,8	290
α Южной Рыбы	1,28	22 54,9	—29 53	A	9,8	7,0

\* Слегка меняют свою яркость.

\*\* Грубая классификация.



## V. Таблица Солнечной системы

	Звездный период обращения, годы	Синодический период обращения, сутки	Среднее расстояние от Солнца		Наклонение орбиты к эклиптике	Масса (в массах Земли)
			а. е.	млн. км		
Меркурий	0,241 <sup>1</sup>	116	0,387	58	7° 00'	0,06
Венера	0,615 <sup>2</sup>	584	0,723	108	3 24	0,82
Земля	1,000	—	1,000	150	—	1,00
Марс	1,881	780	1,524	228	1 51	0,11
Юпитер	11,86	399	5,203	778	1 18	318
Сатурн	29,46	378	9,539	1426	2 29	95,1
Уран	84,01	370	19,18	2869	0 46	14,5
Нептун	164,8	368	30,06	4496	1 46	17,3
Плутон	247,7	367	39,44	5900	17 08	0,002:
Солнце	—	—	—	—	—	330 000

<sup>1</sup> Или 88 сут.  
<sup>2</sup> Или 225. сут.

## VI. Указания к наблюдениям

Наблюдения основных небесных явлений каждым учащимся крайне важны для успешного изучения астрономии. Эти наблюдения следует проводить в ясную, безоблачную погоду, учитывая погодно-климатические условия данной местности. В средней полосе Европейской территории страны надо стремиться выполнить возможно больше наблюдений в течение сентября и октября, пока еще часто бывают ясные вечера и не так холодно. В ноябре и зимой ясная погода случается довольно редко, а холода затрудняют наблюдения. С марта увеличивается число ясных вечеров, но темнеет все позже и позже.

Кроме того, следует помнить, что некоторые астрономические явления нельзя наблюдать в удобное для нас время, их наблюдают тогда, когда они происходят, а это бывает и поздно ночью, и рано утром, затмения вообще случаются редко. Поэтому необходимо использовать каждую возможность.

Время наблюдения тех или иных явлений и условия их видимости можно определять, пользуясь «Школьным астрономическим календарем» и подвижной картой звездного неба.

Наблюдать желательно в одном и том же месте с хорошим обзором (особенно в южной части неба), там, где не мешает свет фонарей и окон домов. По компасу, Солнцу и Полярной звезде следует определить направления сторон горизонта. Хорошо иметь карманный фонарик, не дающий яркого света и позволяющий в нужное время посмотреть на звездную карту, сделать запись или зарисовку в специальную тетрадь наблюдений, в которой прежде всего надо поставить дату и время проведения того или иного наблюдения.

Средняя плотность, $10^3 \text{ кг/м}^3$	Экваториальный диаметр		Сжатие	Звездный период вращения вокруг оси	Наклон экватора к плоскости орбиты	Число известных спутников планет
	в диаметрах Земли	км				
5,4	0,38	4 900	0	58,65 сут	$7^\circ$	—
5,2	0,95*	12 100*	0	243,0** сут	$177^\circ$	—
5,5	1,00	12 756	1/298	23 ч 56 м 4 с	$23^\circ 27'$	1
4,0	0,53	6 800	1/150:	23 ч 37 м 23 с	$25^\circ$	2
1,3	11,2	142 000	1/16	9 ч 50 м***	$3,1^\circ$	Не менее 16
0,6	9,5	120 000	1/10	10 ч 14 м***	$26,4^\circ$	Не менее 17
1,3	3,9	50 000	1/40:	10,8 ч**:	$98^\circ$	14
1,6	3,9	50 000	1/60	15,8 ч:	$29^\circ$	2?
1—1,5:	0,2	2800:	?	6,4 сут	?	1
1,4	109,1	1 392 000	0	25,4 сут	$7^\circ 15'$	—

\* Диаметр твердой поверхности.

\*\*\* На экваторе.

\*\* Вращение обратное.

Двоеточие (: ) означает неточность числа.

### Невооруженным глазом можно провести следующие наблюдения:

1. Изменение положения точки восхода или захода Солнца. С этой целью два раза в месяц (примерно через 2 недели) следует отметить время захода (или восхода) Солнца, а также зарисовать (по отношению к окружающим далеким предметам) положение точки захода (восхода) на видимом горизонте. Наблюдения, проведенные с одного и того же места, позволят убедиться в изменении со временем положения этой точки.

2. Видимое движение и фазы Луны. Лучше всего начать эти наблюдения в тот вечер, когда Луна видна как узкий серпик невысоко над горизонтом сразу же после захода Солнца. Нужно зарисовать вид Луны, определить примерное угловое расстояние ее от точки захода Солнца и эти наблюдения повторить в последующие вечера примерно в то же время (сразу после захода Солнца). Таким образом можно будет проследить постепенное изменение фаз Луны и ее перемещение на небе в направлении, противоположном суточному вращению неба.

Все остальные наблюдения необходимо проводить, когда закончатся сумерки и станут видны слабые звезды. Следует иметь в виду, что яркий свет Луны около полнолуния мешает наблюдениям звезд.

3. Знакомство с созвездиями и наиболее яркими звездами необходимо начинать с первых же наблюдений звездного неба. Используя подвижную карту звездного неба, следует найти на небе и запомнить очертания созвездий Большой и Малой Медведицы, а также Лебедя, Лиры и Орла, в которых находятся яркие (1-й звездной величины) звезды Вега, Денеб и Альтаир. В тетради наблю-

дений полезно записать, какие созвездия были видны вечером в южной стороне неба. Чтобы не забыть очертания созвездий, следует время от времени находить их на небе.

4. Наблюдение суточного вращения неба. Начав наблюдение созвездий, заметьте положения каких-либо ярких звезд относительно горизонта. Через один-два часа повторите эти наблюдения и убедитесь в перемещении звезд вследствие суточного вращения неба. Желательно сфотографировать околополярную область неба с экспозицией не менее 1 ч, как это описано в учебнике, тогда вы получите убедительное, документальное подтверждение явления вращения неба (см. § 3.3).

5. Изменение вида звездного неба в течение года. Спустя 2—3 месяца после первого наблюдения звездного неба — зимой, а затем и весной надо повторить найти на небе уже знакомые околополярные созвездия, а также созвездия Тельца, Ориона и Большого Пса с яркими звездами Альдебаран, Бетельгейзе и Сириус. При наблюдениях обратите внимание на цвет этих ярких звезд, соответствующий их температуре. Вспомните, какие созвездия наблюдались осенью в южной стороне неба, и убедитесь в изменении вида звездного неба в течение года.

6. Наблюдения метеоров. Наблюдать метеоры целесообразно в то время, когда Земля встречается с одним из метеорных потоков. Даты наблюдения и созвездие, в котором находится его радиант, можно узнать по «Школьному астрономическому календарю».

7. Движение планет. Пользуясь астрономическим календарем и звездной картой, самостоятельно или с помощью учителя найдите на небе планеты, которые в данном месяце видны. Это наблюдение надо провести в сентябре и точно зарисовать положение планет среди звезд тех созвездий, в которых они видны. Через 1—2 месяца следует повторить зарисовку и выяснить, как переместилась планета.

### **Наблюдения в телескоп или бинокль (бинокуляр), проводимые под руководством учителя**

При помощи указанных приборов можно увидеть:

1) солнечные пятна (обязательно через темный фильтр); 2) неровности границы дня и ночи на Луне, крупнейшие лунные кратеры; 3) спутники Юпитера и кольца Сатурна; 4) звездную структуру Млечного Пути; 5) звездное скопление Плеяды; 6) двойные звезды в созвездиях Большой Медведицы и Лиры; 7) галактику в созвездии Андромеды (осенью); 8) газовую туманность в Орионе (зимой).

## **VII. Обращение с подвижной картой звездного неба**

Положение звезд относительно горизонта непрерывно меняется вследствие суточного вращения Земли вокруг оси и годового вокруг Солнца. Оно различно в разные часы одних и тех же суток и в одни и те же вечерние часы в разные месяцы года. Подвижная карта звездного неба дает возможность быстро и просто устанавливать положение звезд относительно горизонта для любого момента времени.

Для работы с картой ее надо смонтировать и научиться ею пользоваться.

Карту и накладной круг прежде всего надо наклеить на плотный картон, затем листы аккуратно обрезать по линиям кругов, а в накладном круге сделать еще внутренний вырез по одной из замкнутых линий с определенной шириной места, в котором предполагается пользоваться картой: для Москвы, например (широта  $56^\circ$ ), линия с отметками  $55^\circ$  и т. п.

Пользуются картой следующим образом: накладной круг кладут на карту так, чтобы нужный нам час (часы отмечены по краю накладного круга) пришелся против соответствующей даты (месяцы и числа отмечены по краю звездной карты). Тогда в вырезе накладного круга будут находиться те созвездия и звезды, которые в данный момент оказываются над горизонтом, и притом именно в указанных картой направлениях и положениях относительно горизонта.

Край выреза в накладном круге отмечает горизонт, а вблизи центра выреза находится зенит. Точки горизонта отмечены на накладном круге.

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

Работая с картой, надо еще помнить, что созвездия на карте изображены в несколько искаженном, растянутом виде, потому что небесную сферу, как и земной шар, нельзя изобразить на плоскости без искажений.

Радиальные линии на карте — круги склонений. Соответствующие им часы прямого восхождения указаны у края карты. Для отсчета склонений светил служат концентрические окружности, вычерченные через каждые  $30^\circ$  (третья от центра окружность — небесный экватор — склонение  $0^\circ$ ). Легко видеть, что карта указывает звезды со склонением до  $45^\circ$  (изображены звезды до 4-й величины включительно).

Эксцентрический круг на карте — эклиптика, точки пересечения которой с небесным экватором имеют прямое восхождение: 0 ч (точка весеннего равноденствия) и 12 ч (точка осеннего равноденствия).

Полезно на эклиптике отметить положение Солнца, например, для двадцатых чисел месяцев года. Тогда звездная карта станет еще более наглядной и удобной для наблюдений.

## VIII. Важнейшие астрономические даты и открытия

Годы до н. э.

- |      |   |
|------|---|
| 3000 | Первые астрономические записи, сделанные в Египте, Вавилоне и Китае.  |
| 1100 | Определение наклона экватора к эклиптике (Чу Конг, Китай).  |
| 360  | Выдвижение доводов в пользу представлений о шарообразности Земли, Луны и других небесных тел (Аристотель, Греция).              |
| 280  | Начало систематических наблюдений звездного неба александрийскими астрономами (Аристилл, Тимохарис).                            |
| 265  | Высказывание идеи о движении Земли вокруг оси и Солнца, первые оценки расстояний до Солнца и Луны (Аристарх Самосский, Греция). |
| 240  | Определение размеров земного шара (Эратосфен, Александрия).   |

- 140—120 Составление первых таблиц движения Солнца, Луны, звездного каталога, содержащего 1022 звезды, разделенных на звездные величины по видимой яркости (Гиппарх, Александрия).
- 46 Введение в Римской империи юлианского календаря (Созиген, Александрия).
- Годы н. э.**
- 150 Создание александрийским ученым Клавдием Птолемеем «Альмагеста» — известного труда, содержащего геоцентрическую систему мира.
- 1031 Определение окружности Земли Бируни (Хорезм).
- 1425 Под руководством Улугбека закончено строительство в окрестностях Самарканда величайшей в мире обсерватории.
- 1543 Выход в свет книги Н. Коперника «Об обращениях небесных сфер», в которой он утвердил гелиоцентрическую систему мира.
- 1582 Введение григорианского календаря в ряде стран Европы.
- 1584 Выход в свет труда Дж. Бруно «О бесконечности, Вселенной и мирах» (Италия).
- 1610 Начало астрономических наблюдений с телескопом (Г. Галилей, Италия).
- 1609—1619 Установление законов движения планет вокруг Солнца (И. Кеплер, Германия).
- 1632 Публикация знаменитого труда Г. Галилея «Диалог о двух главнейших системах мира — птолемеевой и коперниковой», в котором он защищал гелиоцентрическую систему мира Коперника.
- 1671—1673 Первое определение параллакса Солнца (9,5") по наблюдениям Марса в противостоянии (Д. Кассини, Ж. Рише, Франция).
- 1687 Создание теории тяготения (И. Ньютон, Англия).
- 1705 Установление периодичности возвращения некоторых комет (Э. Галлей, Англия).
- 1719 Открытие собственных движений звезд (Э. Галлей, Англия).
- 1755 Появление труда немецкого философа И. Канта «Общая естественная история и теория неба» с изложением космологических представлений и космогонической гипотезы (Германия).
- 1761 Открытие атмосферы Венеры (М. В. Ломоносов, Россия).
- 1781 Открытие планеты Уран (В. Гершель, Англия).
- 1783 Открытие движения Солнца среди звезд (В. Гершель, Англия).
- 1794 Установление космического происхождения метеоритов (Э. Хладни, Германия).
- 1796 Появление труда П. Лапласа «Изложение системы мира», содержащего космогоническую гипотезу (Франция).
- 1801 Открытие первой малой планеты — астероида Цереры (Д. Пиацци, Италия).
- 1814 Описание линий поглощения в спектре Солнца (Й. Фраунгофер, Германия).
- 1837—1839 Первые определения параллакса звезд (В. Я. Струве ( $\alpha$  Лиры, 1937 г.), Россия; Ф. Бессель (61 Лебеда, 1938 г.), Германия; Т. Гендерсон ( $\alpha$  Центавра, 1939 г.), Англия).

- 1843 Открытие смещения линий в спектрах приближающегося и удаляющегося (вследствие вращения) краев диска Солнца — эффект Доплера (Австрия).
- 1846 Открытие планеты Нептун (И. Галле, Германия).
- 1859—1862 Открытие спектрального анализа (Р. Бунзен, Г. Кирхгоф, Германия).
- 1860 Начало спектроскопии звезд (В. Хэггинс, Англия).
- 1863 Первая классификация спектров звезд (А. Секки, Италия).
- 1862—1904 Исследование физической природы комет, классификация кометных хвостов (Ф. А. Бредихин, Россия).
- 1868 Открытие гелия на Солнце (Н. Локьер, Англия).
- 1894 Доказательство метеоритного состава колец Сатурна (А. А. Белопольский, Россия).
- 1903 Начало разработки способов полета в мировое пространство (К. Э. Циолковский, Россия).
- 1900—1910 Экспериментальное доказательство давления света на пылевые частицы и газы (П. Н. Лебедев, Россия).
- 1905—1913 Обнаружение звезд-карликов и звезд-гигантов; диаграмма «спектр — светимость» (Э. Герцшпрунг, Дания; Г. Рессел, США).
- 1908 Открытие зависимости «период — светимость» у цефеид (Г. Ливитт, США).
- 1916 Начало теоретических исследований внутреннего строения звезд (А. Эддингтон, Англия).
- 1922—1924 Теоретическое обоснование нестационарности Вселенной (А. А. Фридман, СССР).
- 1924 Открытие вращения Галактики (Я. Оорт, Голландия).
- 1924 Разрешение (разделение) на звезды галактик М 31 и М 33; начало внегалактической астрономии (Э. Хаббл, США).
- 1929 Открытие «красного смещения» в спектрах галактик (Э. Хаббл, США).
- 1929 Окончательное доказательство существования поглощения света во Вселенной (Б. А. Воронцов-Вельяминов, СССР).
- 1930 Открытие Плутона (К. Томбо, США).
- 1931 Открытие космического радиоизлучения на длине волны 15 м (К. Янский, США).
- 1937 Создание теории ядерных реакций, происходящих в недрах звезд, как источников их энергии (Г. Бете, США).
- 1941 Изобретение телескопа нового типа (менискового) (Д. Д. Максудов, СССР).
- 1946 Радиолокация Луны.
- 1948 Открытие ядра Галактики при наблюдениях в инфракрасных лучах (А. А. Калиняк, В. И. Красовский, В. Б. Никонов, СССР).
- 1951 Обнаружение радиоизлучения межзвездного водорода на длине волны 21 см.
- 1952—1959 Изучение активности ядер галактик (В. А. Амбарцумян, СССР).

- 1957 Открытие взаимодействующих галактик (Б. А. Воронцов-Вельяминов, СССР).
- 1963 Открытие квазаров (М. Шмидт, США).
- 1965 Обнаружение реликтового радиоизлучения (А. Пензиас, Р. Вилсон, США).
- 1967 Открытие пульсаров (нейтронных звезд).
- 1976 Открытие колец Урана.
- 1979 Открытие колец Юпитера и действующих вулканов на спутнике Юпитера — Ио.

## IX. Важнейшие этапы освоения космического пространства

### 1957 г.

- 4 октября Вывод на орбиту первого искусственного спутника Земли (ИСЗ, «Спутник-1», СССР). Начало космической эры.

### 1958 г.

- 15 мая Вывод на орбиту первой научной лаборатории для проведения комплексных исследований («Спутник-3», СССР).

### 1959 г.

- 4 января Впервые космический аппарат развил вторую космическую скорость и стал первым искусственным спутником Солнца («Луна-1», СССР).

- 14 сентября Впервые космический аппарат достиг поверхности Луны («Луна-2», СССР).

- 7 октября Впервые космический аппарат облетел Луну и сфотографировал ее обратную сторону («Луна-3», СССР).

### 1960 г.

- 20 августа Первый ИСЗ с животными, опускаемая капсула которого возвращена на Землю («Корабль-спутник-2», СССР).

### 1961 г.

- 12 февраля Первый запуск космического аппарата в сторону Венеры («Венера-1», СССР).

- 12 апреля Первый полет человека в космос (Ю. А. Гагарин, корабль «Восток», СССР).

### 1962 г.

- 12—15 августа Первый одновременный полет двух космических кораблей (А. Г. Николаев, космический корабль «Восток-3» и П. Р. Попович, космический корабль «Восток-4»).

### 1963 г.

- 16—19 июня Первый полет женщины в космос (В. В. Терешкова, космический корабль «Восток-6», СССР).

### 1964 г.

- 12 октября Вывод на орбиту первого космического корабля с экипажем, состоящим из нескольких человек (В. М. Комаров, К. П. Феоктистов, Б. Б. Егоров, космический корабль «Восход», СССР).

### 1965 г.

- 18 марта Первый выход человека из космического корабля в открытый космос (А. А. Леонов, космический корабль «Восход-2», СССР).

**1966 г.**

- 3 февраля Первая мягкая посадка космического аппарата на Луну и передача на Землю телевизионного изображения панорамы лунной поверхности («Луна-9», СССР).
- 1 марта Первый межпланетный космический аппарат достиг Венеры («Венера-3», СССР).
- 3 апреля Первый искусственный спутник Луны («Луна-10», СССР).

**1967 г.**

- 27 января Подписание Договора о принципах деятельности государства по исследованию и использованию космического пространства, включая Луну и другие небесные тела.
- 18 октября Первый плавный спуск космического аппарата в атмосфере другой планеты («Венера-4», СССР).
- 30 октября Первая автоматическая стыковка двух ИСЗ («Космос-186» и «Космос-188», СССР).

**1968 г.**

- 22 апреля Подписание Соглашения о спасении космонавтов, возвращении космонавтов и объектов, запускаемых в космическое пространство.

**1969 г.**

- 21 июля Первый выход людей на поверхность Луны (Н. Армстронг, Э. Олдрин, космический корабль «Аполлон-11», США).
- 14 октября Вывод на орбиту ИСЗ социалистических стран («Интеркосмос-1»).

**1970 г.**

- 24 сентября Первая доставка на Землю лунного грунта автоматическим космическим аппаратом («Луна-16», СССР).
- 17 ноября Доставка на Луну первого самоходного аппарата «Луноход-1» («Луна-17», СССР).
- 15 декабря Первая мягкая посадка межпланетного космического аппарата на Венеру («Венера-7», СССР).

**1971 г.**

- 19 апреля Вывод на орбиту первой орбитальной станции («Салют», СССР).
- 27 ноября Первый межпланетный космический аппарат достиг поверхности Марса («Марс-2», СССР).
- 2 декабря Первая мягкая посадка межпланетного космического аппарата на Марс («Марс-3», СССР).

**1973 г.**

- 4 декабря Первые исследования Юпитера межпланетным космическим аппаратом с пролетной траектории («Пионер-10», США).

**1974 г.**

- 29 марта Первые исследования Меркурия межпланетным космическим аппаратом с пролетной траектории («Маринер-10», США).

**1975 г.**

- 17 июля Первая стыковка двух пилотируемых космических кораблей разных стран (А. А. Леонов, В. Н. Кубасов, «Союз-19», СССР; Т. Стаффорд, Д. Слейтон, В. Бранд, «Аполлон», США).



- 22 октября Вывод на орбиту вокруг Венеры первого искусственного спутника, первая передача на Землю телевизионного изображения поверхности Венеры («Венера-9», СССР).
- 1976 г.**
- 20 июля Первые исследования на поверхности Марса межпланетным космическим аппаратом («Викинг-1», США).
- 1978 г.**
- 2 марта Вывод на орбиту первого международного экипажа на космическом корабле «Союз-28» и переход его на станцию «Салют-6» (А. А. Губарев, СССР; В. Ремек, ЧССР).
- 1979 г.**
- 1 сентября Первые исследования Сатурна межпланетным космическим аппаратом с пролетной траектории («Пионер-11», США).
- 18 декабря Подписание Соглашения о деятельности государств на Луне и других небесных телах.
- 1983 г.**
- 10 и 14 октября Вывод на орбиту вокруг Венеры космических аппаратов «Венера-15» и «Венера-16» и радиолокационное картографирование планеты (СССР).
- 1984 г.**
- 8 февраля — 2 октября Наиболее продолжительный полет в космосе (236 сут 22 ч 49 мин, Л. Д. Кизим, В. А. Соловьев, О. Ю. Атьков, космические корабли «Союз Т-10», «Союз Т-11», станция «Салют-7», СССР).
- 15, 21 декабря Запуск межпланетных космических аппаратов «Вега-1» и «Вега-2» с целью исследования Венеры и кометы Галлея (СССР).
- 1985 г.**
- июнь Аэростатное зондирование атмосферы Венеры (космические аппараты «Вега-1» и «Вега-2», СССР).
- 1986 г.**
- январь Первые исследования Урана межпланетными космическими аппаратами с пролетной траектории («Вояджер-2», США).
- март Исследование кометы Галлея космическими аппаратами с пролетной траектории («Вега-1» и «Вега-2», СССР).

## **Х. Список рекомендуемой литературы**

### *1. Книги по различным вопросам курса астрономии*

- Бялко А. В. Наша планета — Земля.— М.: Наука, 1983.
- Воронцов-Вельяминов Б. А. Лаплас.— М.: Наука, 1985.
- Воронцов-Вельяминов Б. А. Очерки о Вселенной.— М.: Наука, 1980.
- Дагаев М. М. Книга для чтения по астрономии.— М.: Просвещение, 1980.
- Еремеева А. И. Астрономическая картина мира и ее творцы.— М.: Наука, 1984.
- Ефремов Ю. Н. В глубины Вселенной.— М.: Наука, 1984.
- Засов А. В. Карликовые галактики.— М.: Знание, 1984.
- Климишин И. А. Астрономия наших дней.— М.: Наука, 1980.

- Кононович Э. В. Солнце — дневная звезда.— М.: Просвещение, 1982.
- Кузьмин А. Д. Планета Венера.— М.: Наука, 1981.
- Мирошниченко Л. И. Солнечная активность и Земля.— М.: Наука, 1981.
- Михайлов А. А. Земля и ее вращение.— М.: Наука, 1984.
- Метлов В. Г. Взаимодействующие галактики.— М.: Знание, 1985.
- Новиков И. Д. Эволюция Вселенной.— М.: Наука, 1983.
- Силкин Б. И. В мире множества лун.— М.: Наука, 1982.
- Симоненко А. Н. Метеориты — осколки астероидов.— М.: Наука, 1979.
- Шкловский И. С. Вселенная, жизнь, разум.— М.: Наука, 1984.

*II. Пособия по проведению наблюдений  
и изготовлению самодельных приборов и инструментов*

- Андреанов Н. К., Марленский А. Д. Астрономические наблюдения в школе.— М.: Просвещение, 1987.
- Воронцов-Вельяминов Б. А. Сборник задач по астрономии.— М.: Просвещение, 1980.
- Дагаев М. М. Наблюдения звездного неба.— М.: Наука, 1983.
- Зигель Ф. Ю. Звездная азбука.— М.: Просвещение, 1980.
- Навашин М. С. Телескоп астронома-любителя.— М.: Наука, 1979.
- Сикорук Л. Л. Телескоп для любителей астрономии.— М.: Наука, 1982.
- Чурюмов К. И. Кометы и их наблюдения.— М.: Наука, 1980.
- Шевченко В. В. Луна и ее наблюдения.— М.: Наука, 1983.
- Школьный астрономический календарь/Сост. М. М. Дагаев.— М.: Просвещение (издается на каждый учебный год).
- Энциклопедический словарь юного астронома.— М.: Педагогика, 1980.

## ОТВЕТЫ К УПРАЖНЕНИЯМ

- Упр. 1. 3.  $138^\circ 47' 45''$ .
- Упр. 3. 1.  $4^\circ$ . 2.  $\delta = \varphi$ ;  $\delta = -(90^\circ - \varphi)$ . 4.  $\delta > (90^\circ - \varphi)$ ;  $\delta < (90^\circ - \varphi)$ .
- Упр. 4. 1.  $23^\circ 27'$ . 2. 21 марта и 23 сентября. 3.  $66^\circ 33'$ .
- Упр. 5. 1. На западе. 3. Через 27,3 сут.
- Упр. 7. 1. Через 398 сут. 2. Либо  $3/4$ , либо  $3/2$  года. 3. 2 года.
- Упр. 8. 1. 687 сут. 2.  $\approx 2,4$  ч.  
3. Для внутренней планеты 0,69 а. е., для внешней — 2,4 а. е.
- Упр. 9. 1.  $\approx 3$  м. 2. 1854 м.
- Упр. 10. 1.  $2,2''$ . 2.  $\approx 1^\circ$ ;  $\approx 54'$ .
- Упр. 11. 1.  $\approx 389$  раз. 2.  $45''$ . 3.  $\approx 16$  раз. 5. Для Земли 1,03, для Марса 1,2.
- Упр. 12. 1.  $\approx 4,4 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. 2.  $6 \cdot 10^{24}$  кг.
- Упр. 13. 1.  $\approx 320 M_\oplus$ . 2. Для точки, лежащей между Землей и Луной,  $54 R_\oplus$ , для точки, лежащей на линии Земля — Луна, за Луной,  $67,5 R_\oplus$ .
- Упр. 14. 2.  $\approx 48$  км/с.
- Упр. 15. 2.  $\approx 1,9$  км.
- Упр. 16. 1.  $\approx 145$  км. 2.  $20'$ .
- Упр. 17. 2.  $\approx 18$  а. е. 4. 2,2 м.
- Упр. 18. 1.  $\approx 3,3 \cdot 10^{10}$  Дж. 2.  $\approx 2 \cdot 10^{-4}$  Вт/кг.
- Упр. 19. 2.  $\approx 3300$  К.
- Упр. 20. 1. В  $\approx 11,6$  раза; в  $\approx 10^{10}$  раз. 2.  $m_2 - m_1 \approx 3$ . 3.  $\approx 29,3$  св. лет.  
4. 145 000 лет. 5. В 100 раз,  $M_1 = 1$ ,  $M_2 = 6$ .
- Упр. 21. 1. 7,5 массы Солнца. 2. 257 сут. 3.  $\approx 10$  масс Солнца.
- Упр. 22. 1. В 14 000 раз. 2.  $\approx 1,5 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup>.
- Упр. 23. 1. В 100 раз. 2.  $\approx 6 \cdot 10^3$  пк.
- Упр. 24. 1.  $10^4$  пк; 3 пк; 20.
- Упр. 25. 1.  $\approx 5$  км/с. 2.  $\approx 11$  км/с.
- Упр. 26. 1. 150 Мпк; 15 000 пк. 2.  $10^6$  пк; 100 км/с.

- Азимут 9  
 Алголь 107—109  
 Амбарцумян В. А. 123, 136  
 Апекс 124  
 Ассоциации звездные 123  
 Астероиды 32, 80  
 Астрономическая единица 38, 41  
 Астрономия 3  
   — внеатмосферная 56  
 Афелий 37  
  
**Базис** 39, 40  
 Белопольский А. А. 79  
 Болид 81  
 Бредихин Ф. А. 85  
 Бруно Дж. 32  
  
**Венера** 32, 70—72  
 Возмущения 45  
 Вселенная 4  
   — расширение 138  
 Высота 9  
   — полюса мира 16  
   — светил в кульминации 17  
  
**Галактика** 4, 119  
   — вращение 127  
   — размеры 120  
**Галактики** 4, 132—136  
 Галактическая плоскость 119  
 Галилей Г. 31  
 Гершель В. 119, 121, 131  
 Год солнечный 28  
 Гранулы 96  
  
**Диаграмма Герцшпрунга — Рессела**  
 («цвет — светимость») 117  
 Доплера эффект 55  
  
**Зависимость «масса — светимость»** 116  
**Затмения** 25  
**Звездная величина** 11, 102  
**Звездные скопления** 121  
**Звезды** 4, 11  
   — белые карлики 111, 117  
   — визуально-двойные 105  
   — движение собственное 123  
   — затменно-двойные 107  
   — красные гиганты 103, 117  
   — красные карлики 101, 111  
   — нейтронные 118  
   — новые 114, 117  
   — оптически-двойные 105  
   — переменные 112  
   — плотность 110, 111  
   — размер 110  
   — сверхгиганты 103, 110, 117  
   — сверхновые 115  
   — светимость 102, 116  
   — спектрально-двойные 107  
   — температура 103, 104  
   — цвет 11, 103  
   — цефеиды 112, 113  
   — эволюция 116, 117  
**Земля** 3, 32  
   — атмосфера 60  
   — магнитное поле 61  
   — масса 48  
   — размер 40  
   — строение 59  
   — форма 40  
**Зенит** 12  
  
**Календарь** 27—29  
   — григорианский 29  
   — юлианский 29  
**Квазары** 137  
**Кеплер И.** 37, 38  
**Кеплера законы** 37, 38  
**Кометы** 32, 82—85  
**Конфигурации планет** 34  
**Коперник Н.** 30, 31  
**Космические лучи** 129  
**Космогония** 88  
**Космология** 138  
**Красное смещение** 132, 133  
**Кульминация** 17  
**Ломоносов М. В.** 32  
**Луна** 4, 19—23, 64—67  
   — движение 19—21  
   — — видимое 23  
   — рельеф 64  
   — фазы 23  
   — физические условия 64  
**Магнитная буря** 62  
**Марс** 32, 72—74  
**Межзвездная пыль** 125, 126  
**Межзвездное поглощение** 125  
**Меркурий** 32, 69  
**Месяц сидерический** 23  
   — синодический 24

- Метагалактика 138  
Метеор 86  
Метеорит 81  
Метеорные тела 33, 81  
Млечный Путь 119
- Надир** 12  
Небесная сфера 11, 12  
Небесный меридиан 14  
— экватор 14  
Нейтральный водород 129, 130  
Нептун 32, 46
- Обсерватория** 50  
Орбиты планет 44  
Ось мира 13
- Параллакс** 41  
— годичный 100  
— горизонтальный 41  
— Луны 41  
— Солнца 41
- Параллактическое смещение 39  
Парсек 101  
Пепельный свет 23  
Перигелий 37  
Период обращения планет  
взвездный (сидерический) 35, 36  
— — синодический 35, 36
- Планеты 4, 22, 32  
— внутренние 34  
— гиганты 58, 75  
— движение 22, 31  
— земной группы 58, 69  
— кольца 76  
— спутники 76
- Плоскость горизонта 12  
Плутон 32, 76  
Полдень истинный 18, 28  
Полуденная линия 13  
Полюс мира 12  
Полярное сияние 26  
Последовательности звездные 117  
Пояс зодиака 21  
Приливы 46, 47  
Противостояние 35  
Протозвезды 128  
Протуберанцы 99  
Прямое восхождение 15  
Птолемей К. 30  
Пульсары 118
- Равноденствие** (весеннее и осеннее) 20  
Радиант 87  
Радиационный пояс 61  
Радиогалактика 137  
Радиоизлучение 51, 57, 129  
Радиотелескопы 50—52
- Сатурн** 32, 75, 77, 79  
Синхротронное излучение 116, 130, 137
- Система мира гелиоцентрическая (Коперника) 30  
— — геоцентрическая (Птоле-  
мея) 30  
Склонение 15  
Скорости космические 44  
Скорость лучевая 124  
— пространственная 123  
— тангенциальная 124  
Соединение 34  
Созвездия 10  
— зодиакальные 21  
Солнечная корона 96  
Солнечная система 4, 32, 33  
— — движение 124  
Солнечные вспышки 98  
— пятна 97  
— факелы 97  
Солнечный ветер 85, 96  
Солнце 4, 19—21, 33  
— активность 95  
— атмосфера 95, 96  
— движение 19—21  
— строение 93  
— энергия 92  
Солнцестояние (летнее и зимнее) 21  
Спектр 53—56  
— звезд 103, 104  
Спектральный анализ 52  
Струве В. Я. 41, 101, 125, 128  
Сутки солнечные 27  
Суточное движение светил 16
- Телескоп** 6—8  
— менисковый 6  
— рефлектор 6  
— рефрактор 6
- Терминатор 65  
Точка весеннего равноденствия 15  
Туманности 126, 127  
— диффузные 127  
— планетарные 127  
— светлые 127  
— темные 126  
Туманность Андромеды 131, 132  
— Крабовидная 115, 118
- Угловое расстояние** 9  
Уран 32, 78, 79
- Фотосфера** 95
- Хаббла закон** 132  
— постоянная 132, 133  
Хромосфера 96
- Шмидт О. Ю.** 89
- Эклиптика** 19, 20  
**Эксцентриситет** 37
- Юпитер** 32, 75, 77—79

# ОГЛАВЛЕНИЕ

## I. ВВЕДЕНИЕ

<b>1. Предмет астрономии</b> . . . . .	3
1. Что изучает астрономия. Связь астрономии с другими науками, ее значение . . . . .	—
2. Масштабы Вселенной . . . . .	4
<b>2. Астрономические наблюдения и телескопы</b> . . . . .	6
1. Телескопы . . . . .	—
2. Особенности астрономических наблюдений . . . . .	8
3. Ваши наблюдения . . . . .	9

## II. ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АСТРОНОМИИ

<b>3. Созвездия. Звездные карты. Небесные координаты</b> . . . . .	10
1. Созвездия . . . . .	—
2. Видимая яркость и цвет звезд . . . . .	—
3. Видимое суточное движение звезд. Небесная сфера . . . . .	11
4. Звездные карты и небесные координаты . . . . .	14
<b>4. Определение географической широты по астрономическим наблюдениям</b> . . . . .	16
1. Высота полюса мира над горизонтом . . . . .	—
2. Суточное движение светил на различных широтах . . . . .	—
3. Высота светил в кульминации . . . . .	17
<b>5. Эклиптика. Видимое движение Солнца и Луны</b> . . . . .	19
<b>6. Движение Луны. Солнечные и лунные затмения</b> . . . . .	23
1. Фазы Луны . . . . .	—
2. Лунные и солнечные затмения . . . . .	25
<b>7. Время и календарь</b> . . . . .	27
1. Точное время и определение географической долготы . . . . .	—
2. Календарь . . . . .	28

## III. ДВИЖЕНИЕ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ

<b>8. Борьба за научное мировоззрение</b> . . . . .	30
<b>9. Состав и масштабы Солнечной системы</b> . . . . .	32
<b>10. Конфигурации и условия видимости планет</b> . . . . .	34
1. Конфигурации планет . . . . .	—
2. Синодические периоды обращения планет и их связь с сидерическими периодами . . . . .	35
<b>11. Законы Кеплера</b> . . . . .	37

<b>12. Определение расстояний и размеров тел в Солнечной системе</b>	39
1. Определение расстояний	—
2. Размер и форма Земли	40
3. Параллакс. Значение астрономической единицы	41
4. Определение размеров светил	42
<b>13. Движение небесных тел под действием сил тяготения</b>	44
1. Космические скорости и форма орбит	—
2. Возмущения в движении планет	45
3. Открытие Нептуна	46
4. Приливы	—
5. Масса и плотность Земли	48
6. Определение масс небесных тел	—
<b>IV. МЕТОДЫ АСТРОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ</b>	
<b>14. Исследование электромагнитного излучения небесных тел. Определение физических свойств и скорости движения небесных тел по их спектрам</b>	50
1. Обсерватории	—
2. Радиотелескопы	—
3. Применение спектрального анализа	52
4. Внеатмосферная астрономия	56
<b>V. ПРИРОДА ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ</b>	
<b>15. Общие характеристики планет. Физическая обусловленность их природы</b>	58
<b>16. Планета Земля</b>	59
1. Строение	—
2. Атмосфера	60
3. Магнитное поле	61
4. Достижения СССР и международное сотрудничество в мирном освоении космического пространства	62
<b>17. Луна — естественный спутник Земли</b>	64
1. Физические условия на Луне	—
2. Рельеф	—
<b>18. Планеты земной группы</b>	69
1. Меркурий	—
2. Венера	70
3. Марс	72
<b>19. Планеты-гиганты</b>	75
1. Особенности планет-гигантов	—
2. Спутники и кольца планет	76
<b>20. Малые тела Солнечной системы</b>	80
1. Астероиды	—
2. Болиды и метеориты	81
3. Кометы. Их открытие и движение	82
4. Физическая природа комет	84
5. Метеоры и метеорные потоки	86

<b>21. Солнечная система — комплекс тел, имеющих общее происхождение</b>	88
<b>VI. СОЛНЦЕ И ЗВЕЗДЫ</b>	
<b>22. Солнце — ближайшая звезда</b>	92
1. Энергия Солнца	—
2. Строение Солнца	93
3. Солнечная атмосфера и солнечная активность	95
4. Солнечно-земные связи	99
<b>23. Определение расстояний до звезд. Их основные характеристики</b>	100
1. Годи́чный параллакс и расстояния до звезд	—
2. Видимая и абсолютная звездная величина. Светимость звезд	102
3. Цвет, спектры и температура звезд	103
<b>24. Массы и размеры звезд</b>	105
1. Двойные звезды. Массы звезд	—
2. Размеры звезд. Плотность их вещества	110
<b>25. Переменные и нестационарные звезды</b>	112
1. Цефеиды	—
2. Новые звезды	114
3. Сверхновые звезды	115
<b>26. Важнейшие закономерности в мире звезд. Эволюция звезд</b>	116
<b>VII. СТРОЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ</b>	
<b>27. Наша Галактика</b>	119
1. Млечный Путь и Галактика	—
2. Звездные скопления и ассоциации	121
3. Движения звезд в Галактике	123
4. Движение Солнечной системы	124
5. Вращение Галактики	125
<b>28. Диффузная материя</b>	125
1. Межзвездная пыль и газ	—
2. Возникновение звезд	128
3. Нейтральный водород и молекулярный газ	129
4. Магнитное поле, космические лучи и радиоизлучение	—
<b>29. Другие звездные системы — галактики</b>	131
1. Основные характеристики галактик	—
2. Радиогалактики и квазары	137
<b>30. Материалистическая картина мира</b>	138
Метагалактика и космология	—
Приложения	142
Ответы к упражнениям	154
Предметно-именной указатель	155



№	Фамилия и имя ученика	Учебный год	Состояние учебника	
			в начале года	в конце года
1				
2				
3				
4				

Учебное издание

**Воронцов-Вельяминов Борис Александрович****АСТРОНОМИЯ****Учебник для 11 класса средней школы**

Зав. редакцией *И. А. Иванов*  
 Спец. редакторы *А. В. Засов, Е. К. Страут*  
 Редактор *Л. С. Мордовцева*  
 Младший редактор *О. В. Агапова*  
 Редактор карт *В. Б. Кузнецов*  
 Художник-картограф *А. В. Макарова*  
 Художник *С. Ф. Лухин*  
 Художественный редактор *В. М. Прокофьев*  
 Технический редактор *Е. В. Богданова*  
 Корректоры *Н. В. Красильникова, Л. А. Ежова*

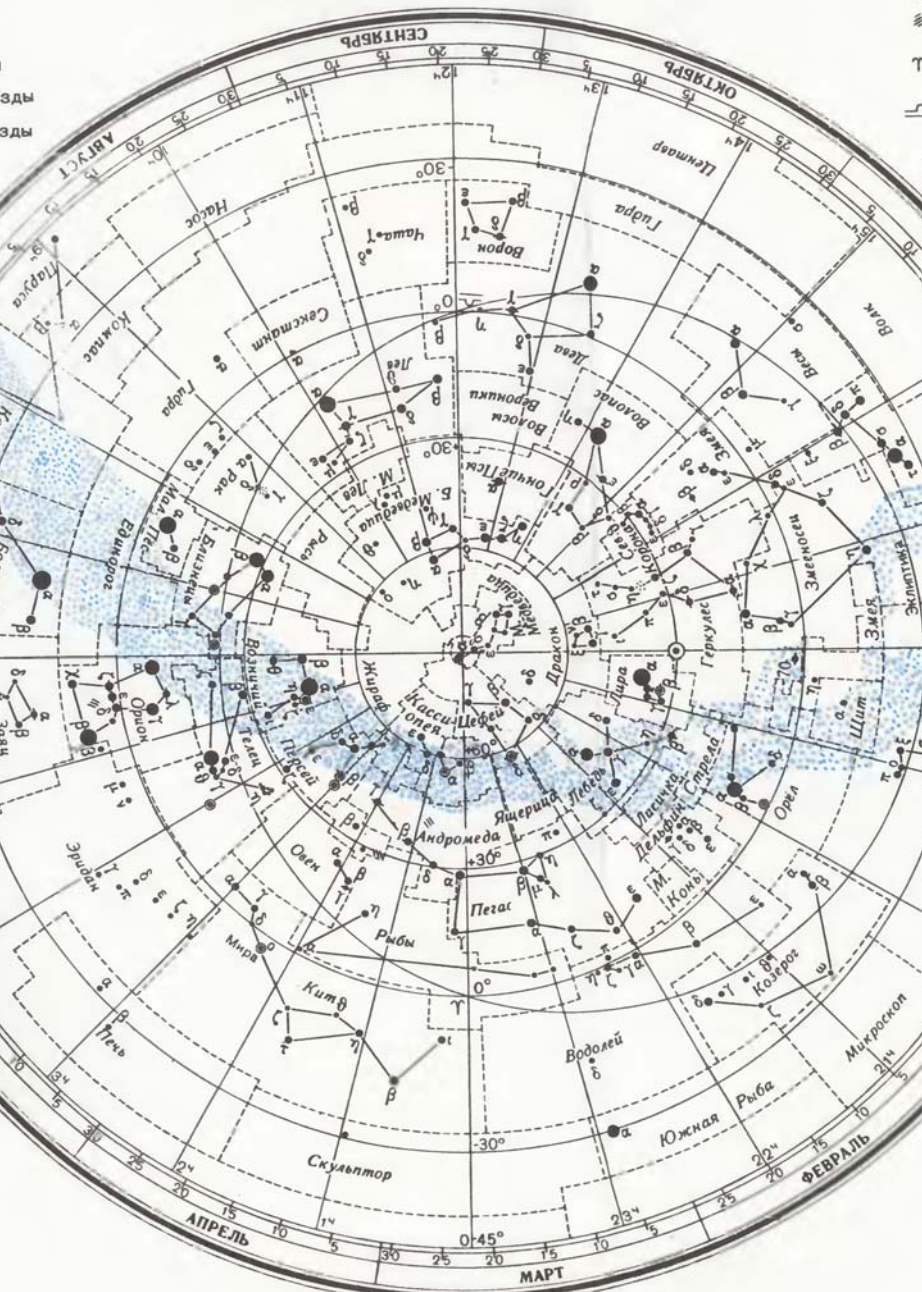
ИБ № 12130

Подписано к печати с диапозитивов 05.11.87. Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бум. офсетная. Гарнит. литературная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 10+0,31 форз.+0,22 вкл. Усл. кр.-отт. 42,2. Уч.-изд. л. 10,68+0,52 форз.+0,19. вкл. Цена 50 коп. Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Просвещение» Государственного комитета РСФСР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 129846, Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.

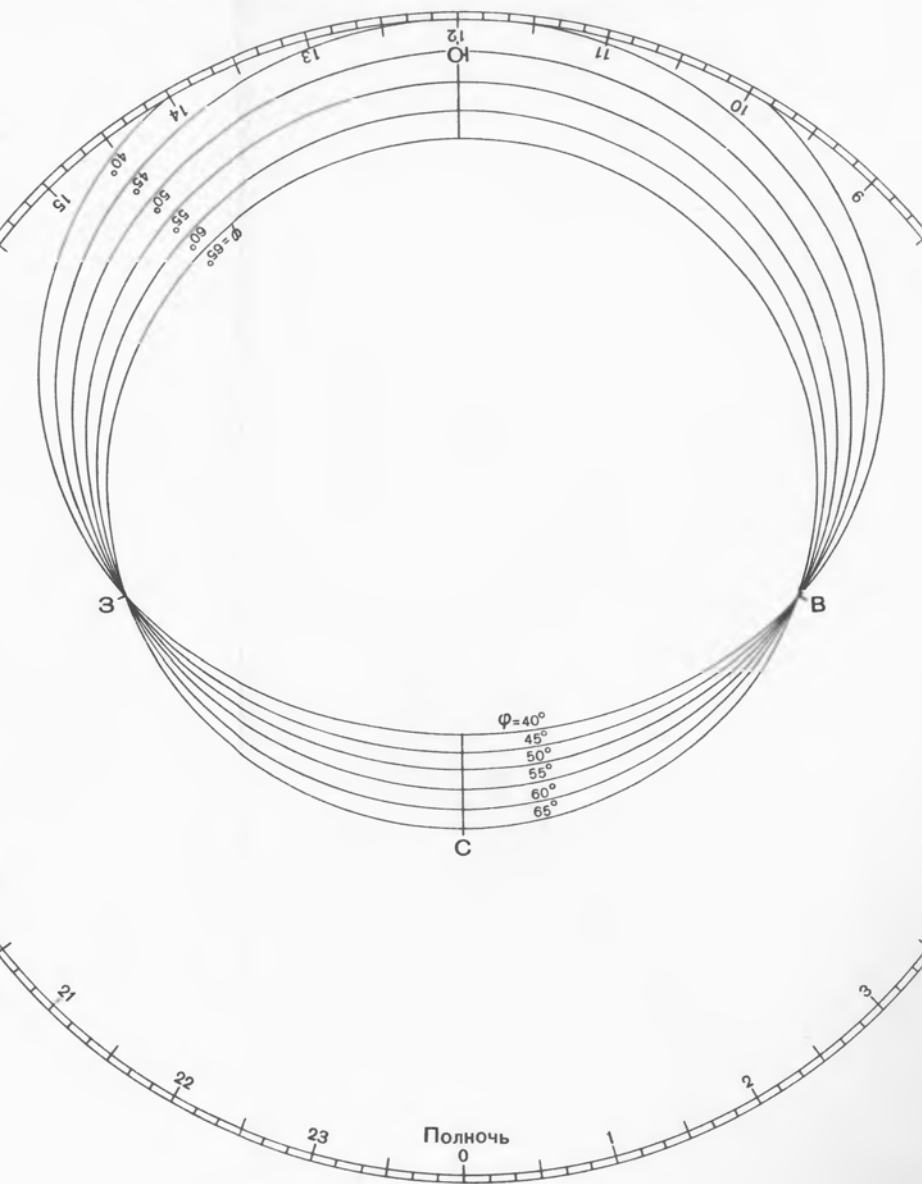
Отпечатано при посредстве В/О «Внешторгиздат». Отпечатано Карл-Маркс-Верк, Пёснек, ГДР  
 Gedruckt bei Karl-Marx-Werk, Pössneck, DDR



# ПОДВИЖНАЯ КАРТА ЗВЕЗДНОГО НЕБА



# НАКЛАДНОЙ КРУГ К КАРТЕ ЗВЕЗДНОГО НЕБА



50 коп.

