



Б.А. Воронцов-Вельяминов

10 АСТРОНОМИЯ



Марс (вид в телескоп).

Полярные шапки Марса.

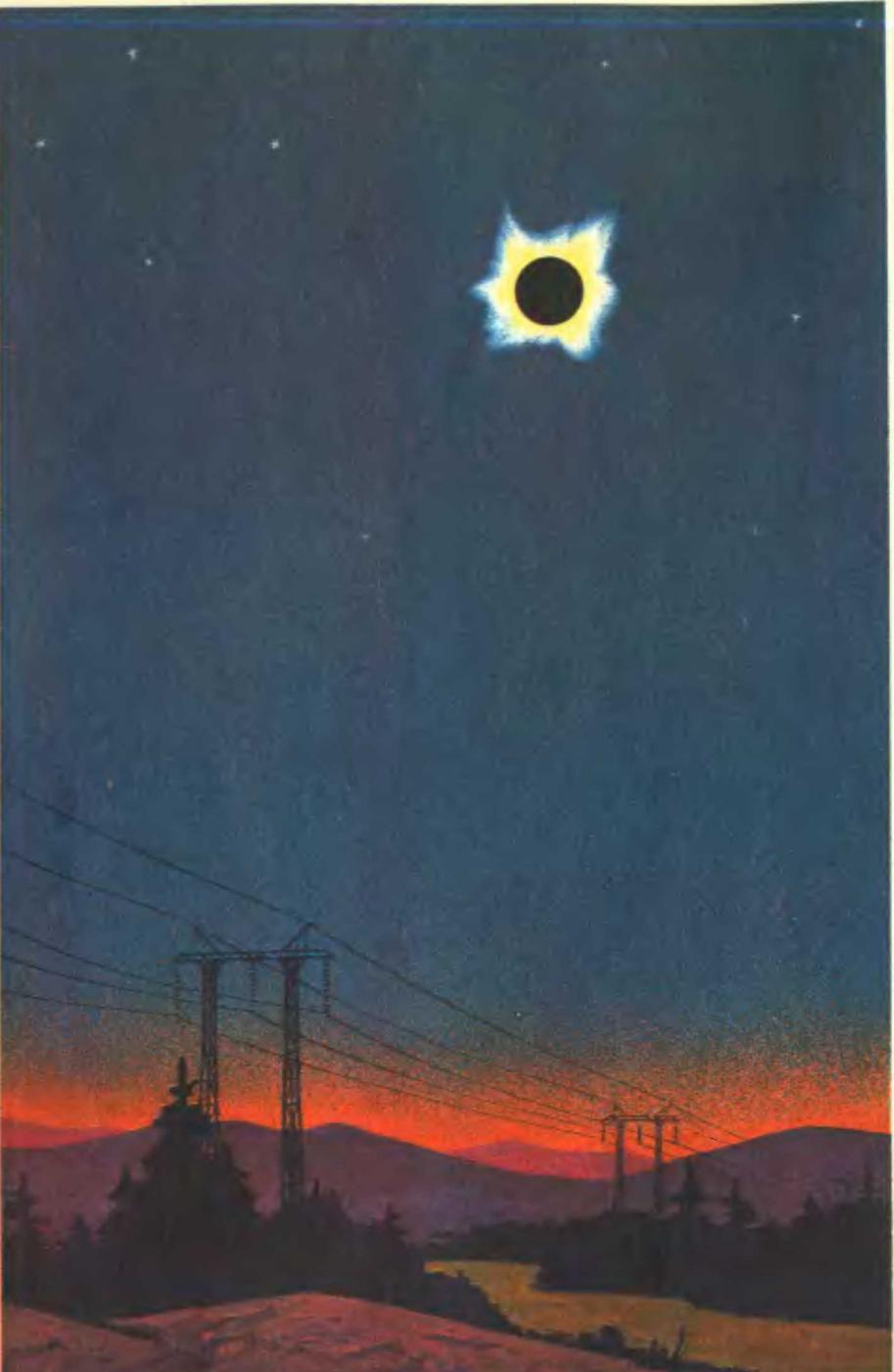


Спутник Юпитера.

Юпитер.

Сатурн (цвета искусственно усилены).





Б.А. ВОРОНЦОВ-ВЕЛЬЯМИНОВ

АСТРОНОМИЯ

10

УЧЕБНИК для
КЛАССА
СРЕДНЕЙ ШКОЛЫ

ИЗДАНИЕ ПЯТНАДЦАТОЕ,
ПЕРЕРАБОТАНОЕ

Утвержден
Министерством просвещения СССР

МОСКВА «ПРОСВЕЩЕНИЕ» 1983

1. ПРЕДМЕТ АСТРОНОМИИ

Астрономия¹ — 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.

Современная астрономия тесно связана с математикой и физикой, с биологией и химией, с географией, геологией и с космонавтикой. Используя достижения других наук, она в свою очередь обогащает их, стимулирует их развитие, выдвигая перед ними все новые задачи. Астрономия изучает в космосе вещество в таких состояниях и масштабах, какие неосуществимы в лабораториях, и этим расширяет физическую картину мира, наши представления о материи. Все это важно для развития диалектико-материалистического представления о природе. Научившись предвьючивать наступление затмений Солнца и Луны, появление комет, астрономия полу-

В 4306021200—171 инф. письмо
103(03)—83

© Издательство «Просвещение», 1983 г.

¹ Это слово происходит от двух греческих слов: ἀστρον — светило, звезда и νόμος — закон.

жила начало борьбе с религиозными предрассудками. Показывая возможность естественнонаучного объяснения возникновения и изменения Земли и других небесных тел, астрономия способствует развитию марксистской философии.

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

Изучая астрономию, необходимо обращать внимание на то, какие сведения являются достоверными фактами, а какие — научными предположениями, которые со временем могут измениться. Важно, что предела человеческому познанию нет. Вот один из примеров того, как это показывает жизнь.

В прошлом веке один философ-идеалист решился утверждать, что возможности человеческого познания ограничены. Он говорил, что, хотя люди и измерили расстояния до некоторых светил, химический состав звезд они никогда не смогут определить. 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 на Луне, затем измерили ее с Земли при помощи термоэлемента и радиометодов, потом эти данные получили подтверждение от приборов автоматических станций, изготовленных и посланных людьми на Луну.

2. АСТРОНОМИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ И ТЕЛЕСКОПЫ

1. Особенности астрономических наблюдений. В основе астрономии лежат наблюдения, производимые с Земли и лишь с 60-х годов нашего века выполняемые из космоса — с автоматических и других космических станций и даже с Луны. Аппараты сделали возможным получение проб лунного грунта, доставку разных приборов и даже высадку людей на Луну. Но так пока можно исследовать только ближайшие к Земле небесные светила. Играя такую же роль, как опыты в физике и химии, наблюдения в астрономии 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 физике, биологии, химии. Лишь использование космических аппаратов дало в этом отношении некоторые возможности.

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 заметным лишь по истечении сотен лет. Поэтому для нас не потеряли своего значения некоторые наблюдения, произведшиеся в Вавилоне и в Китае тысячи лет назад, хотя они и были, по современным понятиям, очень неточными.



Рис. 1. Угловые измерения на небе и высота светила над горизонтом.



Рис. 2. Теодолит.

Вторая особенность астрономических наблюдений состоит в следующем. Мы наблюдаем положение небесных тел и их движение с Земли, которая сама находится в движении. Поэтому вид неба для земного наблюдателя зависит не только от того, в каком месте Земли он находится, 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 при наблюдениях обычно выполняют угловые измерения и уже по ним часто делают выводы о линейных расстояниях и размерах тел.

Расстояние между объектами на небе (например, звездами) измеряют углом, образованным лучами, идущими к объектам из точки наблюдения. 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 друг другу направления, по которым мы их видим (рис. 1, звезды A и B). Возможно, что третья звезда C, на небе более далекая от A, в пространстве к A ближе, чем звезда B.

Угловое расстояние светила от горизонта называется высотой h (рис. 1) светила над горизонтом. Она выражается только в угловых единицах.

Измерения высоты, углового расстояния объекта от горизонта, выполняют специальными угломерными оптическими инструментами, например теодолитом. Теодолит — это инструмент, основной частью которого служит зрительная труба, вращающаяся около вертикальной и горизонтальной осей (рис. 2). С осями



Рис. 3. При суточном вращении неба звезды в восточной стороне неба перемещаются вправо и вверх.

скреплены круги, разделенные на градусы и минуты дуги. По этим кругам отсчитывают направление зрительной трубы. На кораблях и на самолетах угловые измерения выполняют прибором, называемым секстантом (секстантом).

Видимые размеры небесных объектов также можно выразить в угловых единицах. Диаметры Солнца и Луны в угловой мере примерно одинаковы — около $0,5^\circ$, а в линейных единицах Солнце больше Луны по диаметру примерно в 400 раз, но оно во столько же раз от Земли дальше. Поэтому их угловые диаметры для нас почти равны.

Как определяют линейные расстояния до небесных тел и их линейные размеры, будет рассказано в § 12 и 22.

2. Ваши наблюдения. Для лучшего усвоения астрономии вы должны как можно раньше приступить к наблюдениям небесных явлений и светил. Указания к наблюдениям невооруженным глазом даны в приложении VI. Нахождение созвездий, ориентировку на местности по Полярной звезде, знакомую вам из курса физической географии, и наблюдение суточного вращения неба (рис. 3 и 4) удобно выполнять с помощью подвижной карты звездного неба, приложенной к учебнику. Для приближенной оценки угловых расстояний на небе полезно знать, что угловое расстояние между двумя звездами «ковша» (α и β , рис. 4) Большой Медведицы равно примерно 5° .

Прежде всего надо ознакомиться с видом звездного неба, найти на нем планеты и убедиться в их перемещении относительно звезд или Солнца в течение 1—2 месяцев. (Об условиях видимости планет и некоторых небесных явлениях говорится в школьном астрономическом календаре на данный год.) Наряду с этим надо ознакомиться в телескоп с рельефом Луны, с солнечными пятнами, а затем уже и с другими светилами и явлениями, о которых сказано в приложении VI. Для этого ниже дается представление о телескопе.



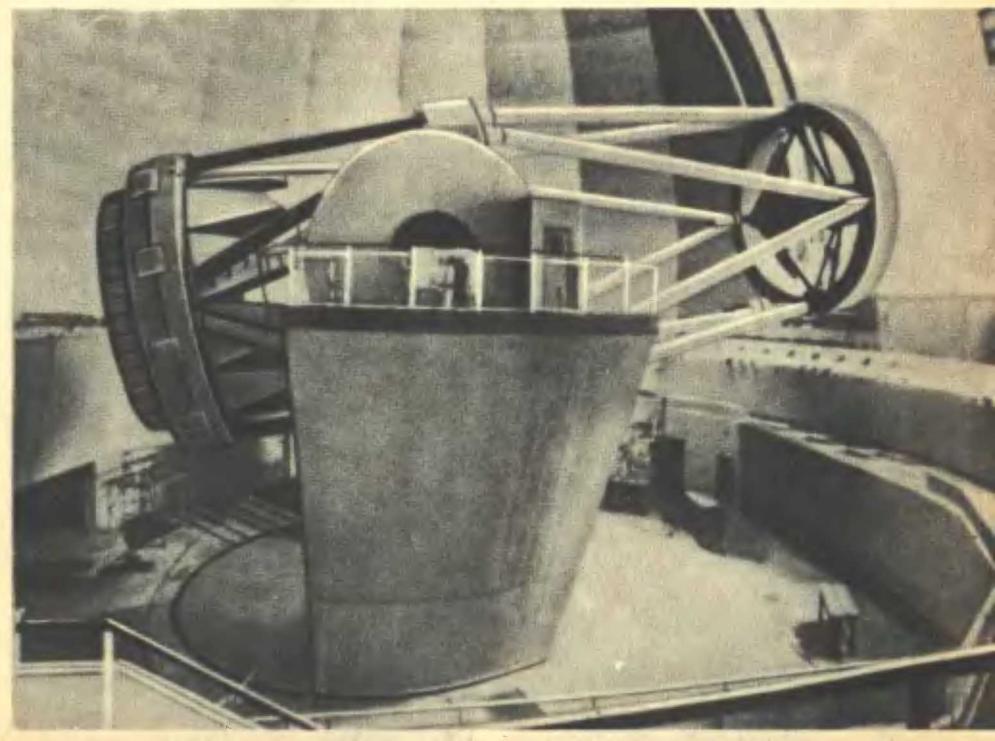
Рис. 4. Изменение положения созвездий Большой и Малой Медведицы относительно горизонта при суточном вращении неба.

3. Телескопы. Основным астрономическим прибором является телескоп. Телескоп с объективом из вогнутого зеркала называется рефлектором (рис. 5), а телескоп с объективом из линз — рефрактором (рис. 6).

Назначение телескопа — собрать больше света от небесных источников и увеличить угол зрения, под которым виден небесный объект.

Количество света, которое попадает в телескоп от наблюдателя,

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



емого объекта, пропорционально площади объектива. Чем больше размер объектива телескопа, тем более слабые светящиеся объекты в него можно увидеть.

Масштаб изображения, даваемого объективом телескопа, пропорционален фокусному расстоянию объектива, т. е. расстоянию от объектива, собирающего свет, до той плоскости, где получается изображение светила. Изображение небесного объекта можно фотографировать или рассматривать через окуляр (рис. 7).

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

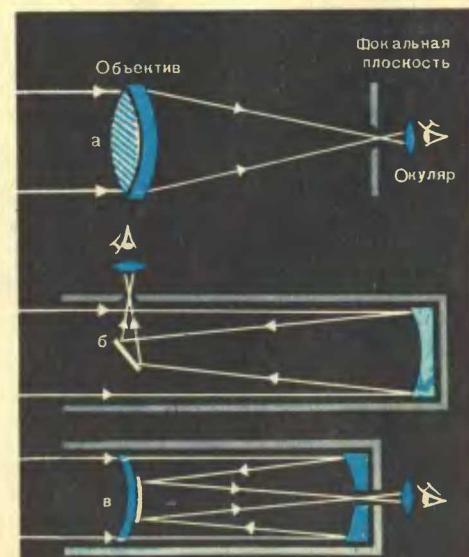
В рефракторе лучи, пройдя через объектив, преломляются, образуя изображение объекта в фокальной плоскости (рис. 7, а). В рефлекторе лучи от вогнутого зеркала отражаются и потом также собираются в фокальной плоскости (рис. 7, б). При изготовлении объектива телескопа стремятся свести к минимуму все искажения, которыми неизбежно обладает изображение объектов. Простая линза сильно искажает и окрашивает края изображения. Для уменьшения этих недостатков объектив изготавливают из нескольких линз с разной кривизной поверхностей и из разных сортов стекла. Поверхности вогнутого стеклянного зеркала, которая серебрится или алюминируется, придают для уменьшения искажений не сферическую форму, а несколько иную (параболическую).

Советский оптик Д. Д. Максутов 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 —

Рис. 6. Двойной рефрактор-астрограф Московского университета для рассматривания и фотографирования небесных светил.



Рис. 7. Схемы хода лучей в телескопах:
а — рефрактор; б — рефлектор;
в — менисковый телескоп.



мениск — исправляет искажения, даваемые большим сферическим зеркалом. Лучи, отразившиеся от зеркала, отражаются затем от посеребренной площадки на внутренней поверхности мениска и идут в окуляр (рис. 7, в), являющийся усовершенствованной лупой. Существуют и другие телескопические системы.

В телескопе получается перевернутое изображение, но это не имеет никакого значения при наблюдении космических объектов.

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. Наибольший в мире рефлектор с диаметром вогнутого зеркала 6 м изготовлен в СССР и установлен в горах Кавказа. Он позволяет фотографировать звезды в 10^7 раз более слабые, чем видимые невооруженным глазом.

3. СОЗВЕЗДИЯ. ВИДИМОЕ ДВИЖЕНИЕ ЗВЕЗД

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 всю 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. рис. 4, 8, 10, а также звездную карту в приложении). В каждом созвездии яркие звезды издавна обозначали греческими буквами, чаще всего самую яркую звезду созвездия — буквой α, затем буквами β, γ и т. д. в порядке алфавита по мере убывания яркости; например, Полярная звезда есть α созвездия Малой Медведицы.

На рисунках 4 и 8 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).



Рис. 8. Фигура созвездия Большой Медведицы (со старинной звездной карты), его современные границы указаны пунктиром.

нее. Наше Солнце относится к желтым звездам. Ярким звездам древние арабы дали собственные имена.

Белые звезды: *Вега* в созвездии Лирьи, *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).

Самые яркие звезды еще в древности называли звездами 1-й величины, а самые слабые, видимые на пределе зрения для невооруженного глаза, — звездами 6-й величины. Эта старинная терминология сохранилась и в настоящее время. К истинным размерам звезд термин «звездная величина» отношения не имеет, она характеризует световой поток, приходящий на Землю от звезды. Принято, что при разности в одну звездную величину яркость звезд отличается примерно в 2,5 раза. 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. Измерения показали, что звезды могут иметь дробные или 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. При внимательном наблюдении можно заметить, что Полярная звезда почти не меняет положения относительно горизонта.



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



Рис. 10. Созвездия в окрестности Полярной звезды.

Все же другие звезды описывают в течение суток полные круги с центром вблизи Полярной. В этом можно легко убедиться, проделав 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 сфотографированный 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 называемая северным полюсом мира. Полярная звезда к нему очень близка (рис. 10). Диаметрально противоположная ему точка называется южным полюсом мира. В северном полушарии 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 проектируют 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 ($NESW$), 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 полусфера: видимую, все 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



Рис. 11. Основные точки и линии небесной сферы.

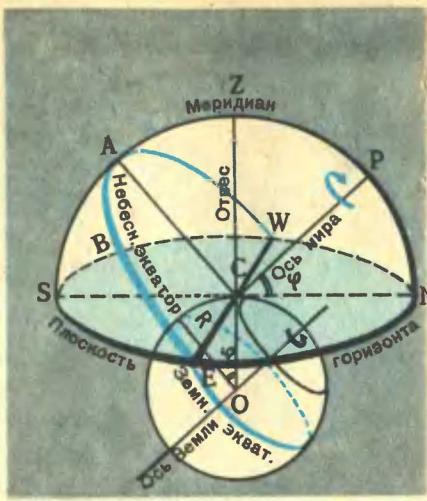
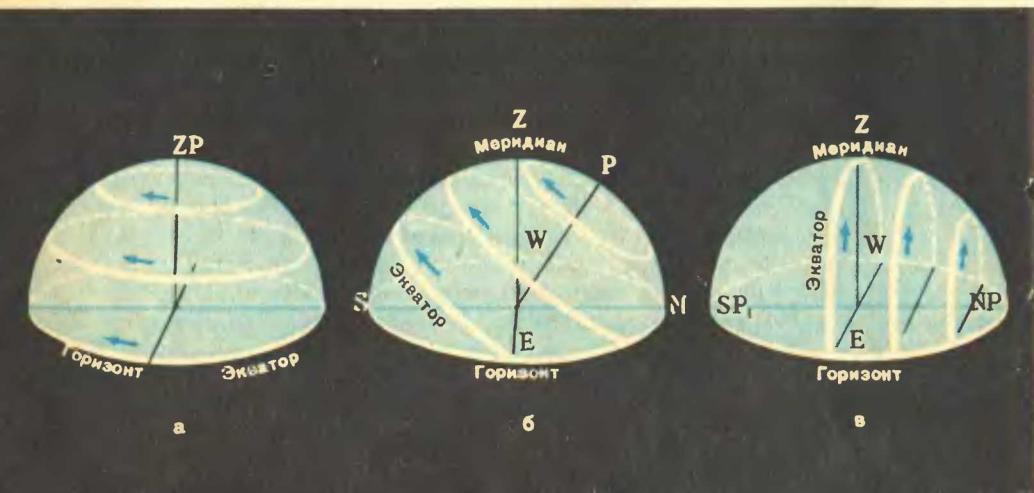


Рис. 12. Соотношение между линиями и плоскостями на небесной сфере и на земном шаре.

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 (рис. 11 и 12), диаметрально противоположная ей точка S — точка юга. Линия NS называется **п о л у д е н н о й л и н и е й** (рис. 11), так как по ней на горизонтальной плоскости в полдень 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

Рис. 13. Суточные пути светил относительно горизонта для наблюдателя, находящегося: а — на полюсе Земли; б — в средних географических широтах; в — на экваторе.



на 90° . Через точку N , полюсы мира, зенит Z и точку S проходит плоскость небесного меридiana (рис. 11), совпадающая для наблюдателя C с плоскостью его географического меридiana (рис. 12). Наконец, плоскость ($AWQE$), проходящая через наблюдателя (точку C) перпендикулярно оси мира, образует плоскость небесного экватора, параллельную плоскости земного экватора (рис. 11). 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. Определение географической широты. Обратимся к рисунку 12.

Угол \widehat{PCN} (высота полюса мира над горизонтом) равен углу

$\widehat{ROC} = \phi$ (географическая широта места), как углы со взаимно перпендикулярными сторонами $[OC] \perp [CN]$, $[OR] \perp [CP]$. Равенство этих углов дает простейший способ определения географической широты местности ϕ : **угловое расстояние полюса мира от горизонта равно географической широте места**. Чтобы определить географическую широту места, достаточно измерить высоту полюса мира над горизонтом.

5. 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. 13, а). Здесь звезды не заходят и не восходят, их высота над горизонтом неизменная.

На средних широтах существуют как восходящие и заходящие звезды, так и те, которые никогда не опускаются под горизонт (рис. 13, б). Например, околоводные созвездия (рис. 10) на географических широтах СССР никогда не заходят. Созвездия, расположенные дальше от северного полюса мира, показываются недолго над горизонтом. А созвездия, лежащие еще дальше к югу, являются невосходящими (рис. 14).

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

Рис. 14. Видимые суточные пути светил относительно горизонта в северной стороне неба.

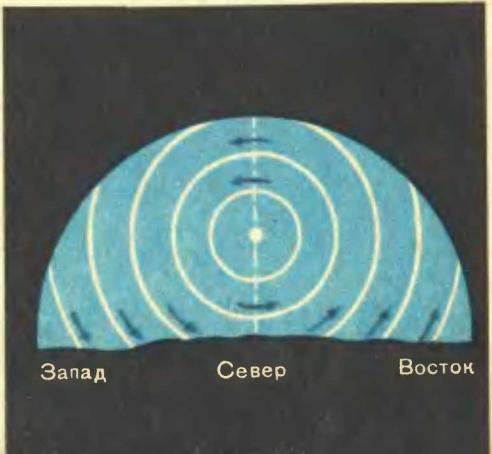




Рис. 15. Верхние и нижние кульминации светил.

оси мира круги, параллельные 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 полсуткам.

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

Момент верхней кульминации центра Солнца называется истинным полднем, а момент нижней кульминации — истинной полночью. В истинный полдень тень от вертикального стержня падает вдоль полуденной линии.

1. Как по виду звездного неба и его вращению установить, что вы прибыли 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?
3. Измерьте географическую широту вашей местности по высоте Полярной звезды с помощью эклиптического меридиана и сравните ее с отсчетом широты по географической карте.

4. ЭКЛИПТИКА И «БЛУЖДАЮЩИЕ» СВЕТИЛА — ПЛАНЕТЫ

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 не меняется. Солнце же и Луна меняют высоту, на которой они кульминируют.

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. Значит, за время одного оборота небесной сферы Солнце успевает сдвинуться относительно звезд к востоку — в сторону, противоположную суточному вращению неба. Этот сдвиг составляет около 1° , так как небесная сфера делает полный оборот — 360° за 24 ч. За 1 ч, равный 60 мин, она поворачивается на 15° , а за 4 мин — на 1° . За год Солнце описывает большой круг на фоне звездного неба.

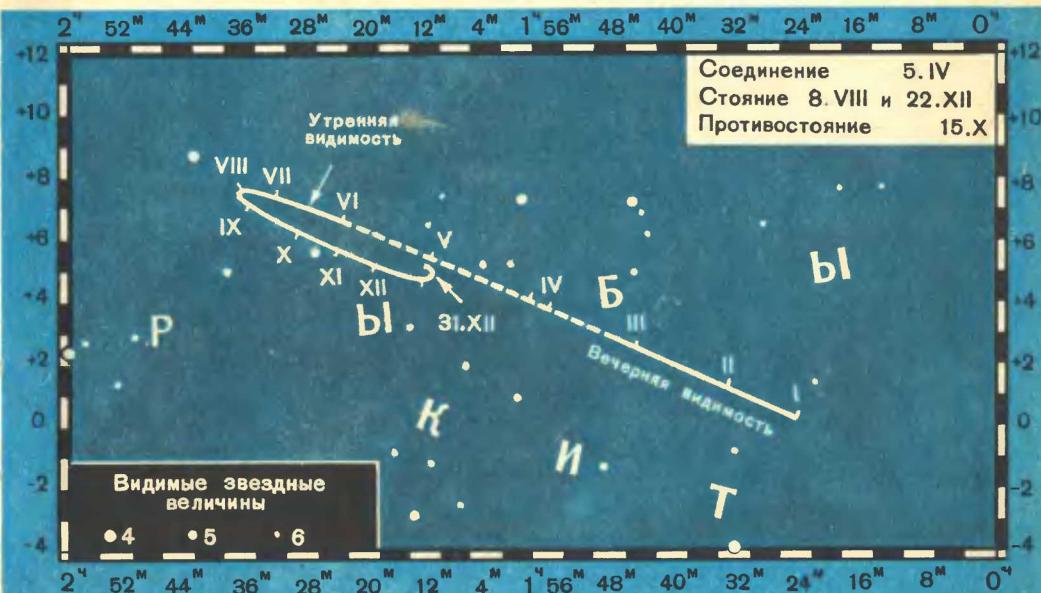
Кульминации Луны запаздывают ежесуточно уже не на 4 мин, а на 50 мин, так как Луна делает один оборот навстречу вращению неба за месяц.

Планеты перемещаются медленнее и более сложным образом. Они движутся на фоне звездного неба то в одну, то в другую сторону, иногда медленно выписывая петли (рис. 16). Это обусловлено сочетанием их истинного движения с движениями Земли. На звездном небе планеты (в переводе с древнегреческого «блуждающие») не занимают постоянного места, так же как Луна и Солнце. Если составить карту звездного неба, то указать на ней положение Солнца, Луны и планет можно лишь для определенного момента.

Видимое годовое движение Солнца происходит по большому кругу небесной сферы, называемому эклиптикой.

Перемещаясь по эклиптике, Солнце дважды пересекает небесный экватор (рис. 17) в так называемых равноденственных точках. Это бывает около 21 марта и около 23 сентября, в дни равноденствий. В эти дни Солнце находится на небесном экваторе, а он всегда делится плоскостью горизонта пополам. Поэтому пути

Рис. 16. Пример видимого пути Сатурна по небу за год.



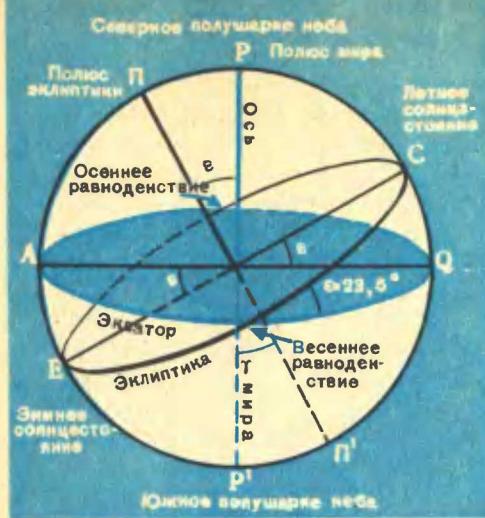


Рис. 17. Эклиптика и небесный экватор.

как все эти явления связаны с климатическими поясами и сменой времен года на Земле.)

Обожествление Солнца в древности породило мифы, в иносказательной форме 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.

Движение Солнца по эклиптике является отображением обращения Земли вокруг Солнца. Эклиптика 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 Υ (одно и двух пересечений эклиптики с небесным экватором) находится в созвездии Рыб. В созвездиях Дева, Лев, Близнецы, Телец, Скорпион, Стрелец много ярких звезд.

Большой круг эклиптики пересекает большой круг небесного экватора под углом $23^{\circ}27'$. В день летнего солнцестояния, 22 июня, Солнце поднимается в полдень над горизонтом выше точки, в которой небесный экватор пересекает меридиан на эту величину (рис. 17). На столько же Солнце бывает ниже экватора в день зимнего солнцестояния, 22 декабря. Таким образом, высота Солнца в верхней кульминации меняется в течение года на $46^{\circ}54'$.

Понятно, что в полночь в верхней кульминации бывает зодиакальное созвездие, противоположное тому, в котором находится Солнце. Например, в марте Солнце проходит по созвездию Рыбы, а в полночь кульминирует созвездие Девы. На рисунке 18 показаны суточные пути Солнца над горизонтом в дни равноденствий и солнцестояний для средних широт (вверху) и экватора Земли (внизу).

Солнца над и под горизонтом равны, следовательно, равны продолжительности дня и ночи.

22 июня Солнце дальше всего от небесного экватора в сторону северного полюса мира. В полдень для северного полушария Земли оно выше всего над горизонтом, день самый длинный — это день летнего солнцестояния. 22 декабря, в день зимнего солнцестояния, Солнце отходит дальше всего к югу от экватора, в полдень оно стоит низко, и день самый короткий. (Из курса физической географии вы знаете,

1. Найдите 12 зодиакальных созвездий на звездной карте и по возможности отыщите некоторые из них на небе.
2. С помощью эклиптического или гномона (известного вам из физической географии), хотя бы раз в месяц измеряйте высоту Солнца над горизонтом около полудня в течение нескольких месяцев. Построив график изменения высоты Солнца со временем, вы получите кривую, по которой можно, например, наести часть эклиптики на звездную карту, учитывая, что Солнце за месяц смещается на звездном небе к востоку примерно на 30° .

5. ЗВЕЗДНЫЕ КАРТЫ, НЕБЕСНЫЕ КООРДИНАТЫ И ВРЕМЯ

1. Карты и 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 времена меняются. Надо использовать такую систему координат, которая вращалась бы вместе со звездным небом. Она называется экваториальной системой. В ней одной координатой является угловое расстояние светила от небесного экватора, называемое склонением δ (рис. 19). 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 α .

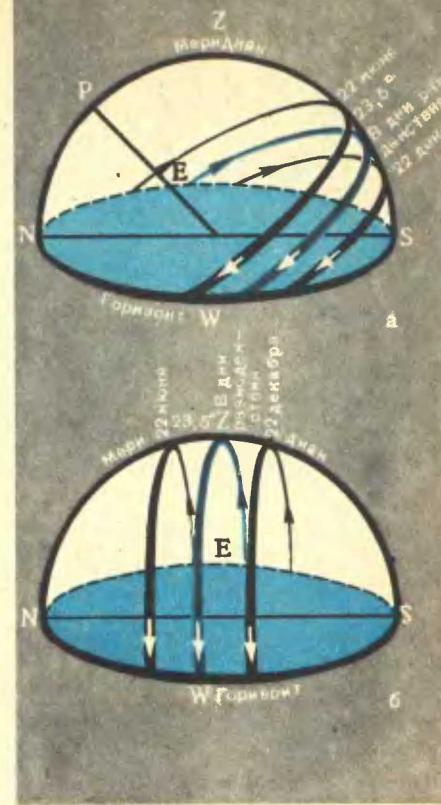
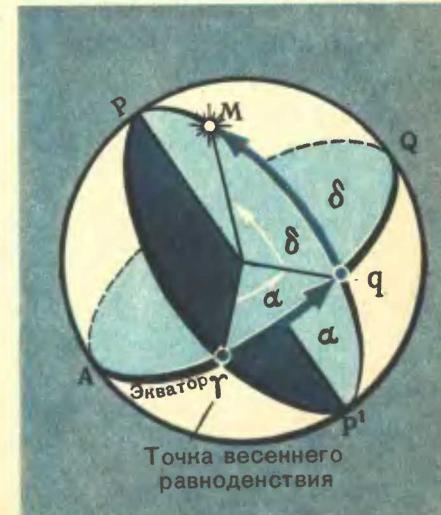


Рис. 18. Суточные пути Солнца над горизонтом в разные времена года при наблюдениях: а — в средних географических широтах; б — на экваторе Земли.

Рис. 19. Экваториальные координаты.



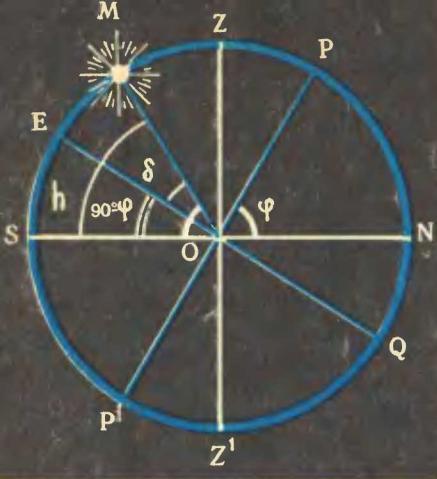


Рис. 20. Высота светила в верхней кульминации.

и исходят из того, что небо за 1 ч поворачивается на 15° , а за 4 мин — на 1° . Поэтому прямое восхождение 90° иначе будет 6 ч, а $7 \text{ ч } 18 \text{ мин} = 109^\circ 30'$. В единицах времени по краям звездной карты надписывают прямые восхождения.

Существуют также и звездные глобусы, где звезды изображены на сферической поверхности глобуса.

На одной карте можно изобразить без искажений только часть звездного неба. Начинающим пользоваться такой картой трудно, потому что они не знают, какие созвездия видны в данное время и как они расположены относительно горизонта. Удобнее подвижная карта звездного неба. Идея ее устройства проста. На карту наложен круг с вырезом, изображающим линию горизонта. Вырез горизонта эксцентричен, и при вращении накладного круга в вырезе будут видны созвездия, находящиеся над горизонтом в разное время. Как пользоваться такой картой, сказано в приложении VII.

- 3 1. Выразите 9 ч 15 мин 11 с в градусной мере.
2. По таблице координат ярких звезд, данной в приложении IV, найдите на звездной карте некоторые из указанных звезд.
3. По карте отсчитайте координаты нескольких ярких звезд и проверьте себя, используя таблицу из приложения IV.
4. По «Школьному астрономическому календарю» найдите координаты планет в данное время и определите по карте, в каком созвездии они находятся. Найдите их вечером на небе.
5. Пользуясь подвижной картой звездного неба, определите, какие зодиакальные созвездия будут видны над горизонтом в вечер наблюдения.

2. Высота светил в кульминации. Найдем зависимость между высотой h светила M в верхней кульминации, его склонением δ и широтой местности ϕ .

На рисунке 20 изображены отвесная линия ZZ' , ось мира PP' и проекции небесного экватора EQ и линии горизонта NS (полуденная линия) на плоскость небесного меридиана ($PZSP'N$). Угол между полуденной линией NS и осью мира PP' равен, как мы знаем, широте местности ϕ . Очевидно, наклон плоскости небесного экватора к горизонту, измеряемый углом EOS , равен $90^\circ - \phi$ (рис. 20). Звезда M со склонением δ , кульминирующая к югу от зенита, имеет в верхней кульминации высоту

$$h = 90^\circ - \phi + \delta.$$

Из этой формулы видно, что географическую широту можно определить, измеряя высоту любой звезды с известным склонением δ в верхней кульминации. При этом следует учитывать, что если звезда в момент кульминации находится к югу от экватора, то ее склонение отрицательно.

- 4 1. Сириус (α Б. Пса, см. приложение IV) был в верхней кульминации на высоте 10° . Чему равна широта места наблюдения? Для нижеследующих упражнений географические координаты городов можно отсчитать по географической карте.
2. На какой высоте в Ленинграде бывает верхняя кульминация Антареса (α Скорпиона, см. приложение IV)?
3. Каково склонение звезд, которые в вашем городе кульминируют в зените?
4. Определите полуденную высоту Солнца в Архангельске и в Ашхабаде в дни летнего и зимнего солнцестояния.

3. Точное время. Для измерения коротких промежутков времени в астрономии основной единицей является средний день 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 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 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 наблюдавшееся 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 на неизменной частоте. Часы отдельных обсерваторий сверяются по сигналам атомного времени. 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 составляют 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.

4. Счет времени. Определение географической долготы. Календарь. 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 звезд. На основании определения точных координат отдельных пунктов производится картографирование земной поверхности.

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 удобного 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. Южные скотоводческие народы пользовались обычно лунными месяцами. Год, состоящий из 12 лунных месяцев, содержал 355 солнечных суток. Для согласования счета времени по Луне и по Солнцу приходилось устанавливать в году то 12, то 13 месяцев и вставлять в год добавочные дни. Проще и удобнее был солнечный календарь, применявшийся еще в Древнем Египте. В настоящее время в большинстве стран мира принят тоже солнечный календарь, но более совершенного устройства, называемый григорианским, о котором говорится дальше.

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 алекс-

андрийским 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 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 через 3300 лет.

СТРОЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

6. СОСТАВ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Из курса природоведения вы знаете, что Солнечную систему составляют Солнце и планеты с их спутниками, что звезды расположены от нас несравненно 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 (с Луной), Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун и Плутон (рис. 21). Между Марсом и Юпитером обращается множество астероидов (малых планет, названных так за их звездообразный вид в телескоп). Число уже известных астероидов более 2000. Вокруг Солнца обращаются также кометы¹ — большие образования из разреженного газа с очень малым твердым ядром. Большинство из них имеет эллиптические орбиты, выходящие за орбиту Плутона, так что диаметр последней лишь условно принимается за диаметр Солнечной системы. 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 магнитных и гравитационных полей.

Солнце в 109 раз больше Земли по диаметру и примерно в 333 000 раз массивнее Земли (рис. 22). Масса всех планет составляет всего лишь около 0,1% от массы Солнца, поэтому оно силой своего притяжения управляет движением всех членов Солнечной системы.

Соотношение размеров всех планет дано на рисунке 23.

¹ В переводе с древнегреческого комета означает «косматое светило».



Рис. 21. План Солнечной системы (орбиты планет, более близких к Солнцу, чем Земля, не показаны).



Рис. 22. Сравнение масс Солнца и некоторых планет: 1 — Земля; 2 — Юпитер.

Рис. 23. Сравнение размеров планет и Солнца.



Точные значения расстояний планет от Солнца, периоды их обращения, вращения вокруг оси и другие характеристики планет даны в таблице V приложения, а в тексте и в задачах часто приводятся округленные значения, из которых достаточно запомнить лишь те, которые даны в приложении I.

7. ЗАКОНЫ ДВИЖЕНИЯ ПЛАНЕТ И ИСКУССТВЕННЫХ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ

1. Форма орбиты и скорость движения. Чем ближе планета к Солнцу, тем, больше ее линейная и угловая скорости и короче период обращения вокруг Солнца. 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. Наименьший звездный период обращения у планеты Меркурий — 88 сут. У Марса он составляет почти 2 года, а у Юпитера — 12 лет и, все возрастая с удалением от Солнца, у Плутона доходит почти до 250 лет.

Заслуга открытия законов движения планет принадлежит выдающемуся немецкому ученому Иоганну Кеплеру. В начале XVII в. Кеплер установил три закона движения планет. Они названы законами Кеплера.

Первый закон Кеплера: каждая планета обращается по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце (рис. 24).



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.

Эллипсом (рис. 24) 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 (рис. 24). 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 называется афелием.

Степень вытянутости эллипса характеризуется его эксцентриситетом.

ситетом 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 $e = 0,017$.

Эксцентриситеты орбит у большинства комет близки к единице. При $e = 1$ второй фокус эллипса удаляется в бесконечность, так что орбита становится разомкнутой кривой (рис. 25), называемой параболой. При $e > 1$ орбита является гиперболой (рис. 25). Двигаясь по параболе или гиперболе, тело только однажды огибает Солнце и навсегда удаляется от него.

Кеплер открыл свои законы, изучая периодическое обращение Марса вокруг Солнца. Ньюton, исходя из наблюдений движения Луны и законов Кеплера, открыл закон всемирного тяготения. При этом он доказал, что под действием взаимного тяготения тела могут двигаться друг относительно друга по эллипсу (в частности, по кругу), по параболе и по гиперболе. Ньюton установил, что вид орбиты, которую описывает тело, зависит от его скорости в данном месте орбиты.

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 большую круговой (11,2 км/с), называемую второй космической или параболической скоростью, то тело навсегда удаляется 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.

Средняя скорость движения Земли по орбите 30 км/с. Орбита Земли близка к окружности, а 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 = 42 км/с. При такой скорости относительно Солнца тело с орбиты Земли покинет Солнечную систему.

2. Второй и третий законы Кеплера. Второй закон Кеплера (закон площадей): радиус-вектор планеты за одинаковые промежутки времени описывает равные площади, т. е. площади SAH и SCD равны (рис. 24), если дуги AH и CD описаны планетой за одинаковые промежутки времени. Но длины этих дуг, ограничивающих равные площади, различны: $AH > CD$. Следовательно, линейная скорость движения планеты неодинакова в разных точках ее ор-

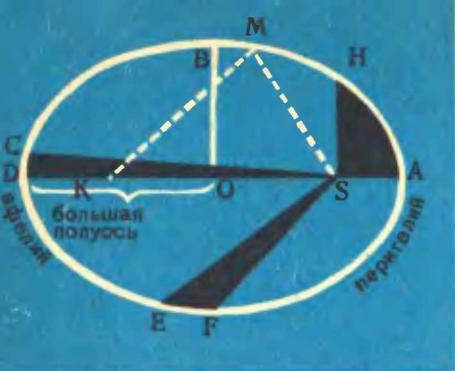
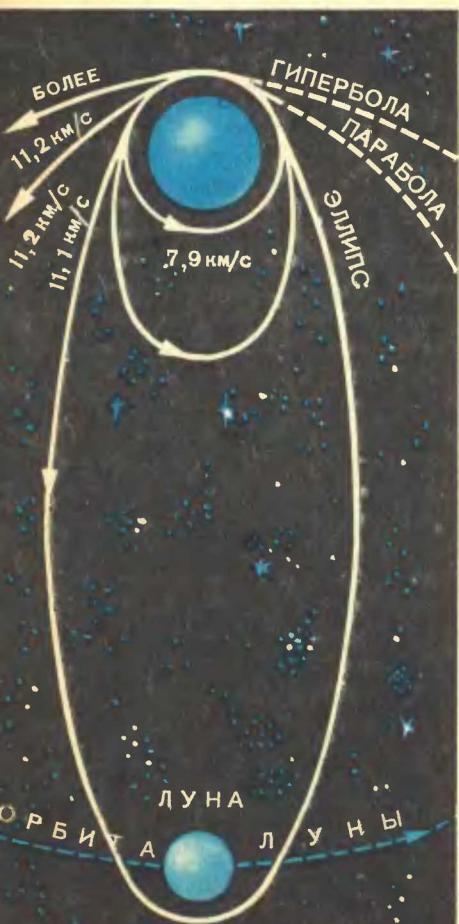


Рис. 24. Закон площадей (второй закон Кеплера).

Рис. 25. Формы орбит космических ракет (посланые по стрелке, они не вернутся, если пойдут по параболе или гиперболе, и по прерывистым частям кривых движения не будет).



биты. Скорость планеты при движении ее по орбите тем больше, чем ближе 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 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 периодами их звездных обращений и позволяет большие полуоси всех планетных орбит выразить в единицах большой полуоси земной орбиты. Большая полуось земной орбиты принята за астрономическую единицу расстояний. В астрономических единицах средние расстояния планет от Солнца были определены раньше, чем узнали длину астрономической единицы в километрах.

- 5 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 наизнешней 300 км. Землю считать шаром радиусом 6370 км. Сравните движение спутника с обращением Луны.
3. Определите периоды обращения искусственных спутников, двигающихся по эллиптическим орбитам, изображенными на рисунке 25, измерив их большие оси линейкой и приняв радиус Земли равным 6370 км.

8. КОНФИГУРАЦИИ И СИНОДИЧЕСКИЕ ПЕРИОДЫ ОБРАЩЕНИЯ ПЛАНЕТ

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 в **внутренних** (Венера и Меркурий), орбиты которых лежат внутри земной орбиты, и для планет в **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. 26).

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° , Венеры — до 48° . 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 Меркурий невооруженным глазом удается редко (рис. 26 и 27).

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. Так же хорошо она бывает видна и в лучах утренней зари. Легко понять, что в южной стороне неба и среди ночи ни Меркурия, ни Венеру увидеть нельзя.

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. 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° , мы видим ровно половину освещенного полушария планеты. Полностью такая планета обращена к нам своим дневным полушарием в эпоху 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

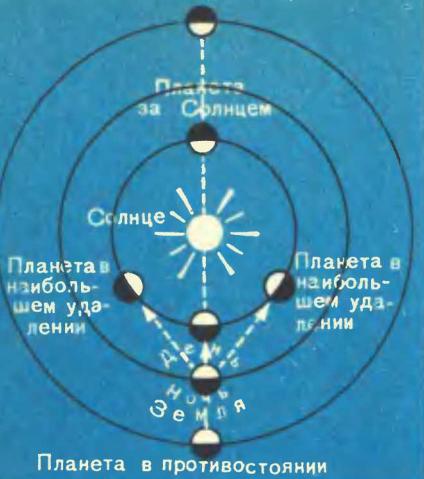


Рис. 26. Конфигурации планет.

условия их видимости в данном году приводятся в «Школьном астрономическом календаре».

2. Синодические периоды. Синодическим периодом обращения планеты называется промежуток времени, протекающий между повторениями ее одинаковых конфигураций, например между двумя противостояниями.

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° при их движении вокруг Солнца. Угловая скорость Земли (угол, описываемый ею за сутки) составляет $\frac{360^\circ}{T_\oplus}$, угловая ско-

рость Марса — $\frac{360^\circ}{T}$, где T_\oplus — число суток в году, T — звездный период обращения планеты, выраженный в сутках. Если S — синодический период планеты в сутках, то через S суток Земля обгонит планету на 360° , т. е.

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

Если в эту формулу подставить соответствующие числа (см. таблицу V в приложении), то можно найти, например, что синодический период Марса 780 сут и т. д. Для внутренних планет, обращающихся быстрее, чем Земля ($T_\oplus > T$), надо писать:

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

Для Венеры синодический период составляет 584 сут.

Моменты конфигураций планет,

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.

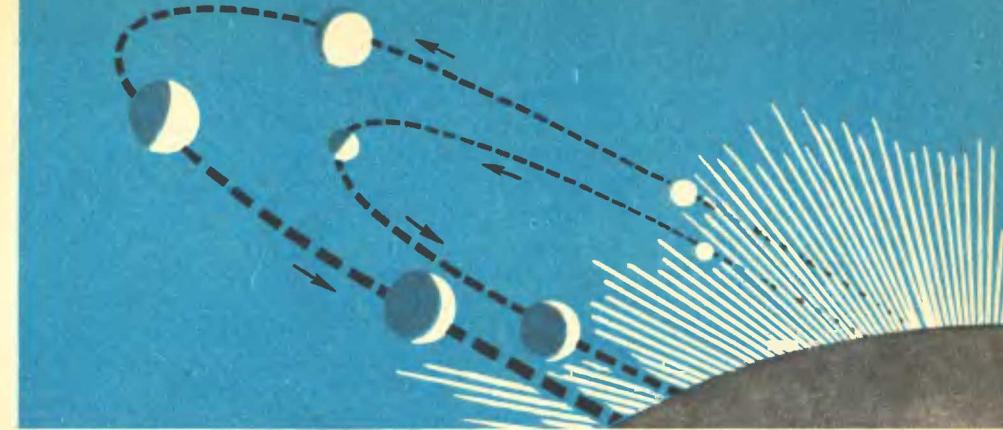


Рис. 27. Расположение орбит Меркурия и Венеры относительно горизонта для наблюдателя, когда Солнце заходит (указаны фазы и видимый диаметр планет в разных положениях относительно Солнца при одном и том же положении наблюдателя).

Астрономам вначале не были известны звездные периоды планет, в то время как синодические периоды планет S определяли из прямых наблюдений. Например, отмечали, сколько времени проходит между последовательными противостояниями планеты, т. е. между днями, когда она кульминирует точно в полночь. Определив из наблюдений синодические периоды S , находили вычислением звездные периоды обращения планет T . Когда позднее Кеплер открыл законы движения планет, то при помощи третьего закона он смог установить относительные расстояния планет от Солнца, поскольку звездные периоды планет уже были вычислены, исходя из синодических периодов.

- 6 1. Звездный период обращения Юпитера равен 12 годам. Через какой промежуток времени повторяются его противостояния?
2. Замечено, что противостояния некоторой планеты повторяются через 2 года. Чему равна большая полуось ее орбиты?
3. Синодический период планеты 500 сут. Определите большую полуось ее орбиты. (Перечитайте внимательно это задание.)

9. ВОЗМУЩЕНИЯ В ДВИЖЕНИИ ПЛАНЕТ. ПОНЯТИЕ О ПРИЛИВАХ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАСС НЕБЕСНЫХ ТЕЛ

1. Возмущения в движении планет. Ньютона, анализируя законы движения планет, открытые Кеплером, 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.

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 быстро действующие электронно-счетные 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 обителю богов, стало ареной человеческой деятельности так же, как и Земля. Религия всегда противопоставляла Землю и небо и объявила небо недосягаемым. Но человек не только поднялся выше птиц, но и поборол земное тяготение. Теперь среди планет перемещаются искусственные небесные тела, созданные человеком, которыми он может управлять непосредственно или по радио с больших расстояний.

2. 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, много веков считавшаяся 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 уклоняется 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. Таким образом, указанное разногласие между теорией и практикой, казалось, подрывавшее авторитет материалистической науки, привело к ее триумфу.

3. Понятие о теории приливов. 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 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 28 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 отлив. 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 его 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 медленного вращения вокруг оси. Сильные приливы, вызывавшиеся Землей, настолько затормозили вращение Луны, что она всегда обращена к Земле одной стороной. Земля также постепенно тормозит свое вращение под действием лунных приливов. По законам механики (закон сохранения момента импульса) замедление вращения Земли вызывает удаление Луны от Земли. Через много миллионов лет Земля тоже станет обращена к Луне одной стороной. Земные сутки станут тогда равны месяцу, который будет значительно длиннее, чем продолжительность современного оборота Луны вокруг Земли. Таким образом, приливы являются важным фактором эволюции небесных тел.

4. Определение масс небесных тел. Масса — одна из важнейших характеристик небесных тел. Но как можно определить массу небесного тела? Ньютон доказал, что более точная формула третьего закона Кеплера такова:

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

где M_1 и M_2 — массы каких-либо небесных тел, а m_1 и m_2 — соответственно массы их спутников. В частности, планеты являются спутниками Солнца. Мы видим, что уточненная формула этого закона отличается от приближенной наличием множителя, содержащего массы. Если под $M_1 = M_2 = M$ понимать массу Солнца, а под m_1 и m_2 — массы двух разных планет, то отношение $\frac{M + m_1}{M + m_2}$ 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, перепишем формулу этого закона в следующем виде, сравнивая движение Луны вокруг Земли с движением Земли вокруг Солнца:

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



Рис. 28. Схема лунных приливов.

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

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

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 или в движении комет и астероидов.

- 7 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 массы Земли и Луны относятся как 81 : 1.

10. БОРЬБА ЗА НАУЧНОЕ МИРОВОЗЗРЕНИЕ

Правильное понимание наблюдавшихся небесных явлений складывалось веками. Вы знаете о зарождении астрономии в Древнем Египте и Китае, о более поздних достижениях дневнегреческих ученых, о наблюдениях жрецов и об их ложных представлениях о природе, об использовании ими своих знаний для собственной выгоды. Жрецы же создали и 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. 29). 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.

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 (рис. 16 и 30). Эта революция в астрономии и в мировоззрении, сделанная гелиоцентрической теорией Коперника, как отметил Ф. Энгельс, освободила исследование природы от религии.

Галилео Галилей, впервые 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,



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

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

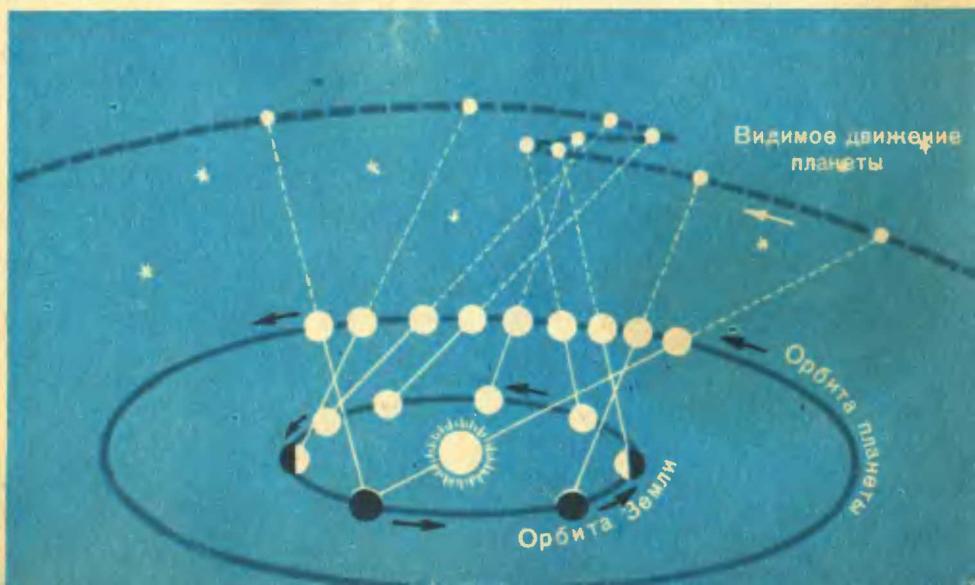
У планеты Юпитер Галилей открыл четыре спутника. Их обращение вокруг Юпитера опровергло представление о том, что лишь Земля находится в центре вращения. На Солнце Галилей обнаружил пятна и по их перемещению заключил, что Солнце вращается вокруг своей оси. Существование пятен на Солнце, считавшемся эмблемой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

Млечный Путь в поле зрения телескопа распался на множество слабых звезд. Вселенная предстала перед человеком как нечто несравненно более грандиозное, чем маленький мирок, кружящийся якобы вокруг Земли, по представлениям Аристотеля, Птолемея и средневековых церковников. Церковь, как вы уже знаете из курсов истории и физики, справилась с Джордано布鲁но, делавшим сме-



Рис. 29. Система мира по Птолемею.

Рис. 30. При наблюдении с Земли проекция планеты на небо выписывает петлю (чертеж сделан в проекции «сбоку»).



льные философские выводы из открытия Коперника. Смелую борьбу против церковников за право распространять подлинные знания об устройстве Вселенной вел **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.

1. ЗЕМЛЯ, ЕЕ РАЗМЕР, ФОРМА, МАССА, ДВИЖЕНИЕ

1. Размер и форма Земли. На фотоснимках, сделанных из космоса, Земля выглядит как шар, освещенный Солнцем, и показывает такие же фазы, как Луна (рис. 31 и 32), что служит одним из доказательств шарообразности Земли.

Точный ответ о форме и размере Земли дают градусные измерения, т. е. измерения в километрах длины дуги в 1° 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 с большой точностью используется в геодезии — науке о форме Земли и об измерениях на Земле с учетом ее кривизны.

На ровной местности выбирают два пункта *A* и *C*, лежащие на одном меридиане. Их географические широты определяют астрономически. Ясно, что длина дуги меридиана между точками *A* и *C* в

Рис. 31. Земля над горизонтом Луны.



градусах равна разности географических широт этих точек: $\Phi_A - \Phi_C$. Расстояние от *A* до *C* измеряют по поверхности Земли, оно обычно составляет несколько сот километров, а потом вычисляют длину дуги в 1° в километрах.

Из-за неровностей земной поверхности и отсутствия прямой видимости точки *A* из точки *C* (и наоборот) для определения расстояний применяют метод триангуляции (от латинского слова *triangulum* — треугольник, рис. 33).

Метод триангуляции состоит в том, что пространство между точками *A* и *C* покрывается сетью «воздушных» треугольников, вершинами которых служат геодезические сигналы (рис. 34). Вы, вероятно, встречали такие сигналы в виде ажурных пирамид в поле и на горах. С вершины такой пирамиды обязательно видно еще не менее двух других далеких геодезических сигналов. Измеряют углы треугольников, а длину сторон вычисляют, предварительно определив с наибольшей точностью длину одной опорной стороны, прилежащей, например, к точке *A*. Опорная сторона сети геодезических треугольников называется базисом. (Этот метод вычисления расстояний (длин) путем измерения углов в треугольнике, прилежащих к базису, применяют и для определения расстояний до небесных тел.)

Длину дуги меридиана *AC* определяют как сумму проекций на это направление соответствующих сторон построенных треугольников. Углы, образуемые сторонами треугольников с плоскостью меридиана, должны быть при этом известны.

Если длина измеряемой дуги в километрах будет *l*, а в градусах $\Delta\varphi$, то при шарообразности Земли одному градусу (1°) дуги будет соответствовать длина в километрах: $n = \frac{l}{\Delta\varphi}$. Тогда длина окружности земного меридиана $L = 360^\circ n$. Разделив ее на 2π , получим радиус Земли.

Одна из наибольших дуг меридиана от Ледовитого океана до Черного моря была измерена в России и в Скандинавии в середине XIX в. под руководством **В. Я. Струве**, директора Пулковской обсерватории. Большие геодезические измерения в нашей стране выполнены после Великой Октябрьской социалистической революции.

Рис. 32. Фотография Земли, сделанная из космоса.





Рис. 33. Схема триангуляции.

Рис. 34. Геодезический сигнал.



Градусные измерения показали, что длина 1° 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.

Быстрое вращение вызывает сжатие планет. Величина сжатия ϵ определяется отношением:

$$\epsilon = \frac{a - b}{a},$$

где a — экваториальный, а b — полярный радиус планеты.

У Земли сжатие $\epsilon = \frac{1}{298} \approx 0,003$ (у быстро вращающихся Юпитера и Сатурна оно больше, у Сатурна $\epsilon = 0,1$). Таким образом, меридиональное сечение Земли является не окружностью, а эллипсом. Землю можно считать эллипсоидом вращения, т. е. фигурой, полученной от вращения эллипса вокруг его малой оси. Экваториальный радиус Земли больше полярного на 21,4 км. Изучение движения искусственных спутников Земли позволило уточнить ее сжатие по возмущениям, которые вносит в их движение несферичность Земли.

Если Землю для простоты принять за шар, равновеликий Земле, то ее радиус можно взять за 6370 км. Экваториальный радиус Земли, по данным советских ученых, равен 6378,2 км.

В последнее время для определения координат различных пунктов на земной поверхности, составления точных карт и изучения формы Земли используются космические методы исследования: искусственные спутники Земли, снабженные специальной аппаратурой.

8. 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.

2. **Масса и плотность Земли.** Массу Земли можно определить многими способами. Воспользуемся тем, что из физики вам известен опыт Кавендиша с крутильными весами, при помощи которых он вычислил силу притяжения между свинцовыми шарами. Это позволило определить коэффициент $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$ в формуле закона всемирного тяготения. А исходя из этого закона ускорение свободного падения

$$g = G \frac{M}{R^2},$$

где M — масса Земли, а R — ее радиус. Под действием притяжения к центру Земли на уровне моря и на широте 45° ускорение $g = 9,81 \text{ м/с}^2$. Подставив в формулу известные нам значения g , G и R , находим, что масса Земли $M = 6 \cdot 10^{24}$ 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.)

9. 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?

3. **Доказательство суточного вращения Земли опытом Фуко.** Классическим доказательством вращения Земли вокруг оси является опыт с маятником по методу французского физика Фуко. Такой маятник длиной 98 м имеется, например, в здании Исаакиевского собора в Ленинграде (рис. 35). Опыт основан на свойстве маятника сохранять без изменений плоскость своих колебаний, когда точка подвеса поворачивается. Это свойство можно продемонстриро-



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).

вать, подвесив на нитке шарик над центром школьной центробежной машины. Когда она вращает подвес, маятник продолжает качаться в той же плоскости. Следовательно, если бы мы подвесили маятник над полюсом Земли, Земля поворачивалась бы под ним на 15° в час. Теория и опыт показывают, что на широте ϕ плоскость колебания маятника кажется поворачивающейся за час на $15^\circ \cdot \sin \phi$.

Следствием вращения Земли вокруг оси является подмывание рекой, текущей на север или на юг, одного берега (скажите, какого?), отклонения воздушных вихрей и ветров в северном полушарии Земли вправо, в южном полушарии влево.

4. Доказательство обращения Земли вокруг Солнца. Земля движется вокруг Солнца по орбите, которая по форме мало отличается от окружности. Определение скоростей звезд, находящихся вблизи эклиптики, по их спектрам (см. § 13) показывает, что в любой момент мы приближаемся к одним звездам и удаляемся от противоположных им на небе звезд со скоростью 30 км/с. Указанная скорость является скоростью движения Земли по ее орбите. Направление движения Земли непрерывно меняется с периодом в 1 год. Это есть прямое доказательство годичного обращения Земли вокруг Солнца. С другим доказательством годичного обращения Земли вы ознакомитесь позднее, в § 22, 2. Смена времен года является следствием того, что при обращении Земли вокруг Солнца ось ее суточного вращения сохраняет неизменное положение в пространстве и наклонена к плоскости орбиты. Этот наклон составляет $66,5^\circ$.

Вследствие небольшой эллиптичности орбиты Земля в январе немного ближе к Солнцу, чем в июле. Различие в расстояниях Земли от Солнца в афелии и в перигелии мало и поэтому оказывает малозаметное влияние на получаемую от Солнца энергию.

- 10 1. Зная угловое расстояние Солнца от небесного экватора в дни летнего и зимнего солнцестояния, определите угол падения солнечных лучей на поверхность Земли в эти дни в полдень в местностях с широтами $53,5^\circ$ и $23,5^\circ$.
2. В физике доказывается, что если a есть угол падения лучей на плоскость, то освещенность поверхности $E = E_0 \cos a$, где E_0 — освещенность поверхности при отвесном падении лучей ($a = 0$). Используя условия задачи 1, найдите отношения освещенности местности летом и зимой в обоих пунктах и сравните их.
3. Как качественно изменилась бы смена времен года, если бы земная ось была перпендикулярна к плоскости ее орбиты, как у Юпитера?

12. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЙ И РАЗМЕРОВ ТЕЛ В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ

1. Определение расстояний. Используя третий закон Кеплера, среднее расстояние всех планет от Солнца можно выразить через среднее расстояние Земли от Солнца. Определив его в километрах, можно найти в этих единицах все расстояния в Солнечной системе.

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.

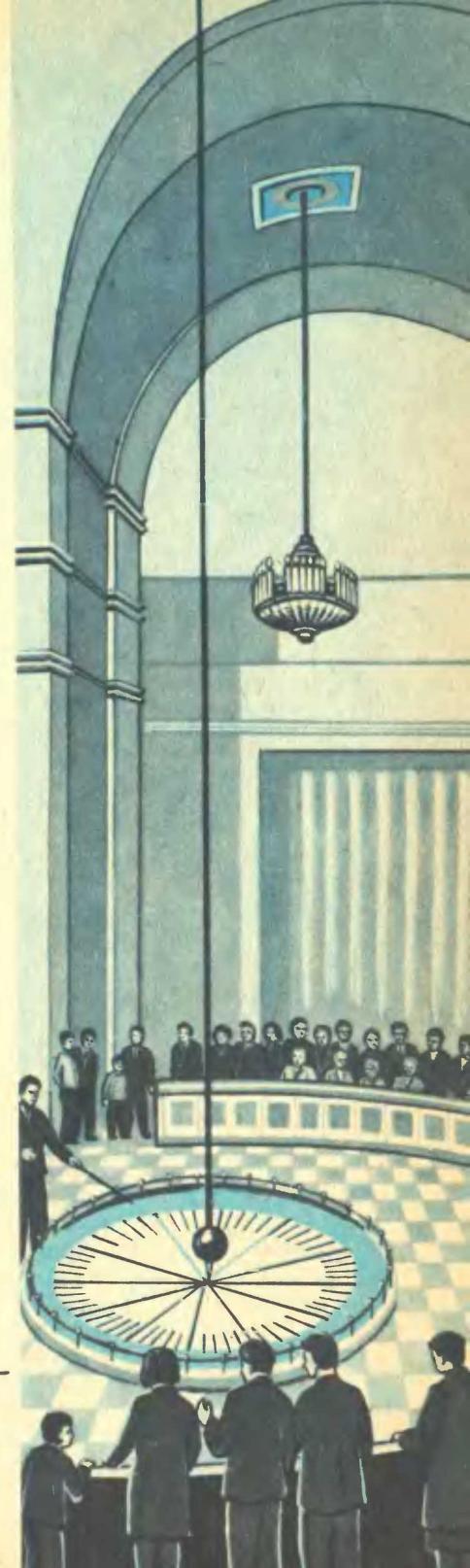
Классическим способом определения расстояний был и остается угломерный геометрический способ. Им определяют расстояния и до далеких звезд, к которым метод радиолокации неприменим. Геометрический способ основан на явлении параллактического смещения.

Параллактическим смещением называется изменение направления на предмет при перемещении наблюдателя (рис. 36).

Посмотрите на вертикально поставленный карандаш сначала одним глазом, затем другим. Вы увидите, как он при этом переменил положение на фоне далеких предметов, направление 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. Принцип параллактического смещения широко используется в военном деле при определении расстояния до цели посредством дальномера. В дальномере базисом является расстояние между объективами.

Для измерения расстояний до тел Солнечной системы за базис берут радиус Земли. Наблюдают положение светила, например Луны, на фоне далеких звезд одновременно из

Рис. 35. Маятник Фуко в Исаакиевском соборе в Ленинграде.



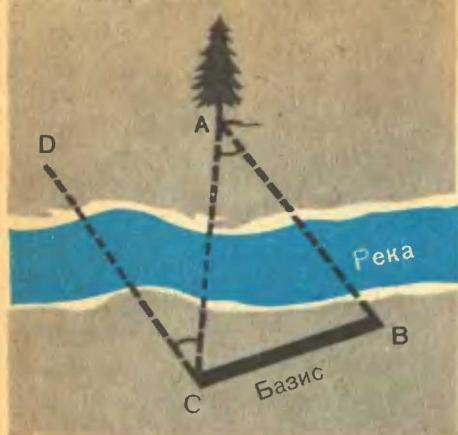


Рис. 36. Измерение расстояния до недоступного предмета по параллактическому смещению.

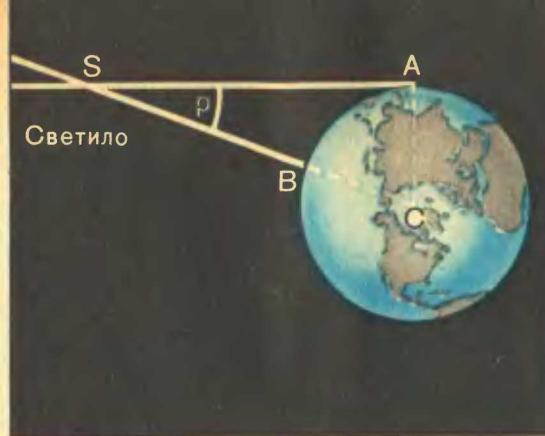


Рис. 37. Горизонтальный параллакс светила.

два обсерватории. Расстояние между обсерваториями должно быть как можно больше, а соединяющий их отрезок должен составлять угол, по возможности близкий к прямому с направлением на светило, чтобы параллактическое смещение было максимальным. Определив из двух точек A и B (рис. 37) направления на наблюдаемый объект, несложно вычислить угол p , под которым с этого объекта был бы виден отрезок, равный радиусу Земли.

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 , точно так же как \widehat{CAB} для наблюдателей в точках C и B (рис. 36). \widehat{CAB} удобно определять по равному ему \widehat{DCA} , а равны они, как углы при параллельных прямых ($DC \parallel AB$ по построению).

Расстояние

$$SC = D = \frac{R}{\sin p},$$

где R — радиус Земли. Приняв R за единицу, можно выразить расстояние до светила в земных радиусах.

Параллакс Луны составляет $57'$. Все планеты и Солнце гораздо дальше, и их параллаксы составляют секунды. 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

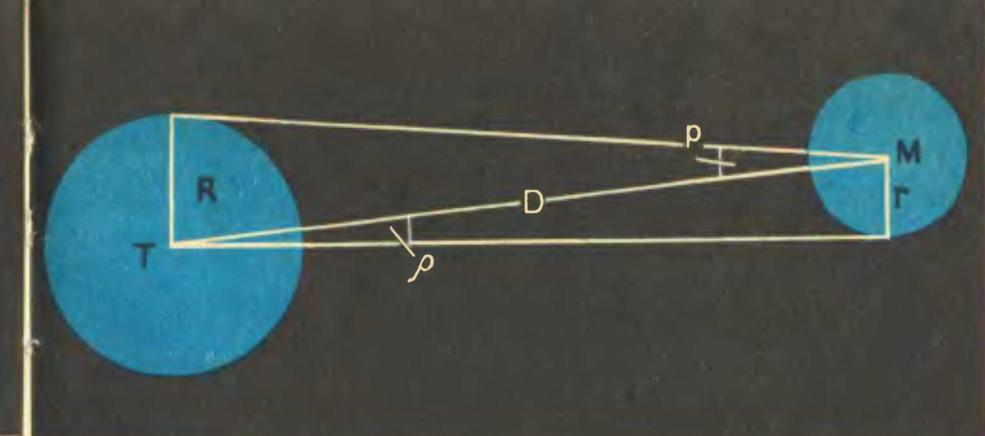


Рис. 38. Определение линейных размеров небесных светил по их угловым размерам.

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

Тогда

$$\sin p = p'' \sin 1'' = \frac{p''}{206265}.$$

Знание этих соотношений упрощает вычисление расстояния по известному параллаксу:

$$D = \frac{206265''}{p''} R.$$

11. 1. Чему равен горизонтальный параллакс Юпитера, наблюдавшегося 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 величину горизонтального параллакса Луны в этих положениях.

3. Измерьте транспортиром угол \widehat{DCA} (рис. 36) и угол \widehat{ASC} (рис. 37), линейкой — длину базисов. Вычислите по ним соответственно расстояния CA и SC и проверьте результат прямым измерением по рисункам.

4. Измерьте на рисунке 38 транспортиром углы p и q и определите по полученным данным отношение диаметров изображенных тел.

2. Определение размеров светил. На рисунке 38 T — центр Земли, M — центр светила линейного радиуса r . По определению горизонтального параллакса радиус Земли R виден со светила под углом p . Радиус же светила r виден с Земли под углом q . Поскольку

$$D = \frac{R}{\sin p} \text{ и } D = \frac{r}{\sin q},$$

то ясно, что

$$r = \frac{\sin q}{\sin p} R.$$

Если углы q и p малы, то синусы пропорциональны углам и можно написать:

$$r = \frac{q}{p} R.$$

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

Зная расстояние D до светила и измерив его угловой радиус q , можно вычислить его линейный радиус

$$r = D \sin q,$$

или

$$r = Dq,$$

если угол q выражен в радианах.

Расстояния до очень далеких светил узнают не по параллаксу, а иными способами.

- 12 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. Чему равен линейный диаметр Луны, если она видна с расстояния 400 000 км под углом примерно $0,5^\circ$?
4. Во сколько раз больше получает энергии от Солнца каждый квадратный метр поверхности Меркурия, чем Марса? Нужные данные возьмите из приложений.
5. В каких точках небосвода земной наблюдатель видит светило, находясь в точках B и A (рис. 37)?
6. 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.

III. ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

13. МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ

1. **Применение спектрального анализа.** Методом, дающим ценные и наиболее разнообразные сведения о небесных светилах, является спектральный анализ. Он позволяет установить из анализа излучения качественный и количественный химический состав светила, его температуру, наличие магнитного поля, скорость движения по лучу зрения и многое другое.

Спектральный анализ основан на разложении белого света на составные части. Если узкий пучок светапустить на боковую грань трехгранной призмы, то, преломляясь в стекле по-разному, составляющие белый свет 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 в спектре уменьшается от красных лучей к фиолетовым примерно от 0,7 до 0,4 мкм. За фиолетовыми лучами спектра лежат ультрафиолетовые лучи, не видимые глазом, но действующие на фотопластинку. Еще меньшую длину волны имеют рентгеновские лучи. Рентгеновское излучение небесных светил, важное для понимания их природы, атмосфера Земли задерживает. За красными лучами спектра находится область инфракрасных лучей. Они невидимы, но созданы специальные приемники инфракрасного излучения, например особым способом приготовленные фотопластинки. Под спектральными наблюдениями понимают обычно наблюдения в интервале от инфракрасных до ультрафиолетовых лучей.

Для изучения спектров применяют приборы, называемые спектроскопом и спектрографом. В спектроскоп спектр рассматривают, а спектрографом его фотографируют. Фотография спектра называется спектрограммой.

На рисунке 39 показано устройство спектрографа. Свет попадает через узкую щель на объектив, который посылает его параллельным пучком на одну или несколько призм. В призме свет раз-

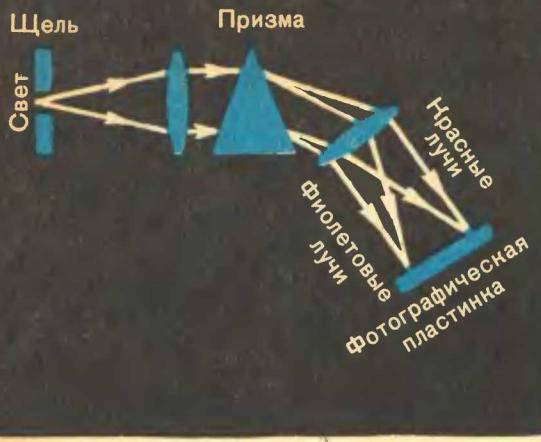


Рис. 39. Схема устройства призменного спектрографа.

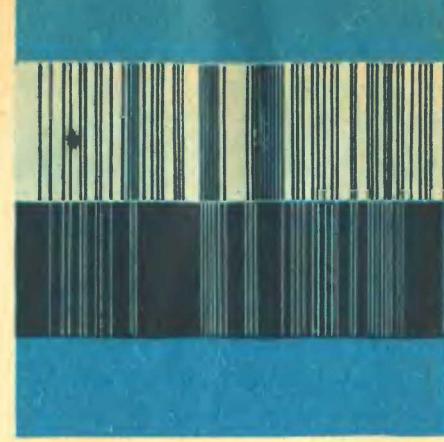


Рис. 40. Сравнение спектра Солнца (вверху) с лабораторным спектром паров железа.

лагается на составные части и дает спектр. Его изображение строят линзой на фотопластинке и получают спектрограмму. В спектроскопе это изображение рассматривают через окуляр. В астрономических спектрографах, кроме призмы, используют также и дифракционную решетку, которая отражает свет и одновременно разлагает его в спектр.

Существуют следующие виды спектров.

Сплошной, или **непрерывный**, спектр в виде ровной полоски дают твердые и жидкые раскаленные тела (уголь, нить электролампы) и достаточно плотные массы газа.

Линейчатый спектр излучения дают разреженные газы и пары при сильном нагревании или под действием электрического разряда. 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 нагрев 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 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 местах, где должны быть расположены яркие линии, присущие данному газу (рис. 40). Например, две темные линии поглощения натрия расположены в желтой части спектра. (Вы можете сравнением легко отождествить линии водорода в спектрах Солнца и Сириуса, используя рисунок заднего форзаца.)

Изучение спектров позволяет производить анализ химического состава газов, излучающих или поглощающих свет. Количество ато-

мов или молекул, излучающих или поглощающих энергию, определяется по интенсивности линий. Чем больше атомов, тем ярче линия в спектре излучения или тем она темнее в спектре поглощения.

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 на форзаце.)

Надо помнить, что спектральный анализ позволяет определять химический состав только самосветящихся или поглощающих излучение газов. Химический состав твердого тела при помощи спектрального анализа определить нельзя.

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

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

где v — лучевая скорость относительного движения с ее знаком (минус при сближении), λ_0 — нормальная длина волны света при неподвижном источнике, λ — 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.

Скорости движения тел на Земле могли бы вызвать лишь незначительные смещения линий в спектрах тел, но и скорости небесных тел (обычно десятки и сотни км/с) вызывают смещения столь малые, что их можно измерить на спектрограмме только под микроскопом.

Получив спектрограмму светила, над ней и под ней впечатывают спектры сравнения от земного источника излучения, например от ртутной или неоновой лампы (рис. 41). Спектр сравнения для нас неподвижен, и относительно него можно определять сдвиг линий спектра звезды. Он обычно составляет сотые или десятые доли миллиметра на фотографии. Чтобы выяснить, какому изменению соответствует полученный на спектрограмме сдвиг, надо знать масштаб спектра — на сколько меняется длина волны, если мы продвигаемся вдоль спектра на 1 мм. Подстановка в формулу величин λ , λ_0 и $c = 300\,000$ км/с позволяет определить v — лучевую скорость движения светила.

Когда тело раскалено докрасна, в его сплошном спектре ярче всего красная часть. При дальнейшем нагревании наибольшая яркость в спектре переходит в желтую, потом в зеленую часть и т. д. Теория излучения света, проверенная на опыте, показывает, что распределение яркости вдоль сплошного спектра зависит от тем-

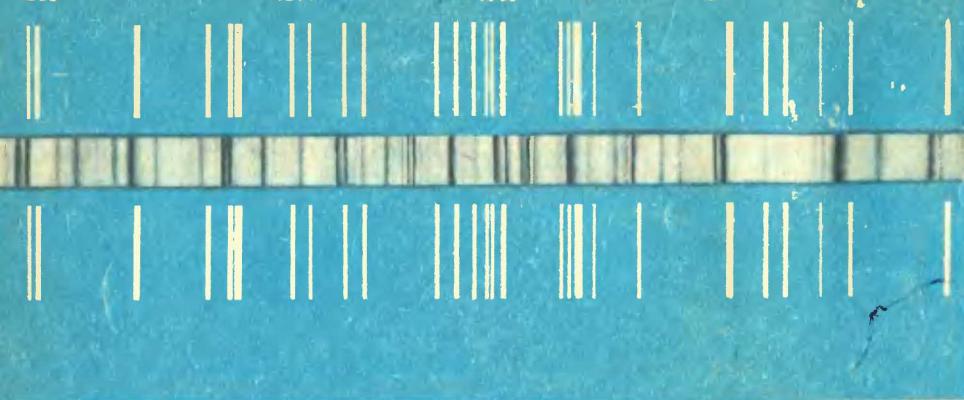


Рис. 41. Смещение линии H_{γ} в спектре одной из звезд при ее движении по лучу зрения. Сверху и снизу — лабораторные спектры сравнения ванадия. Над ними написаны длины волн в ангстремах ($1\text{\AA} = 0,0001 \text{ мкм}$).

пературы тела. Зная эту зависимость, можно установить температуру Солнца и звезд. Температуру планет и температуру звезд определяют еще при помощи термоэлемента, помещенного в фокусе телескопа или специально созданных приемников инфракрасного излучения.

Итак, мы видим, что многие астрономические данные, например температура светил, определяются способами, проверяющими друг друга. Получаемые данные вполне достоверны. Они проверены многими учеными в разных странах.

- 13**
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 мм. На сколько изменилась длина волны, если в спектре расстояние в 1 мм соответствует изменению длины волны на 0,004 мкм (эта величина называется дисперсией спектрограммы)? С какой скоростью движется звезда? Нормальная длина волны $0,5 \text{ мкм} = 5000 \text{ \AA}$ (ангстрем) $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$.
 3. По рисунку 41 определите с помощью масштабной линейки дисперсию в ангстремах на 1 мм длины спектра в интервале длин волн 4261—4277 \AA . Измерьте, используя лупу, сдвиг центра линии H_{γ} в спектре звезды (самая широкая) относительно той же линии спектра сравнения. Вычислите по этому сдвигу линий лучевую скорость звезды.

2. Оптические и радионаблюдения. Мы выяснили, что разнообразные и ценные сведения о светилах дает астрономам спектральный анализ. Однако для изучения небесных объектов применяют и другие методы, например фотографирование светил при помощи астрографов. Астрограф — это телескоп, предназначенный специально для фотографирования участков ночного неба. Положения звезд на снятых негативах измеряют при помощи специальных при-

боров в лаборатории. Негативы сохраняют в шкафах, где их ряды образуют «стеклянную фототеку». С помощью астрономических фотографий можно измерить медленные перемещения сравнительно близких звезд на фоне более далеких, увидеть изображения очень слабых объектов на негативе, измерить величину потоков излучения, приходящего 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 цветные светофильтры, астрономы количественно и с большой точностью оценивают цвет объекта.

Наши представления о небесных телах и их системах чрезвычайно обогатились после того, как стало возможным изучать их радиоизлучение. Для этого созданы радиотелескопы различных систем. Антенны некоторых радиотелескопов похожи на обычные рефлекторы. Они собирают радиоволны в фокусе металлического вогнутого зеркала. Это зеркало можно сделать решетчатым (рис. 42) и громадных размеров — диаметром в десятки и сотни метров.

Другие радиотелескопы представляют собой огромные подвижные рамы, на которых параллельно друг другу укреплены металлические стержни или спирали (рис. 43). Приходящие радиоволны возбуждают в них электромагнитные колебания, которые после усиления поступают в очень чувствительную приемную радиоаппаратуру для регистрации радиоизлучения объекта. Есть радиотелескопы, состоящие из отдельных антенн, удаленных друг от друга (иногда более чем на 1000 км), с помощью которых производятся одновременные наблюдения космического радиоисточника. Такой способ позволяет узнать структуру радиоисточника и измерить его угловой размер, даже если он во много раз меньше угловой секунды.

3. Обсерватории. Астрономические исследования проводятся в научных институтах, университетах и обсерваториях. Пулковская обсерватория под Ленинградом (рис. 44) существует с 1839 г. и знаменита составлением точнейших звездных каталогов. Ее в прошлом

Рис. 42. Радиотелескоп с решетчатым зеркалом.



веке называли астрономической столицей мира. В ходе бурного 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.

Не каждая обсерватория ведет все виды астрономических работ, но на многих есть специальные инструменты, предназначенные для решения определенного класса астрономических задач, например для определения точного положения звезд на небе, а также быстродействующие счетные машины.

4. Исследования с помощью космической техники занимают особое место в методах изучения небесных тел и космической среды. Начало этих исследований было положено запуском в СССР в 1957 г. первого в мире искусственного спутника Земли, а затем полетом первого в мире космонавта, советского гражданина — Ю. А. Гагарина. К настоящему времени космонавтика сделала возможным: 1) создание внеатмосферных искусственных спутников Земли; 2) создание искусственных спутников Луны и планет; 3) доставку приборов, управляемых с Земли, на Луну и планеты; 4) создание автоматов, доставляющих с Луны пробы грунта; 5) полеты в космос лабораторий с людьми и высадку космонавтов на Луну.

Рис. 43. Радиотелескоп с антенной в форме спиралей, установленных на общей раме.

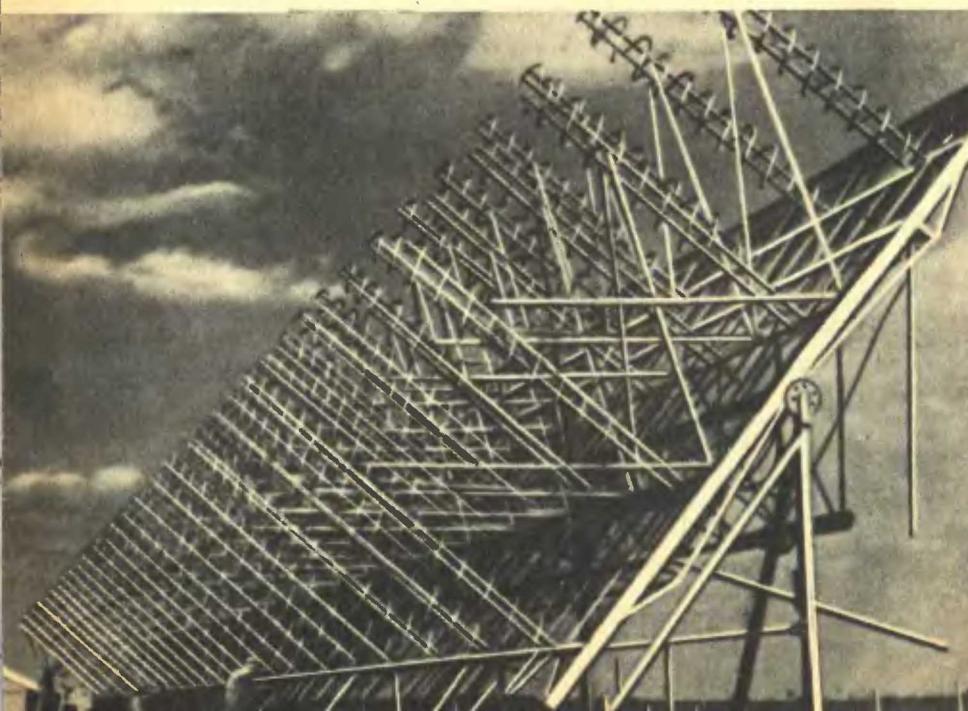


Рис. 44. Главное здание Пулковской обсерватории.

Внеатмосферные наблюдения позволяют принимать излучения, которые сильно поглощаются земной атмосферой: далекие ультрафиолетовые, рентгеновские и инфракрасные лучи, радиоизлучение некоторых длин волн, а также корпскулярные излучения Солнца и других тел. Внеатмосферные наблюдения Луны и планет, звезд и туманностей, межпланетной и межзвездной среды очень обогатили наши знания о природе и физических свойствах этих объектов¹.

14. ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАНЕТ ЗЕМНОЙ ГРУППЫ И ЗЕМЛИ

1. Изучение физической природы планет. Уже давно были установлены размеры и массы планет, период их вращения вокруг оси и наклон этой оси к плоскости орбиты для каждой планеты. Размеры и масса планет определяют еще одну важную характеристику — 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 у поверхности, атмосферы плотные и содержат молекулярный водород, который практически отсутствует в атмосферах четырех планет, ближайших к Солнцу. Плотность атмосферы и ее

¹ В настоящее время новые открытия происходят так часто, что книги, в частности учебники, не могут за ними успевать, поэтому новости астрономии следует черпать из журналов, лекций и газет.

химический состав определяют степень поглощения в ней светового, теплового и корпускулярного излучения, идущего от Солнца. Температура поверхности планеты зависит от ее расстояния до Солнца и наличия атмосферы. Вращение планеты 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.

Об основных результатах исследований речь пойдет в следующих параграфах.

2. Характеристика планет земной группы. 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 изученный, близок по размеру и массе к планетам 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 отсутствием их. Изучение этих планет способствует более глубокому знанию физической природы Земли.

3. Земля. Атмосфера. Газовая оболочка — атмосфера, окружающая Землю, содержит 18% 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 температура падает с высотой; выше лежит стратосфера — слой постоянной температуры порядка -40°C . С высоты около 25 км температура земной атмосферы медленно растет вследствие поглощения ультрафиолетового излучения.

Плотность атмосферы падает с высотой. На высоте около 6 км она в 2 раза меньше, чем у поверхности Земли. На высоте в сотни километров плотность атмосферы измеряется по торможению движения искусственных спутников Земли. Там она в миллионы раз меньше, чем у поверхности. Выше, до нескольких радиусов Земли, имеется только разреженный водород. Плотность там порядка сотен атомов в кубическом сантиметре.

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 вредное рентгеновское излучение Солнца. Атмосфера предохраняет нас и от непрерывной бомбардировки метеоритами и от разрушающего действия космических лучей — потоков быстро летящих элементарных частиц (в основном протонов и ядер атомов гелия).



Рис. 45. Схема радиационного пояса (магнитосферы) Земли.

Атмосфера играет важнейшую роль в тепловом балансе Земли. Видимые глазом солнечные лучи могут проходить через нее почти без ослабления. Они поглощаются земной поверхностью, которая при этом нагревается и излучает инфракрасные лучи. Только благодаря существованию атмосферы на Земле смогла появиться жизнь.

Вид Земли из космоса представлен на рисунках 31 и 32. Около половины поверхности земного шара всегда окутано облаками. Если бы Земля постоянно была окутана облаками, то люди никогда бы не увидели звездного неба и, возможно, очень долго не узнали бы о существовании безграничной Вселенной с множеством миров.

4. Земля. Магнитное поле. Магнитное поле Земли достаточно велико (около $5 \cdot 10^5$ Гл) и позволяет пользоваться компасом, что возможно не на всякой планете. С удалением от Земли индукция магнитного поля ослабевает.

Исследование околоземного пространства космическими аппаратами показало, что наша планета окружена мощным радиационным поясом (рис. 45), состоящим из быстро движущихся заряженных элементарных частиц — протонов и электронов. Его называют также поясом частиц высоких энергий (на рисунке 45 густота цвета показывает степень концентрации частиц).

Внутренняя часть пояса простирается примерно на 500—5000 км от поверхности Земли.

Внешняя часть радиационного пояса находится между высотами в 1—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 выбра-

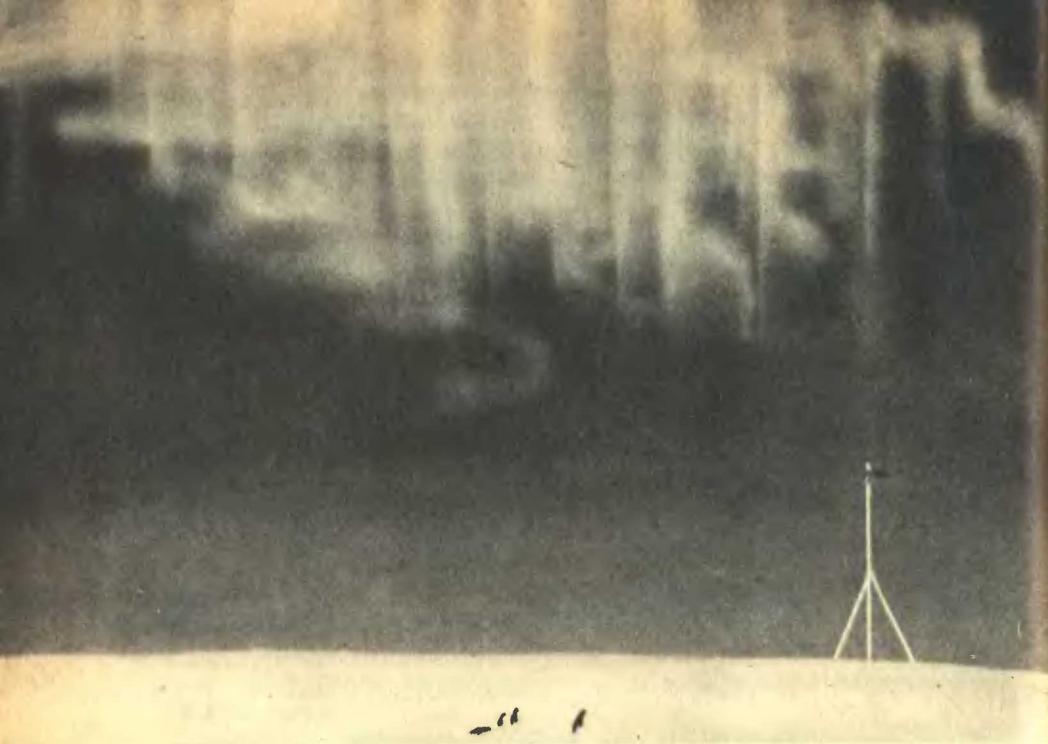


Рис. 46. Полярное сияние.

сываемых 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 поток 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. 46). 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 индукций магнитного поля, проникают в атмосферу. Частицы бомбардируют молекулы воздуха, ионизируют их и возбуждают свечение, как поток электронов в вакуумной трубке. М. В. Ломоносов первым высказал догадку о том, что полярные сияния имеют электрическую природу. 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.

15. ФИЗИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НА ЛУНЕ И ЕЕ РЕЛЬЕФ

1. Физические условия на Луне. Луна — самое близкое к Земле небесное тело и потому изучена лучше всего. Ближайшие к нам планеты примерно в 100 раз дальше, чем Луна. Луна меньше Земли по диаметру вчетверо, а по массе в 81 раз. Средняя ее плотность $3,3 \cdot 10^3$ кг/м³, т. е. меньше, чем у Земли. Вероятно, у Луны нет такого плотного ядра, какое есть у Земли.

Мы видим всегда только одно полушарие Луны, на котором никогда не заметно ни облаков, ни малейшей дымки, что служило одним из доказательств отсутствия на Луне водяных паров и атмосферы. Позднее это было подтверждено прямыми измерениями на поверхности Луны. Небо на Луне даже днем было бы черное, как в безвоздушном пространстве, но окружающая Луну разреженная пылевая оболочка немного рассеивает солнечный свет.

На Луне нет атмосферы, смягчающей палящие солнечные лучи, не пропускающей к поверхности опасные для живых организмов рентгеновское и корпускулярное излучения Солнца, уменьшающей отдачу энергии ночью в мировое пространство и защищающей от космических лучей и потоков микрометеоров. Нет там ни облаков, ни воды, ни туманов, ни радуги, ни зари с рассветом. Тени резкие и черные.

С помощью автоматических станций установлено, что непрерывные удары мелких метеоритов, дробя поверхность Луны, как бы обтачивают ее и слаживают рельеф. Мелкие осколки не превращаются в пыль, а в условиях вакуума быстро спекаются в пористый шлако-подобный слой. Происходит молекулярное сцепление пыли в подобие пемзы. Такая структура лунной коры придает ей малую теплопроводность. В результате при сильных колебаниях температуры снаружи в недрах Луны даже на небольшой глубине температура сохраняется постоянной. 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°C, а в противоположной точке ночного полушария —170°C. Вот как изменяется температура в течение одного лунного дня!

2. Рельеф Луны. Уже со времен Галилея начали составлять карты видимого полушария Луны. Темные пятна на поверхности Луны были названы «морями» (рис. 47). Это низменности, в которых нет ни капли воды. Дно их темное и сравнительно ровное. Большину часть поверхности Луны занимают гористые, более светлые пространства. 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 окружают 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.



Рис. 47. Схематическая карта крупнейших деталей на обращенном к Земле полу-
шарии Луны.

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 термина тора, т. е. границы дня и ночи на Луне. Тогда освещенные Солнцем сбоку малейшие неровности отбрасывают длинные тени и легко заметны. Очень интересно в течение часа проследить в телескоп за тем, как вблизи термина тора наочной стороне загораются светлые точки — это вершины валов лунных кратеров. Постепенно из тьмы выплывает светлая подкова — часть кратерного вала, но дно кратера еще погружено в

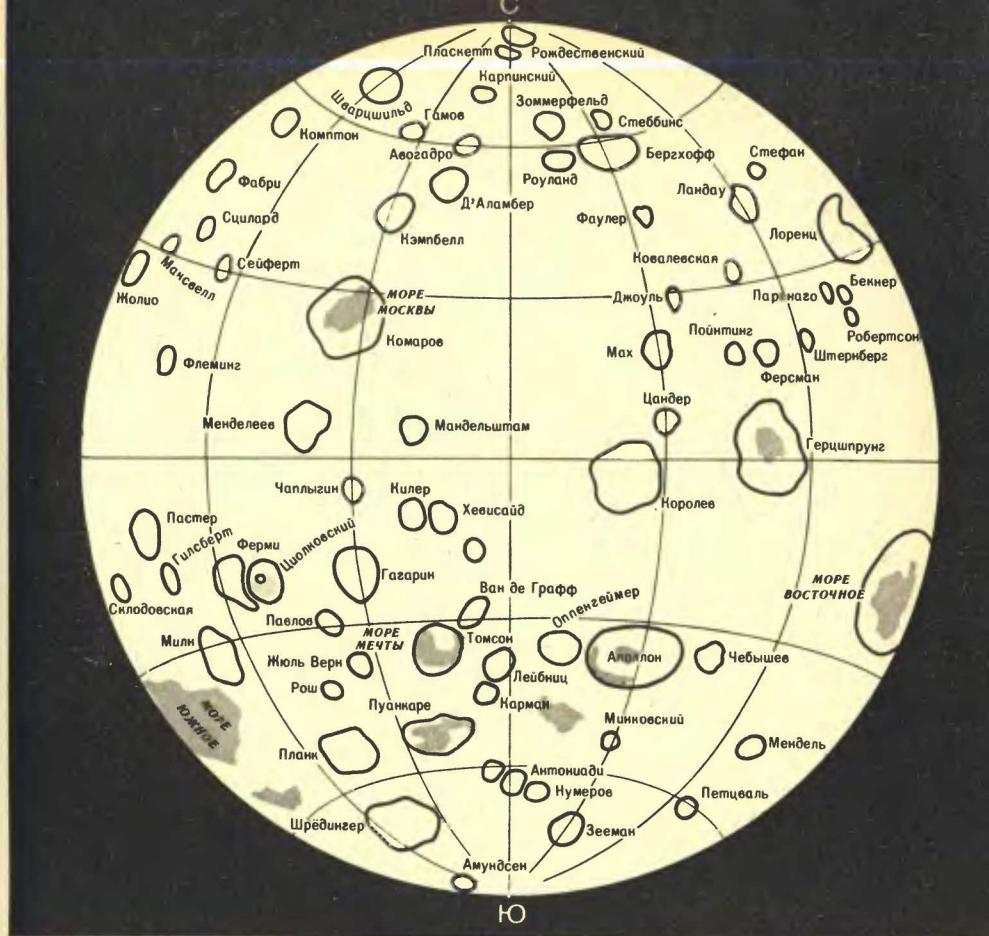


Рис. 48. Схематическая карта обратной стороны Луны, невидимой с Земли.

полный мрак. Лучи Солнца, скользя все ниже, постепенно обрисовывают и 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. В центре кратера часто видна горка (рис. 49), в действительности это группа гор. Кратерные стены обрываются террасами круто внутрь. Дно кратеров лежит ниже окружающей местности. Рассмотрите внимательно вид внутренности вала и центральной горки кратера Коперник, сфотографированных искусственным спутником Луны сбоку (рис. 50). С Земли этот кратер виден прямо сверху и без таких подробностей. Вообще с Земли в лучших условиях едва видны кратеры до 1 км в диаметре. Вся поверхность Луны изрыта мелкими кратерами — пологими углублениями — это результат ударов мелких метеоритов.

С Земли видно только одно полушарие Луны. В 1959 г. советская космическая станция, пролетая мимо Луны, впервые сфотографировала невидимое с Земли полушарие Луны. 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, посыпавшимися к Луне. Искусственно созданные аппараты неоднократно опускались на ее поверхность. В 1969 г. на поверхность Луны впервые опустился космический аппарат с двумя американскими космонавтами. К настоящему времени на Луне побывало несколько экспедиций космонавтов 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. Образцы оказались очень сходными с земными горными породами, но у них обнаружили и ряд особенностей, свойственных лишь лунным минералам. 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. Более того, на Луну посыпались советские луноходы (автоматические самоходные лаборатории, рис. 51), 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 всевозможной величины. Луноход «шаг за шагом», управляемый с Земли по радио, передвигался с учетом характера местности, вид которой передавался

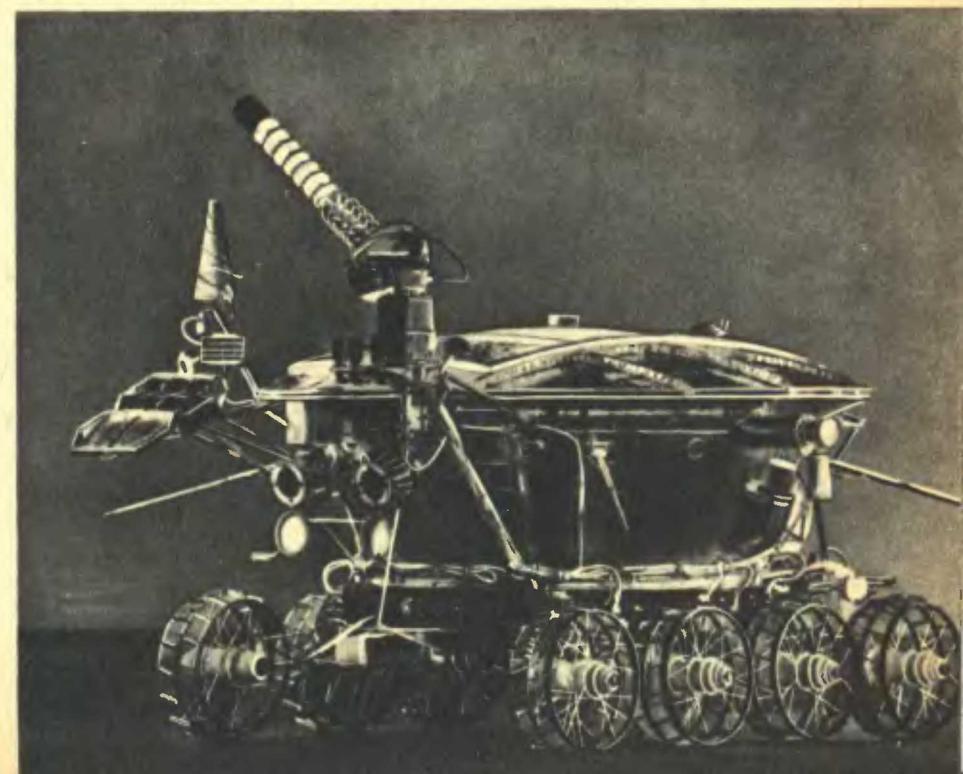


Рис. 49.
Цирк Альфонс, в
котором наблю-
далось выделе-
ние вулкаличес-
ких газов (сни-
мок сделан авто-
матической стан-
цией вблизи Лу-
ны).



Рис. 50. «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).

Рис. 51. Советский луноход.



на Землю по телевидению. Это величайшее достижение советской науки и человечества важно не только как доказательство неограниченных возможностей человеческого разума и техники, но и как прямое исследование физических условий на другом небесном теле. Оно важно и тем, что подтверждает большинство выводов, которые астрономы делали лишь из анализа света Луны, приходящего к нам с расстояния 380 000 км.

Изучение лунного рельефа и его происхождения интересно и для геологии — Луна как бы музей древней истории ее коры, так как вода и ветер ее не разрушают. Но Луна — это не совсем мертвый мир. В 1958 г. советский астроном Н. А. Козырев заметил в кратере Альфонс выделение газов из лунных недр.

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, цепочки кратеров, огромная столовая гора со склонами такими же, как и у кратеров. Имеется сходство лунных кратеров с лавовыми озерами Гавайских островов. Менее крупные кратеры образовались от ударов больших метеоритов. На Земле есть также ряд кратеров, образованных при падении метеоритов. Что касается лунных «морей», то они, по-видимому, образованы проплавлениями лунной коры и излияниями лавы вулканов. Конечно, на Луне, как и на Земле, основные этапы горообразования происходили в далеком прошлом.

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 малой силой тяжести на поверхности планет и с разреженностью их атмосферы, мало смягчающей бомбардировку метеоритами.

Советские космические станции установили отсутствие у Луны магнитного поля и поясов радиации и наличие на ней радиоактивных элементов.

- 14 1. Видны ли с Луны те же созвездия (видны ли они так же), что и с Земли?
2. На краю Луны видна гора в виде зубца высотой 1''. Рассчитайте ее высоту в километрах.
3. Используя формулы (§ 12.2), определите диаметр лунного цирка Альфонс (в км), 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.

ПЛАНЕТЫ МЕРКУРИЙ, ВЕНЕРА И МАРС

1. **Околосолнечные планеты.** Близость Венеры и особенно Меркурия к ослепительному Солнцу, а также отсутствие возможности наблюдать их диски на небе целиком, когда планеты ближе всего к Земле, очень затрудняют изучение поверхности и атмосферы этих планет. Лишь в последние годы радиолокационные наблюдения Венеры и Меркурия, фотографирование их с близкого расстояния

автоматическими станциями и другие методы впервые дали надежные сведения о вращении этих планет вокруг оси и о строении их поверхности.

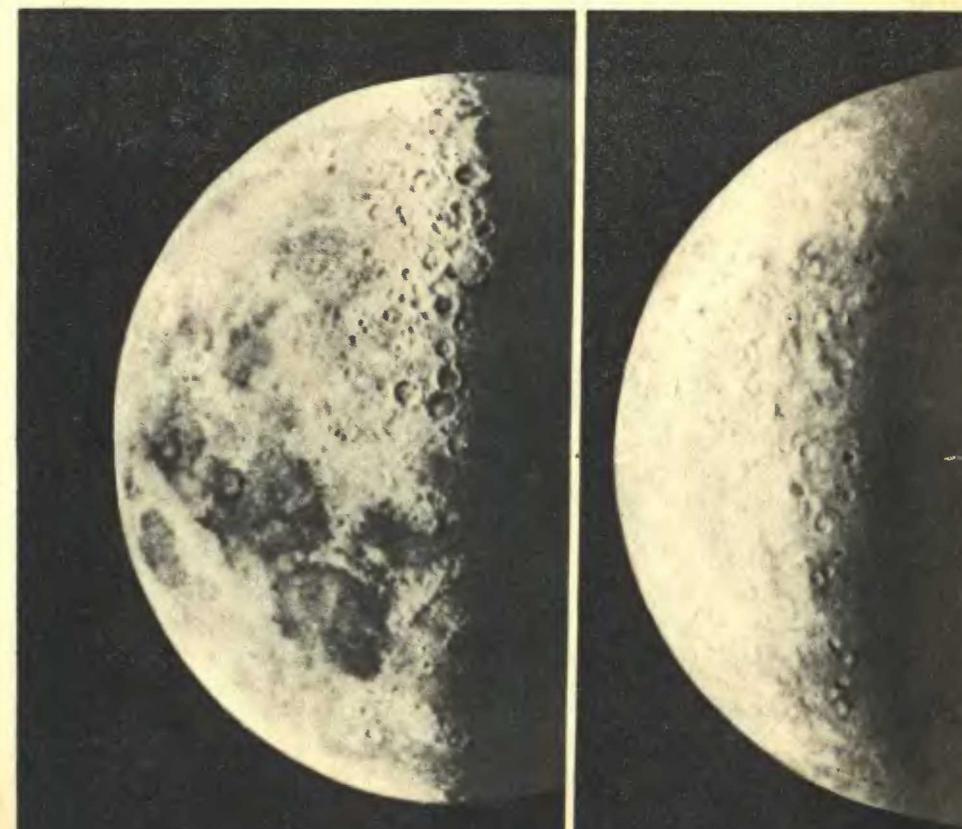
Меркурий, ближайшая к Солнцу планета, немногим больше Луны, но средняя плотность ее почти такая же, как и у Земли. Радионаблюдения обнаружили крайне медленное вращение Меркурия. Звездные сутки его, т. е. период вращения вокруг оси относительно звезд, равны 58,65 наших суток. Солнечные сутки на этой планете (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. (Более точные числовые данные о планетах см. в приложении V.)

Атмосфера на Меркурии практически отсутствует. Поэтому дневное полушарие его сильно накаляется. В подсолнечной точке на Меркурии была измерена температура более +300°C. При такой температуре плавится свинец.

Поверхность Меркурия усеяна кратерами настолько густо, что на фотографиях ее трудно отличить от поверхности Луны (рис. 52).

Венера лишь немногим меньше Земли по объему и массе. Еще Ломоносов и его современники обнаружили существование у Венеры

Рис. 52. Сравнение Луны и Меркурия в одинаковой фазе:
Луна — слева, Меркурий — справа (масштаб этих фотографий неодинаков).



атмосферы. Ломоносов правильно полагал, что она плотнее, чем земная. Позднее на основе спектральных наблюдений было установлено, а затем и подтверждено исследованиями, выполненными советскими автоматическими станциями, что атмосфера Венеры в основном состоит из углекислого газа. Венера окутана сплошным покровом белых облаков, прозрачным только для радиоволн.

Радионаблюдения выявили, что Венера вращается вокруг оси в сторону, противоположную той, в которую врачаются все планеты (кроме Урана) и в которую она сама обращается вокруг Солнца. Солнечные сутки на ней составляют 117 земных суток. (Звездные периоды вращения всех планет приведены в таблице V приложения.) Наклон оси Венеры к плоскости ее орбиты близок к прямому углу, так что на ней нет смены времен года.

С 1961 г. начались запуски к Венере советских автоматических станций. Некоторые станции имели аппараты, спускающиеся на Венеру на парашюте, автоматические приборы которых измеряли 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°C и давление 95—97 атмосфер ($\approx 10^7$ 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.

Крайне высокая температура в нижних слоях атмосферы Венеры и на ее поверхности в большой мере обусловлена так называемым «парниковым эффектом». Солнечные световые лучи поглощаются в нижних слоях и, излучаясь обратно в виде инфракрасных лучей, задерживаются ее облачным слоем, как тепло в парниках. С высотой над поверхностью температура понижается, и в стрatosфере Венеры царит мороз.

В видимых лучах облака Венеры совершенно однородны и белы, но в ультрафиолетовых отчетливо видна структура облачного слоя (рис. 53), говорящая о происходящих движениях газа 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 составить карты рельефа поверхности Венеры. Оказалось, что поверхность планеты в основном гладкая, хотя на ней найдены горные хребты и кратеры.

Телевизионные камеры советских автоматических станций, опущенные на поверхность планеты, впервые в мире передали на Землю панорамы окружающей их безжизненной каменистой местности (в 1975 г. — в черно-белом изображении («Венера-9 и -10»), а в 1982 г. — в цветном («Венера-13 и -14»)).

2. Марс. По размеру планета занимает промежуточное положение между Землей и Луной. 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 величиами и повторяются через 15 и 17 лет.

В небольшой телескоп легче всего заметить белые полярные шапки на полюсах планеты, состоящие из льда и замерзшего углекислого газа. Изредка на Марсе происходят мощные пылевые бури иногда длящиеся месяцами, поднимающие в воздух колоссальные 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.

Марс, подобно Луне и Меркурию, усеян кратерами (рис. 54). Как и на Луне, они в основном образуются от ударов метеоритов. Форма марсианских кратеров свидетельствует о явлениях выветривания и выравнивания его поверхности.

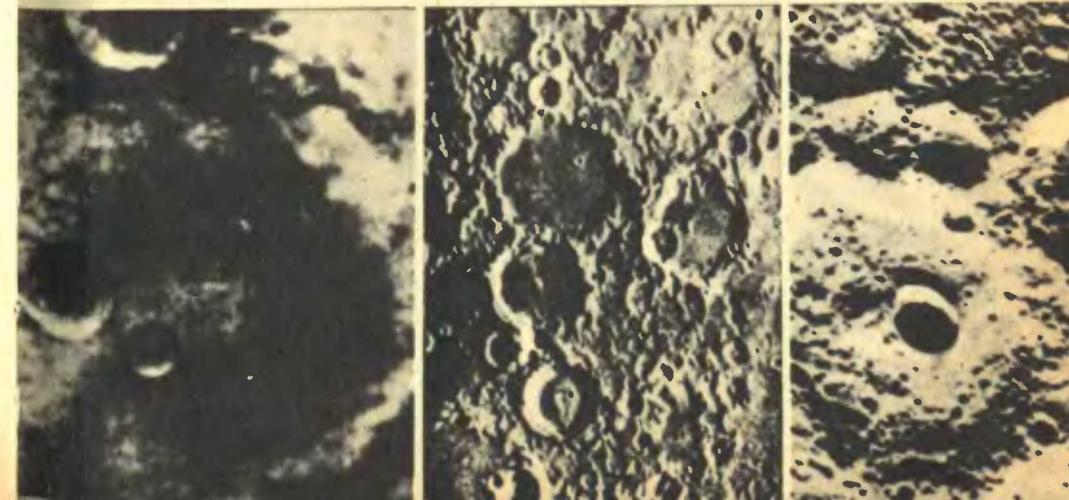
Существование на Марсе атмосферы было установлено уже давно. Однако эта атмосфера очень разрежена, и ее давление примерно в 100 раз меньше земного. В основном она состоит из углекислоты. Кислорода и водяного пара в ней крайне мало, но иногда можно наблюдать редкие белые облака и туман, чаще над полярными шапками.

Вода на Марсе из-за низкого атмосферного давления в основном может существовать только в виде льда.

Рис. 54. Сравнение кратеров (слева направо) на Марсе, Луне и Меркурии.



Рис. 53. Фотография Венеры, окутанной облаками, полученная космической станцией.



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.

На поверхности Марса заметны темные пятна на общем оранжевом фоне (см. форзац). Темные пятна на Марсе называли «морями», а оранжевые пространства — «пустынями». По видимому перемещению пятен на диске установлена продолжительность солнечных суток на Марсе 24 ч 37,4 мин, почти как на Земле.

Суточные температурные изменения на Марсе достигают 80—100 °С.

На экваторе температура редко поднимается даже летом до 0 °С, а к ночи она падает до жестокого мороза (−70; −100 °С), особенно холодно на полюсах (до −130 °С).

Суровые условия на Марсе являются следствием того, что Марс в 1,5 раза дальше от Солнца, чем Земля, и получает энергии от него в два с лишним раза меньше, а ночью грунт из-за разреженности атмосферы остывает очень быстро.

Объем наших сведений о Марсе резко возрос благодаря использованию автоматических станций-лабораторий, выведенных на орбиту вокруг Марса в качестве его искусственных спутников. По команде с Земли они производили фотографирование поверхности планеты. Несколько космических аппаратов опускалось на поверхность Марса. Получены тысячи фотографий планеты с разного расстояния, на основе которых составлены подробные карты планеты. 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 напоминают земные русла высохших рек.

Несмотря на крайне суровые физические условия, Марс является единственной планетой нашей Солнечной системы, на которой можно было ожидать существование примитивных форм жизни. Биологические эксперименты по обнаружению следов органической жизни (хотя бы в форме бактерий), проведенные автоматическими космическими аппаратами «Викинг-1 и -2», не привели к положительному результату.

- 15 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. Пользуясь таблицей V приложения, определите по цветным рисункам Марса (см. форзац) примерное значение диаметра его полярной шапки (в км), сравнивая ее размеры с диаметром изображения Марса на рисунке (его можно измерить с помощью циркуля и линейки).

• ПЛАНЕТЫ-ГИГАНТЫ

Из четырех гигантских планет лучше всего изучен Юпитер — самая большая планета этой группы и ближайшая из планет-гигантов к нам и Солнцу. Период его обращения вокруг Солнца около 12 лет. Ось вращения Юпитера почти перпендикулярна к плоскости его орбиты, поэтому смены времен года 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. 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 CH_4 и, по-видимому, много гелия, а в атмосфере Юпитера и Сатурна обнаружен еще и аммиак NH_3 . Отсутствие полос 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.

Теоретически построены модели массивных планет, состоящих из водорода и гелия. В центре планеты температура может достигать нескольких тысяч градусов. Плотность газовой атмосферы у основания около 100 кг/м³. Малая средняя плотность планет-гигантов может объясняться тем, что она получается делением массы на видимый объем, а объем мы оцениваем по непрозрачному слою обширной атмосферы. *Малая плотность и обилие водорода отличают планеты-гиганты от остальных планет.*

Исключительным образованием в Солнечной системеказалось яркое кольцо толщиной не более чем в несколько километров, окружающее Сатурн (см. форзац). Оно расположено в плоскости экватора Сатурна, которая наклонена к плоскости его орбиты на 27°. Поэтому в течение 30-летнего оборота Сатурна вокруг Солнца кольцо видно нам то довольно раскрытым, то точно с реб-



Рис. 55. Изменения вида кольца Сатурна.

ра, когда его можно разглядеть в виде тонкой линии лишь в большие телескопы (рис. 55). Ширина этого кольца такова, что по нему, будь оно сплошное, мог бы катиться земной шар.

Русский ученый А. А. Белопольский, изучив спектр кольца, подтвердил теоретический вывод о том, что кольцо у Сатурна должно быть не сплошным, а состоять из множества мелких частиц. По спектру, используя принцип Доплера — Физо, он установил, что внутренние части кольца врачаются 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 кольца.

Система колец Сатурна либо возникла при разрушении некогда существовавшего спутника планеты (например, при его столкновении с другим спутником или астероидом), либо же представляет остаток того вещества, из которого в далеком прошлом образовались спутники Сатурна и которое из-за приливного воздействия планеты не смогло «собраться» в отдельные спутники.

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

Из остальных данных о планетах заслуживает упоминания факт осевого вращения Урана в направлении, противоположном тому, в котором врачаются почти все планеты. Ось его образует с плоскостью орбиты угол всего лишь 8° , так что он вращается как бы лежа на боку. Вследствие этого на планете происходит крайне резкая смена времен года. Год на Уране продолжается 84 земных года. Только Уран и Венера врачаются вокруг своей оси не в ту сторону, в которую врачаются все остальные планеты.



А. А. Белопольский [1854—1934]. Советский астроном, один из основателей современных методов спектральных исследований астрономических объектов. Экспериментально подтвердил принцип Доплера — Физо и оценил лучевые скорости большого количества звезд. Исследовал вращение колец Сатурна и доказал, что они состоят из мелких космических тел.

16 Кольцо Сатурна кажется нам эллипсом. Измерив отношение осей любого эллипса (рис. 55), найдите (с помощью таблиц тригонометрических функций) угол, который плоскость кольца составляет с лучом зрения.

18. ДВИЖЕНИЕ ЛУНЫ И СПУТНИКОВ ПЛАНЕТ. ЗАТМЕНИЯ

1. **Спутники планет и Луна.** У Меркурия и Венеры спутников нет. У остальных планет, за исключением Земли и Плутона, спутники неизмеримо меньше своих планет. У Земли имеется лишь один естественный спутник — Луна. Она меньше Земли по диаметру всего лишь в 4 раза. У Плутона обнаружен единственный спутник — Харон, который по размерам всего лишь вдвое меньше, чем сама планета. Самые крупные спутники: Титан (спутник Сатурна) и Ганимед (третий спутник Юпитера). Они в 1,5 раза больше Луны по диаметру и немного больше Меркурия. Титан — единственный спутник, обладающий мощной атмосферой. По температуре и содержанию различных газов атмосфера Титана значительно отличается от земной, хотя она также в основном состоит из азота.

С помощью автоматических межпланетных станций удалось получить с близкого расстояния четкие фотографии спутников Марса и многих спутников Юпитера и Сатурна. 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 (рис. 56).

Все спутники, для которых удалось установить вращение вокруг оси, в том числе и Луна, повернуты к своей планете всегда одной и той же стороной. Поэтому их звездные периоды вращения равны периодам их обращения вокруг своих планет, вследствие чего ни с одной планеты нельзя видеть обратную сторону этих спутников.

Четыре наибольших спутника Юпитера иногда можно разглядеть даже в призменный бинокль. В телескоп за несколько часов можно проследить, как спутники заметно перемещаются (рис. 57), 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 установил 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 поверхности. Фобос находится от поверхности Марса на расстоянии меньшем, чем диаметр планеты.

Далекие спутники Юпитера и Сатурна очень малы, и некоторые из них обращаются в сторону, противоположную вращению самой планеты. У всех спутников Урана плоскости орбит почти перпендикулярны к плоскости орбиты Урана и близки к плоскости экватора планеты.



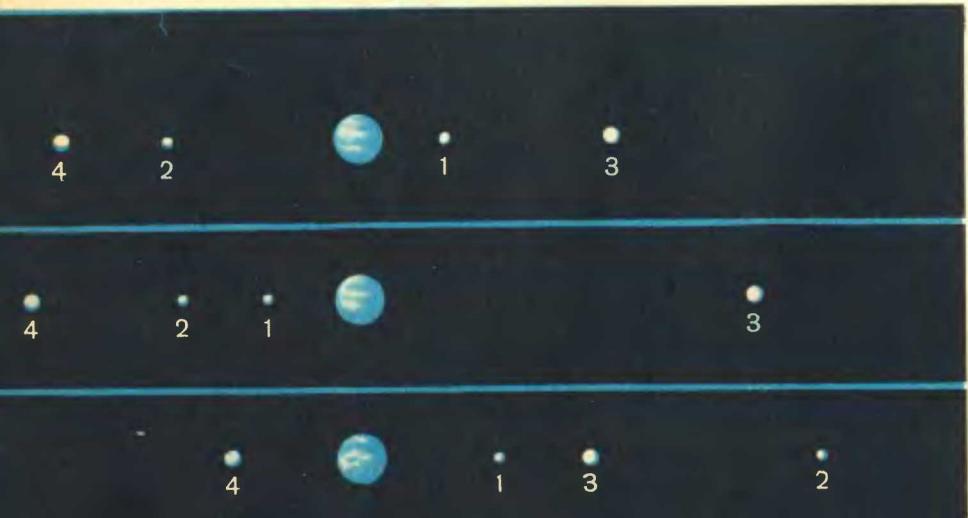
Рис. 56. Фотография Фобоса — спутника Марса, сделанная с одного из искусственных спутников.

еще около $27^\circ : 13^\circ \approx 2$ сут, чтобы прийти в прежнее положение относительно Земли и Солнца. Так и получается, что синодический месяц, иначе солнечные сутки Луны, составляет около 29,5 земных суток. Следовательно, на Луне продолжительность дня равна двум земным неделям и две наши недели составляют там ночь.

Ближайшая к Земле точка эллиптической лунной орбиты называется **перигеем**, а наиболее удаленная — **апогеем**.

Схема, поясняющая смену фаз Луны, показана на рисунке 59. 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. 57. Примеры изменения расположения четырех главных спутников Юпитера за три последующих дня.



2. Движение Луны. Луна движется вокруг Земли в ту же сторону, в какую Земля вращается вокруг своей оси.

Звездный, или сидерический, месяц — это период обращения Луны вокруг Земли относительно звезд; синодический месяц — это период обращения Луны вокруг Земли относительно Солнца. Синодический месяц — это промежуток времени между одинаковыми фазами Луны. Звездный месяц равен 27,3 сут, а синодический месяц — 29,5 сут.

Луна L (рис. 58) проходит за сутки по своей орбите $360^\circ : 27,3 \approx 13^\circ$. За 27,3 сут Земля T вместе с Луной пройдет по своей орбите относительно Солнца дугу TT_1 , почти 27° . Луне, следовательно, понадобится

легко понять, что фазы Земли и Луны взаимно противоположны. Когда Луна почти полная, Земля с Луны видна как узкий серп. На рисунке 31 представлена фотография неба и лунного горизонта с Землей, у которой видна лишь ее освещенная часть — меньше полукруга.

- 17 1. Серп Луны вечером обращен выпуклостью вправо и близок к горизонту. В какую сторону горизонта вы смотрите?
2. Сегодня верхняя кульминация Луны произошла в полночь. Когда верхняя кульминация Луны повторится завтра?
3. Через какие промежутки времени звезды кульминируют на Луне?

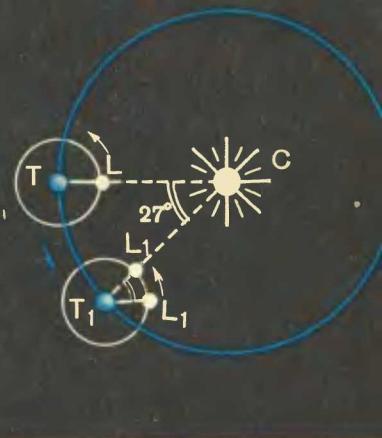
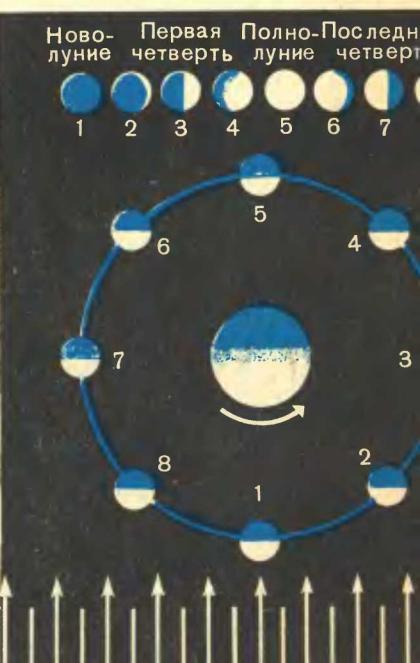


Рис. 58. Различие между звездным месяцем и синодическим месяцем.

3. Лунные и солнечные затмения. Земля и Луна, освещенные Солнцем, отбрасывают конусы тени (сходящиеся) и конусы полутиени (расходящиеся). Они изображены на рисунке 60. 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 (вспомните спектр), а пропускает внутрь конуса преимущественно красные лучи, которые она поглощает 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



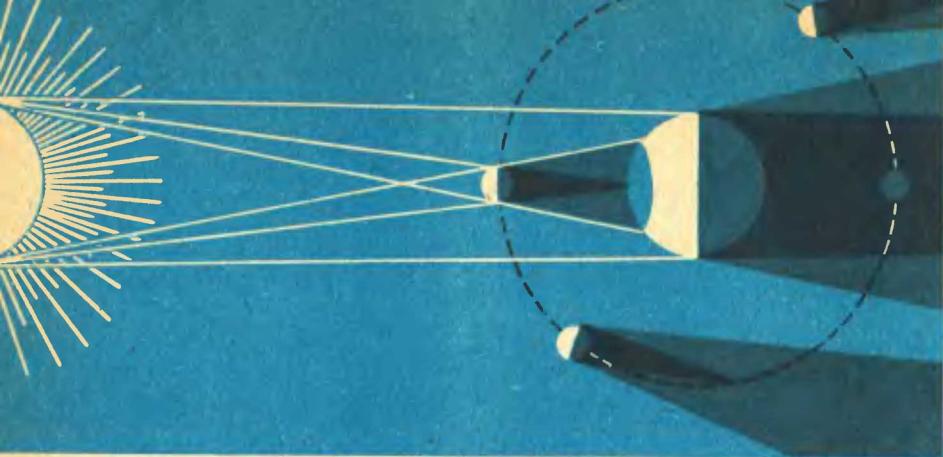


Рис. 60. Схема затмений Луны и Солнца (масштаб рисунка не соблюдается).

Солнца видно лишь на малом участке Земли. Когда Луна перемещается по своей орбите, ее тень движется по Земле с запада на восток, вычерчивая последовательно узкую полосу полного затмения (рис. 61).

Там, где на Землю падает полутиень Луны, наблюдается частное затмение Солнца (рис. 62).

Вследствие небольшого изменения расстояний Земли от Луны и Солнца видимый угловой диаметр Луны бывает то больше, то 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 к о л ь ц е о б р а з н о е 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, где затмение будет видно в одинаковой фазе (изофазы), 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 северный ужас на невежественных людей. Их 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, по горизонту горит зарево кольцо — свечение атмосферы, ос-

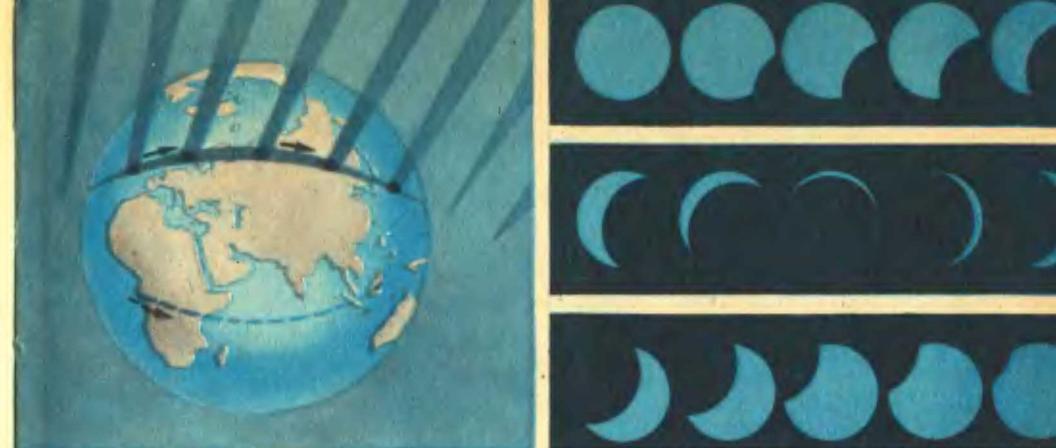


Рис. 61. Перемещение пятна лунной тени по Земле.

Рис. 62. Последовательность фаз частного затмения Солнца (снизу вверх из ряда в ряд).

вещенной лучами Солнца в местностях, где затмение неполное, вокруг черного солнечного диска простираются жемчужные лучи так называемой солнечной короны (см. рис. 76).

Если бы плоскость лунной орбиты совпадала с плоскостью эклиптики, каждое новолуние происходило бы солнечное, а 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.

Дело осложняется тем, что плоскость лунной орбиты вращается в пространстве (это один из видов возмущений в движении Луны относительно Земли, производимых притяжением Солнца). За 18 лет плоскость лунной орбиты делает полный поворот и периоды возможных затмений смещаются по датам года. Ученые древности заметили периодичность в затмениях, связанную с этим 18-летним периодом, и могли поэтому приближенно предсказывать наступление затмений. Сейчас ошибки предвычисления моментов затмений составляют менее 1 с.

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

- 18 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?
4. Можно ли с Северного полюса Земли видеть лунные затмения, происходящие в июне и ноябре?
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?

19. АСТЕРОИДЫ И МЕТЕОРИТЫ

1. Астероиды. Малые планеты, или астероиды, 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 2000 астероидов. Возможно астероиды возникли потому, что веществу по какой-то причине не удалось собраться в одно большое тело — планету. На протяжении миллиардов лет астероиды 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. 63). Конечно, у астероидов нет атмосферы. На небе малые планеты выглядят как звезды, отчего их и назвали астероидами, что в переводе с древнегреческого означает «з в е з д о п о д о б н ы е». Они отличаются от звезд лишь характерным для планет петлеобразным перемещением на фоне звездного неба. Орбиты некоторых астероидов имеют необычайно большие эксцентриситеты, вследствие чего в перигелии они подходят к Солнцу ближе, чем Марс и даже Земля (рис. 64). Икар подошел к Солнцу ближе, чем Меркурий. В 1968 г. Икар подошел к Земле почти в 10 раз ближе, чем Марс, но его ничтожное притяжение никакого влияния на Землю не имело. По временам близко подходят к Земле Гермес, Эрот и другие малые планеты.

2. Болиды и метеориты. Болидом называется довольно редкое явление — летящий по небу огненный шар (рис. 65). Это явление вызывается вторжением в плотные слои атмосферы крупных метеорных тел, окруженных обширной оболочкой раскаленных газов и частиц, образующихся при нагревании вследствие торможения в атмосфере. Болиды часто имеют заметный угловой диаметр в $\frac{1}{10}$ — $\frac{1}{2}$ видимого диаметра Луны и бывают видны даже днем. Суеверные люди принимали такие огненные шары за летящих драконов с огнедышащей пастью. От сильного сопротивления воздуха метеорное тело нередко раскалывается и с грохотом выпадает на Землю в виде осколков. Упавшее на Землю тело называется метеоритом.

Метеорит, имеющий небольшие размеры, иногда целиком испаряется в атмосфере Земли. В большинстве случаев масса метеорита за время полета сильно уменьшается. До Земли долетают лишь остатки метеорита, обычно успевающие остывть, когда космическая скорость его уже погашена сопротивлением воздуха. Иногда выпа-

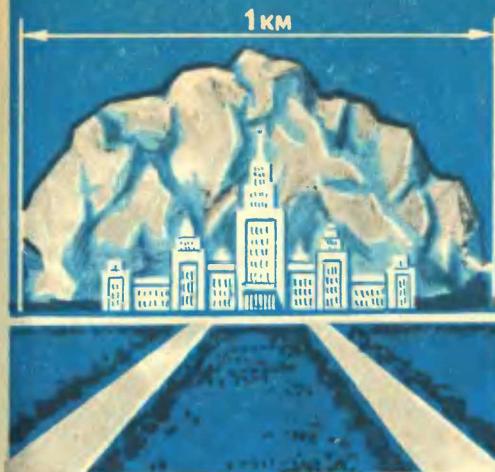


Рис. 63. Размер одного из наименьших известных астероидов в сравнении со зданием МГУ.

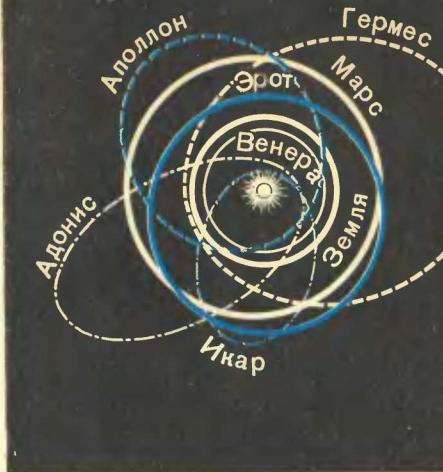


Рис. 64. Орбиты некоторых астероидов с большим эксцентриситетом орбит.

дает целый метеоритный дождь. При полете метеориты оплавляются и покрываются черной корочкой (рис. 66). Один такой «черный камень» в Мекке вделан в стену храма и служит предметом религиозного поклонения.

Бывает три вида метеоритов: каменные, железные и железо-каменные. Иногда метеориты находят через много лет после их падения. Особенно много находят железных метеоритов. В СССР метеорит — собственность государства и подлежит сдаче в музеи 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. Самый большой кратер из хорошо изученных находится в Аризоне (США) (рис. 67). Его диаметр 1200 м и глубина 200 м.

Рис. 65. Полет болида.



Рис. 66. Железный метеорит.





Рис. 67. Аризонский метеоритный кратер.

могли существовать в недрах разрушившейся планеты или крупного астероида.

Метеориты содержат только известные на Земле химические элементы, что снова показывает материальное единство Вселенной. Соединения, входящие в состав метеоритов, отличаются от земных пород и дают сведения о начальном этапе формирования планет Солнечной системы.

20. КОМЕТЫ И МЕТЕОРЫ

1. Открытие и движение комет. Находясь в пространстве вдали от Солнца, кометы имеют вид очень слабых, размытых, светлых пятен с ядром в центре. Большинство комет остаются такими и вблизи Солнца. Очень яркими и «хвостатыми» становятся лишь некоторые кометы, которые проходят сравнительно близко от Солнца.

Вид кометы с Земли зависит и от условий ее видимости — 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».

Впервые И. Ньютона вычислил орбиту кометы из наблюдений ее перемещения на фоне звезд и убедился, что она, подобно планетам, двигалась в Солнечной си-

Рис. 68. Орбиты комет Галлея и Энке.



стеме под действием тяготения Солнца. Позднее английский учёный Галлей вычислил орбиты уже многих наблюдавшихся комет и установил, что кометы, наблюдавшиеся в 1531, 1607 и 1682 гг., — это одно и то же светило, периодически возвращающееся к Солнцу. В афелии комета уходит за орбиту Нептуна (рис. 68) и через 75,5 лет возвращается вновь к Земле и Солнцу. Галлей впервые предсказал появление кометы в 1758 г. Через много лет после его смерти она действительно появилась. Ей присвоили название кометы Галлея и видели ее еще в 1835 и в 1910 гг. В следующий раз она приблизится к Солнцу в 1985—1986 гг.

Комета Галлея относится к числу периодических комет. Теперь известно много периодических 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 кометы вблизи Земли и Солнца, нелегко. Большинство таких неожиданно появляющихся комет, как и большинство периодических, не имеют хвоста и видны лишь в телескоп.

Каждый год появляются сведения об открытии нескольких неизвестных ранее комет. В каталоги занесено около тысячи наблюдавшихся комет. При открытии комета получает название по фамилии обнаружившего ее ученого.

Периодические кометы имеют орбиты, мало наклоненные к плоскости эклиптики и с небольшими эксцентриситетами. Например, комета Швассмана — Вахмана движется даже по почти круговой орбите, мало отличающейся от орбит астероидов. С другой стороны, у таких астероидов, как Икар и Гермес, орбиты скорее кометного, чем планетного, типа (вытянутые). У кометы Швассмана — Вахмана и у некоторых других комет туманная оболочка (кома) на время исчезала, и они становились совершенно неотличимы от астероидов.

2. Физическая природа комет. Маленькое ядро диаметром в несколько километров 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 образуют вокруг ядра газовую оболочку, которая вместе с ядром составляет голову кометы. Газы и пыль, выбрасываемые из ядра в голову кометы, отталкиваются действием давления солнечного излучения и корпускулярных потоков прочь от Солнца и создают хвост кометы, всегда направленный в сторону, противоположную Солнцу.



Рис. 69. Хвост кометы растет с приближением ее к Солнцу и всегда направлен от Солнца.

меты состоит в основном из паров углерода и циана, а в составе ее хвоста имеются ионизованные молекулы оксида углерода (CO_2) (угарного газа). Спектр ядра кометы является копией солнечного спектра, т. е. ядро светится отраженным солнечным светом. Кона, 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** разработал способ определения по кривизне хвоста силы, действующие на его частицы. Он установил классификацию кометных хвостов и объяснил ряд наблюдаемых в них явлений законами механики и физики. В последние годы стало ясно, что движение газов в прямых хвостах и изломы в них вызваны взаимодействием ионизованных молекул газов такого хвоста с налетающим на них потоком частиц (корпускул), летящих от Солнца, который называют солнечным ветром. Эти потоки несут с собой магнитное поле. Ионы не могут двигаться поперек магнитных линий, и магнитное поле отбрасывает ионы газа в хвост кометы. В таких случаях воздействие солнечного ветра превосходит тяго-



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

(рис. 69). Чаще всего он прямой, тонкий, струйчатый. У больших и ярких комет иногда наблюдается широкий, изогнутый веером хвост (рис. 70).

Чем ближе к Солнцу подходит комета, тем она ярче и тем длиннее ее хвост (рис. 69), вследствие большего ее облучения и интенсивного выделения газов. Хвост кометы иногда достигает 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 кометы имеет обычно яркие полосы. Анализ спектра показывает, что голова кометы имеет пары углерода и циана, а в составе ее хвоста имеются ионизованные молекулы оксида углерода (CO_2) (угарного газа). Спектр ядра кометы является копией солнечного спектра, т. е. ядро светится отраженным солнечным светом. Кона, 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.

тение к Солнцу в тысячи раз. Вспышки горячих газов на Солнце сопровождаются увеличением коротковолновой радиации и корпускулярных потоков. Это 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. Хотя в хвосте кометы есть угарный газ, он так разрежен, что никакими анализами не удалось обнаружить его примесь в приземном воздухе. Газы даже в голове кометы 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.

3. Происхождение комет и их распад на метеорные потоки. Кометы входят в состав Солнечной системы. Следовательно, они родились вместе с ней или в ней, хотя пока еще неизвестно, как именно. По гипотезе голландского ученого Оорта, кометы образуют огромное облако, простирающееся далеко за пределы орбиты Плутона. Большая часть комет находится на периферии Солнечной системы. Притяжение Юпитера может превратить некоторые кометы, первоначально двигавшиеся на очень большом расстоянии от Солнца и имевшие очень большой период, в короткопериодические, которые будут двигаться внутри планетной системы и постепенно разрушаться.

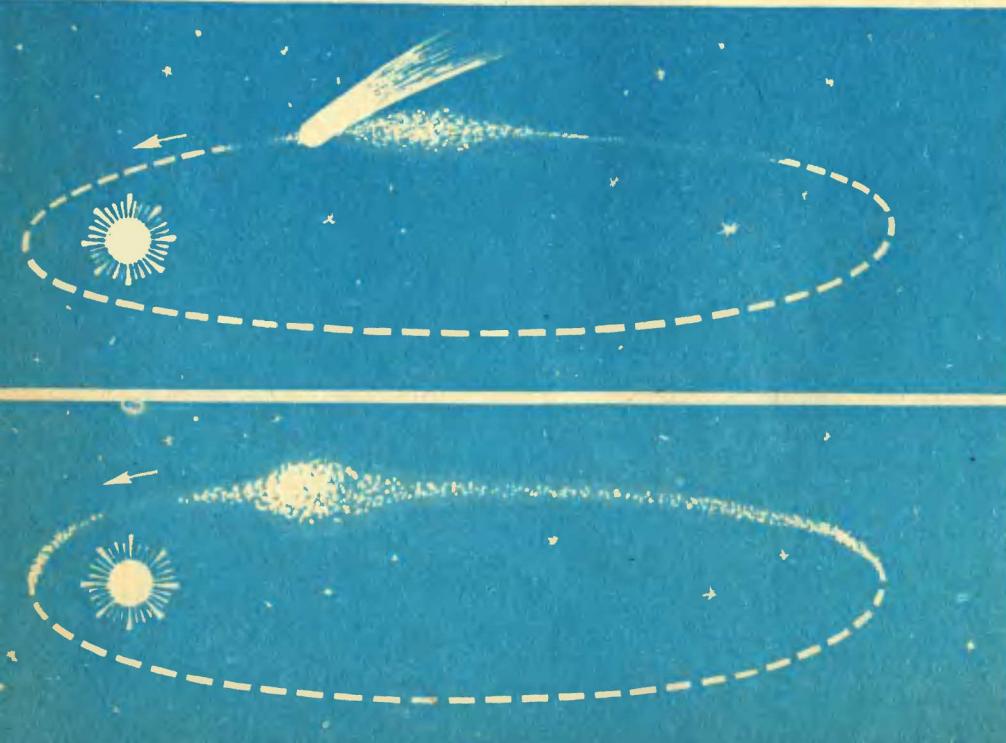
Рис. 70. Фотография кометы Мркоса 1957 г. с изогнутым хвостом II типа и прямым хвостом I типа вверху.



Давно замечено, что ядра периодических комет истощаются, с каждым оборотом они светятся все слабее. Не раз наблюдалось деление кометных ядер на две части и более. Это разрушение производили либо солнечные приливы, либо столкновения с метеорным потоком. Комета, открытая чешским ученым Билем (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 Биляго растянулись вдоль ее орбиты (рис. 71), и, когда Земля пересекает их поток, они влетают в ее атмосферу. Эти частички вызывают в атмосфере явление метеоров и полностью разрушаются, не долетая до Земли. Известен ряд других метеорных потоков, ширина которых, как правило, неизмеримо больше, чем размер породивших их ядер комет.

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. Фотограф-

Рис. 71. Схема превращения распадающегося ядра кометы в поток метеорных частиц.



фируя полет метеора камерой, объектив которой перекрывает вращающимся затвором, получают прерывистый след, по которому можно оценить торможение метеора воздухом. Отсюда определяют плотность метеорных тел. Она составляет лишь около $100 \text{ кг}/\text{м}^3$. Вероятно, метеорные тела — это пористые частицы, поры которых заполнены кометным льдом, который испаряется первым. По расчетам, масса метеорных тел — порядка миллиграммов, а размер — доли миллиметров.

Раскаленные газы, оставляемые метеорным телом, образуют светящийся след. Метеорная частица при своем движении ионизует воздух. След из ионизованного воздуха отражает радиоволны. Это позволило применить для изучения метеоров радиолокатор. Удается определить и скорость метеоров. Метеорные тела, догоняющие Землю, имеют скорости, с которыми они влетают в атмосферу, не более 11 км/с, а летящие навстречу Земле — до 60—70 км/с.

Метеоры иногда кажутся вылетающими из некоторой области на небе, называемой радиантом метеорного потока (рис. 72). Это эффект перспективы (рис. 73). Пути метеоров, летящих по параллельным направлениям, будучи продолжены, кажутся сходящимися вдали, 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 определяет название метеорного потока. Например, метеоры, наблюдающиеся 10—12

Рис. 72. Дождь метеоров из радианта.



Рис. 73. Перспективное схождение параллельных линий.



августа, радиант которых находится в созвездии Персея, называются персейдами.

Наблюдение метеорных потоков — важная научная задача, вполне посильная для школьников. Она способствует изучению нашей атмосферы и вещества распавшихся комет.

Знание тех дней, когда метеорные потоки встречаются с Землей, уменьшает опасность встречи космонавтов с ними и позволяет учитьывать их при назначении дат космических полетов.

- 19**
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. Предположим, что рисунок 70 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.

IV. СОЛНЦЕ И ЗВЕЗДЫ

21. СОЛНЦЕ — БЛИЖАЙШАЯ ЗВЕЗДА¹

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 энергий, 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 площадку в 1 м^2 , поставленную перпендикулярно солнечным лучам за пределами земной атмосферы (например, на ИСЗ), 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). Поток энергии, получаемой Землей от Солнца, равен примерно $1/2\,000\,000\,000$ от его полной энергии.

- 20**
1. Какая энергия поступает за 1 мин от Солнца в озеро площадью 1 км^2 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?

¹ 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. Количество атомов всех остальных элементов, вместе взятых, примерно в 1000 раз меньше. Однако по массе на эти более тяжелые элементы приходится 1—2% массы Солнца.

На Солнце вещество сильно ионизовано, т. е. атомы лишены внешних своих электронов, которые становятся свободными частичками ионизованного газа — плазмы.

Для определения средней плотности солнечного вещества надо массу Солнца поделить на его объем:

$$\bar{q} = \frac{3M_{\odot}}{4\pi R_{\odot}^3}, \bar{q} \approx 1400 \text{ кг/м}^3,$$

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 \bar{q} .

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 половине радиуса.

Сила тяжести на этой глубине будет определяться только притяжением масс, находящихся внутри сферы радиусом $\frac{1}{2}R_{\odot}$. Объем этой сферы составляет $\frac{1}{8}$ от объема всего Солнца, и при постоянстве плотности в нем заключена $\frac{1}{8}M_{\odot}$. Следовательно, по закону всемирного тяготения гравитационное ускорение на расстоянии $\frac{1}{2}R_{\odot}$ от центра «однородного» Солнца составит:

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

Сила давления на данной глубине складывается из силы тяжести всех вышележащих слоев. Само же давление будет (численно) равно силе тяжести радиального столбика вещества высотой $\frac{1}{2}R_{\odot}$, расположенного над площадью $S = 1 \text{ м}^2$ в рассматриваемой точке. В этом столбике заключена масса

$$\frac{m}{S} = \bar{q} \frac{R_{\odot}}{2}.$$

Поэтому давление

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

Отсюда получаем, что $p \approx 6,6 \cdot 10^{13} \text{ Па}$.

Согласно газовым законам давление пропорционально температуре и плотности. Это дает возможность определить температуру в недрах Солнца. Для средней плотности солнечного вещества давление в 10^{15} Па получится при температуре порядка 5 000 000 К.

Точные расчеты показывают, что в центре Солнца плотность

газа составляет около $1,5 \cdot 10^5 \text{ кг/м}^3$ (в 13 раз больше, чем у свинца!), давление — около $2 \cdot 10^{18} \text{ Па}$, 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 между ними. Некоторые из таких столкновений 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. В самом центре Солнца за 4—5 млрд. лет, которые прошли с момента его образования, примерно половина водорода уже превратилась в гелий.

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. Сначала температура уменьшается медленно, а в наружных слоях очень быстро. В зависимости от значения температуры и характера определяемых ею процессов все Солнце условно можно разделить на 4 области (рис. 74):

Рис. 74. Схема строения Солнца.

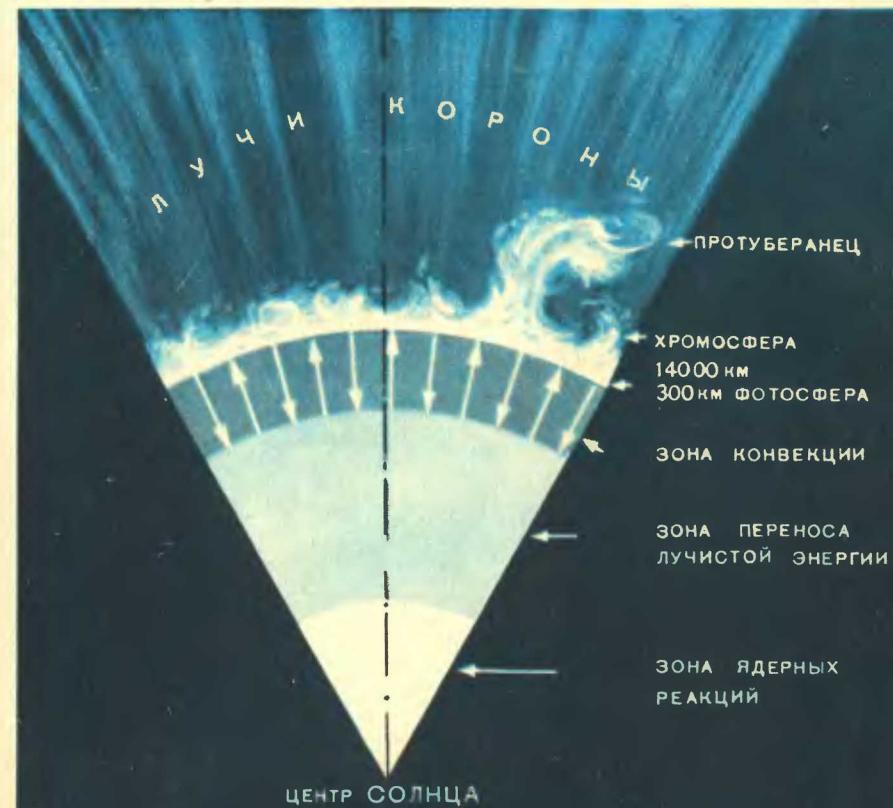




Рис. 75. Фотосфера с грануляцией и пятнами.

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

2) *«лучистая» зона* (расстояние от $\frac{1}{3}$ до $\frac{2}{3} R_{\odot}$), 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 быстро уменьшается по мере приближения к видимой границе Солнца, в результате чего происходит перемешивание вещества (конвекция), подобное кипению жидкости в сосуде, подогреваемом снизу;

4) *атмосфера*, начинаяющаяся 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.

21 Какова средняя молекулярная масса смеси полностью ионизованного газа, состоящего на 90% из водорода и 10% гелия (по числу атомов)?

3. Солнечная атмосфера и солнечная активность. Солнечную атмосферу также можно условно разделить на несколько слоев (рис. 74).

Самый глубокий слой атмосферы, толщиной 200—300 км, называется *фотосферой* (сфера света). Из него исходит почти вся 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 8000 до 4000 К: сильное охлаждение наружных слоев фотосферы происходит из-за ухода излучения в межпланетное пространство.

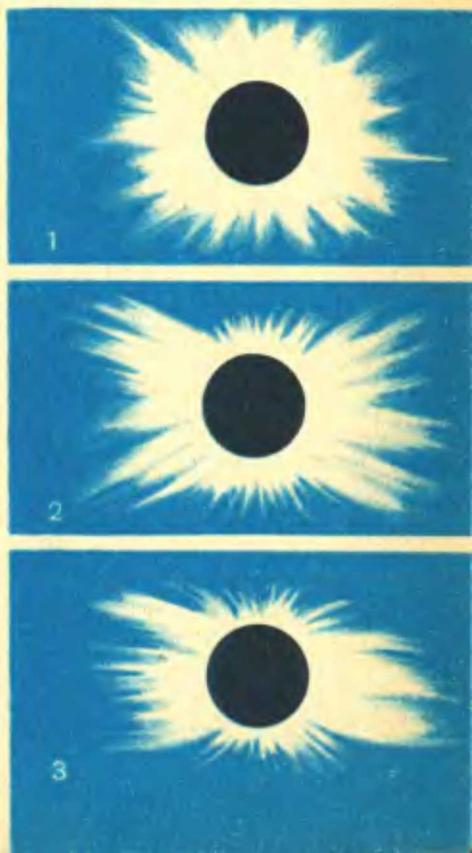
На фотографиях фотосферы (рис. 75) хорошо заметна ее тонкая структура в виде ярких «зернышек» — гранул размером в среднем около 1000 км, разделенных узкими темными промежутками. Эта структура называется грануляцией. Она оказывается следствием движения газов, которое происходит в расположенной под фотосферой конвективной зоне.

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 Фраунгофера, 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/м³ водород оказывается практически 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 градусов. Она в виде блестящей розовой камеи 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 *солничной короной* (рис. 76).

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*.

Рис. 76. Вид солнечной короны:
1 — в годы, когда пятен на Солнце много;
2 — в промежуточную эпоху;
3 — в годы, когда пятен мало.



Причиной нагрева верхних слоев солнечной атмосферы являются волновые движения вещества, возникающие в конвективной зоне. Эти волны проходят через фотосферу и переносят в хромосферу и корону небольшую долю той механической энергии, которой обладают газы в конвективной зоне.

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, окруженные полутенью, состоящей из продолговатых, радиально вытянутых фотосферных гранул.

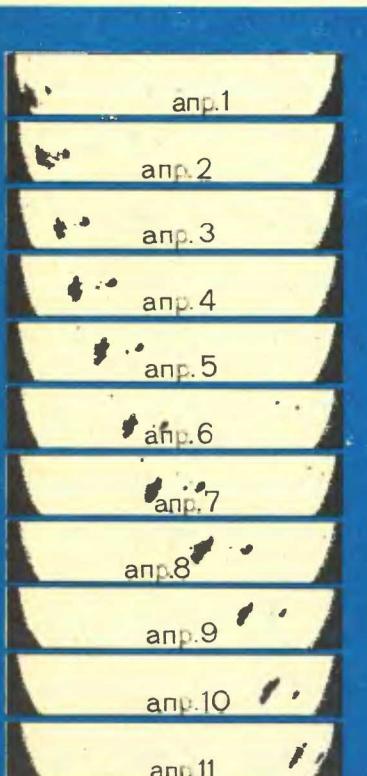
Впервые солнечные пятна наблюдал в телескоп Галилей. Он заметил, что они перемещаются по видимому диску Солнца. На этом основании он сделал вывод, что Солнце вращается вокруг своей оси.

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. За 25 сут Земля проходит дугу своей орбиты около 25° 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. 77). 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 фа́келами. 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

Рис. 77. Изменения видимого положения пятен на Солнце при его вращении.



фотографии называются спектрограммами. 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. В начале цикла пятен почти нет, затем их количество увеличивается сначала вдали от экватора, а затем 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. В частности, увеличение яркости фотосферы в факелах и значительное ее уменьшение (до 10 раз) в области пятен вызвано 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 мощных сгустков газа, ускоряются потоки горячей плазмы. В некоторых случаях отдельные заряженные частицы ускоряются до очень высоких значений энергии. Мощность солнечного радиоизлучения 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. 78). Форма протуберанцев и их движение связаны с магнитными полями, проникающими из фотосферы в корону.

Солнце оказывает огромное влияние на явления, происходящие на Земле. Коротковолновое его излучение определяет важней-

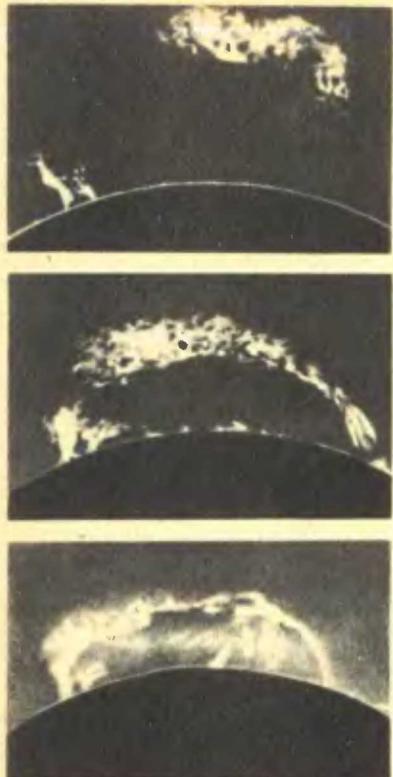


Рис. 78. Изменения протуберанца (1 ч 41 мин — нижний рисунок, 2 ч 57 мин — средний, 5 ч 33 мин — верхний).

связь. Оказалось, что активные процессы на Солнце, влияя на атмосферу и магнитное поле Земли, косвенным образом воздействуют и на сложные процессы органического мира — как животного, так и растительного. Эти воздействия и их механизм в настоящее время исследуются учеными.

- 22** 1. Можно ли заметить невооруженным глазом (через темный фильтр) на Солнце пятно размером с Землю, если глаз различает предметы, видимые под углом не менее $2-3^\circ$?
2. Определите площадь солнечного пятна (рис. 75). Темный круг слева внизу от пятна соответствует размеру Земли в масштабе фотографии.)
3. Определите скорость подъема протуберанца (выразите ее в $\text{км}/\text{с}$), измеряя его положение на трех фотографиях (рис. 78). Для определения масштаба фотографии оцените радиус Солнца по его сегменту, видимому на рисунке). Является ли движение этого протуберанца равномерным?

шие физикохимические 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. Проявления солнечной активности сопутствуют возникновение целого ряда геофизических явлений. Важнейшие из них тесно связаны с хромосферными вспышками. 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 заряженных верхних слоев земной атмосферы (ионосфера), что сильно влияет на условия распространения радиоволн, иногда нарушая радио-

4. Считая, что яркость пропорциональна четвертой степени температуры и что температура фотосферы 6000 К, определите температуру солнечного пятна, если его яркость в 10 раз меньше, чем яркость фотосферы.

22. СПЕКТРЫ, ТЕМПЕРАТУРЫ, СВЕТИМОСТИ ЗВЕЗД И РАССТОЯНИЯ ДО НИХ

Изучая звезды, наука выяснила их громадное разнообразие, хотя все они сходны с Солнцем в том отношении, что являются самосветящимися, раскаленными газовыми шарами, черпающими из своих недр колоссальные запасы энергии. С одной стороны, это показывает, что наше Солнце во Вселенной не уникально, а одно из бесчисленных солнц и ничем особым из них не выделяется. С другой стороны, установлено, что в многообразии звезд существуют определенные закономерности, обусловленные физическими причинами.

В звездных каталогах содержатся координаты и оценка звездной величины не только всех 6000 звезд, видимых невооруженным глазом, но и множества более слабых — до 11-й звездной величины. Их число составляет около миллиона. На широко используемом астрономами фотографическом атласе неба видны звезды до 21-й звездной величины. Их на всем небе около 2 млрд.

1. Спектры, цвет и температура звезд. Спектры звезд крайне разнообразны. Почти все они спектры поглощения. Это результат поглощения света во внешних оболочках звезд. Изучение спектров позволяет определить химический состав атмосфер звезд.

В атмосферах всех звезд преобладающими являются водород и гелий. Характер спектров звезд зависит от температур и давлений в их 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. Это дополняет возможность определения температур звезд по распределению энергии в их непрерывном спектре и по измерению получаемой от них энергии на Земле.

Спектры звезд разделены на классы, обозначаемые латинскими буквами и цифрами (см. рис. 88 и табл. IV в приложении).

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

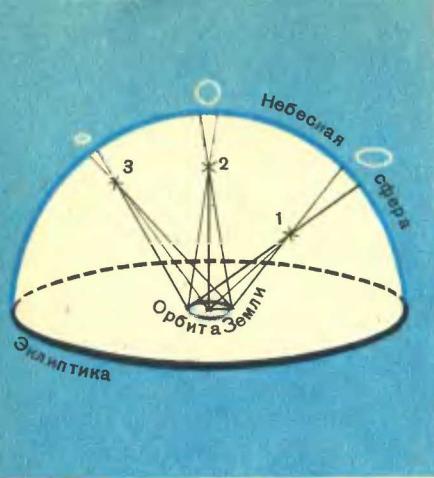


Рис. 79. Годичные параллаксы звезд.

В спектрах белых звезд класса А, 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.

Источником энергии, получаемой большинством звезд и Солнцем, служат ядерные реакции превращения водорода в гелий, происходящие в их недрах при температуре свыше 10 000 000 К. (Подробнее об этом см. в § 30.)

2. 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 перемещается в пространстве, обращаясь вокруг Солнца, то видимые положения звезд на небе должны меняться. Земля за полгода перемещается на величину диаметра своей орбиты. Направления на звезду с двух концов диаметра этой орбиты должны различаться на величину параллактического смещения. Иначе говоря, у звезд должен быть замечен годичный параллакс. 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 (рис. 79). Чем больше расстояние D до звезды, тем меньше ее параллакс (рис. 79). Параллактическое смещение положения звезды на небе в течение года происходит по маленькому эллипсу или кругу, если звезда находится в полюсе эклиптики (см. рис. 79).

Для определения годичного параллакса измеряют направление на звезду в различные моменты времени, когда Земля находится в разных точках своей орбиты. Параллакс легче всего измерить, если моменты наблюдений разделены примерно полугодом. За это время Земля переносит наблюдателя на расстояние, равное диаметру ее орбиты.

Параллакс звезд долго не могли обнаружить, и Коперник правильно утверждал, что звезды слишком далеки от Земли, чтобы существовавшими тогда приборами можно было обнаружить параллактическое смещение звезд при базисе, равном диаметру земной орбиты. (Подсчитайте, во сколько раз он больше, чем диаметр Земли.) В настоящее время способ определения годичного параллакса является основным при определении расстояний до звезд, и уже измерены параллаксы для нескольких тысяч звезд.

Впервые годичный параллакс звезды был надежно измерен выдающимся русским ученым В. Я. Струве в 1837 г. Он измерил годичный параллакс звезды Веги. Почти одновременно в других странах измерили параллаксы еще у двух звезд. Одной из них была α Центавра. Эта звезда южного полушария неба и в СССР не видна. Она оказалась ближайшей к нам звездой с годичным параллаксом $p = 0,75''$. Под таким углом невооруженному глазу видна проволочка толщиной 1 мм с расстояния 280 м. Недивительно, что так долго не могли заметить у звезд подобные столь малые угловые смещения.

Расстояние до звезды $D = \frac{a}{\sin p}$, где a — большая полуось земной орбиты. Если принять a за единицу и учесть, что при малых углах $\sin p = \frac{p''}{206265''}$, то получим:

$$D = \frac{206265''}{p''} \text{ астрономических единиц.}$$

Расстояние до ближайшей звезды α Центавра $D = 206265'' : 0,75'' = 270000$ а. е. Свет проходит расстояние до α Центавра за 4 года, тогда как от Солнца до Земли он идет только 8 мин, а от Луны около 1 с.

Расстояния до звезд удобно выражать в парсеках (пк).

Парсек — расстояние, с которого большая полуось земной орбиты, перпендикулярная лучу зрения, видна под углом в $1''$. Расстояние в парсеках равно обратной величине годичного параллакса, выраженного в секундах дуги. Например, расстояние до звезды α Центавра равно $0,75''$ ($3/4''$) или $4/3$ пк.

$$1 \text{ парсек} = 3,26 \text{ светового года} = 3 \cdot 10^{13} \text{ км.}$$

Измерением годичного параллакса можно надежно установить расстояние до звезд, находящихся не далее 100 пк, или 300 световых лет. Расстояния до более далеких звезд в настоящее время определяют другими методами (см. § 24.1).

3. Видимая и абсолютная звездная величина. Светимость звезд. Вспомним, что разность в 5 видимых звездных величин со-

ответствует разнице 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:

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

Абсолютной звездной величиной M называется та видимая звездная величина, которую имела бы звезда, если бы находилась от нас на стандартном расстоянии $D_0 = 10$ пк.

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

Величины L и M легко вычислить, если известно расстояние до звезды D или ее параллакс p (так как D обратно пропорционально p). 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

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

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, находим:

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

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

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

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 $M = M_{\odot} \approx 5$.

Зная абсолютную звездную величину M какой-нибудь звезды, можно вычислить ее светимость L . По определению

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

Величины M и L в разных единицах выражают мощность излучения звезды независимо от расстояния до нее.

Абсолютные величины очень ярких звезд отрицательны и доходят до $M = -9$. Такие звезды называются гигантами и сверхгигантами. Звезда *S* Золотой Рыбы ярче нашего Солнца в 500 000 раз, ее светимость $L = 500\,000$, но видно ее в южном полушарии неба лишь в сильный бинокль. А наше Солнце считается звездой-карликом! Наименьшую мощность излучения имеют красные карлики с $M = +17$ и $L = 0,000013$.

Существуют звезды одинаковой температуры и цвета, но с разной светимостью. У таких звезд 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 несколько различно. В атмосферах звезд-гигантов давление меньше, они разреженнее. Если для подобных звезд построить график, показывающий, как меняется отношение интенсивности определенных пар спектральных линий в зависимости от абсолютной величины звезд, то мы сможем по интенсивности линий из графика найти абсолютную величину M звезды. Подстановка найденного значения M в выведенную нами формулу (4) дает возможность определить расстояние до звезды.

- 23** 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. Какова светимость звезды Скорпиона, если ее видимая звездная величина 3, а расстояние до нее 7500 св. лет? 7. Назовите цвет каждой из звезд таблицы IV приложения по приведенному их спектральному классу.

23. ДВОЙНЫЕ ЗВЕЗДЫ, МАССЫ ЗВЕЗД

1. Визуально-двойные звезды. Массы — одну из важнейших физических характеристик звезд — можно определить по ее воздействию на движение других тел. Такими другими телами являются спутники некоторых звезд (тоже звезды), обращающиеся с ними вокруг общего центра масс.

Если вы посмотрите на ξ Большой Медведицы, вторую звезду с конца «ручки» ее «ковша», то при нормальном зрении вы увидите совсем близко от нее вторую слабую звездочку. Ее заметили еще древние арабы и назвали Алькор (Всадник). Яркой звезде они дали название Мицар. Их можно назвать двойной звездой. Мицар и Алькор отстоят друг от друга на $11'$. В бинокль таких звездных пар можно найти немало. Так, в Лиры состоит из двух одинаковых звезд 4-й звездной величины с расстоянием между ними 5'.

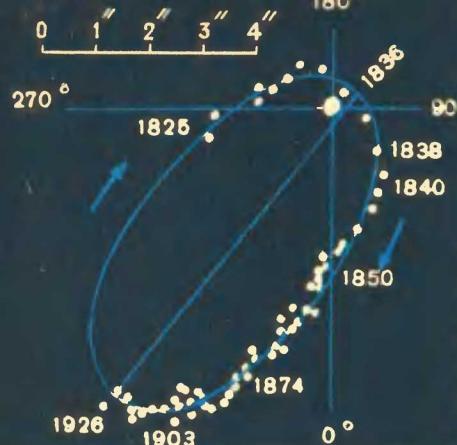


Рис. 80. Орбита спутника двойной звезды (ν Девы) относительно главной звезды, расстояние которой от нас составляет 10 пк. (Точки отмечают измеренные положения спутника в указанные годы. Их отклонения от эллипса вызваны погрешностями наблюдений.)

лини. Такие звезды называются **физическими двойными**, они образуют единую систему и обращаются под действием сил взаимного притяжения вокруг общего центра масс.

Множество двойных звезд открыл и изучил известный русский ученый В. Я. Струве. Самый короткий из известных периодов обращения визуально-двойных звезд — 5 лет. Изучены пары с периодами обращения в десятки лет, а пары с периодами в сотни лет изучат в будущем. Ближайшая к нам звезда α 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. 80). 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 (поскольку $1:p'' = D$ пк) она будет равна:

$$A = a'' \cdot D = a'':p''.$$

Важнейшей характеристикой звезды наряду со светимостью является ее масса. Прямое определение массы возможно лишь для двойных звезд. По аналогии с § 9.4, сравнивая движение спутника

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

В телескоп ε Лиры — визуально-четверная звезда. Системы с числом звезд $n \geq 3$ называются **кратными**.

Многие из **визуально-двойных** звезд оказываются **оптически-двойными**, т. е. близость таких двух звезд является результатом случайной проекции их на небо. На самом деле в пространстве они далеки друг от друга. И в течение многолетних наблюдений можно убедиться, что одна из них проходит мимо другой, не меняя направления с постоянной скоростью. Но иногда при наблюдении звезд выясняется, что более слабая звезда-спутник обращается вокруг более яркой звезды. Систематически меняются расстояния между ними и направление соединяющей их линии. Такие звезды называются **физическими двойными**, они образуют единую систему и обращаются под действием сил взаимного притяжения вокруг общего центра масс.

звезды с движением Земли вокруг Солнца (для которой период обращения 1 год, а большая полуось орбиты 1 а. е.), мы по третьему закону Кеплера можем написать:

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

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 отдельно, надо изучить движение каждой из них относительно окружающих звезд и вычислить их расстояния A_1 и A_2 от общего центра масс. Тогда имеем второе уравнение:

$$m_1:m_2 = A_2:A_1$$

и из системы двух уравнений находим обе массы отдельно.

Двойные звезды в телескоп нередко представляют собой красивое зрелище: главная звезда желтая или оранжевая, а спутник белый или голубой. Вообразите себе богатство красок на планете, обращающейся вокруг одной из пары звезд, где на небе сияет то красное Солнце, то голубое, то оба вместе.

Определенные описанными методами массы звезд различаются гораздо меньше, чем их светимости, примерно от 0,1 до 100 масс Солнца. Большие массы встречаются крайне редко. Обычно звезды обладают массой меньше пяти масс Солнца. Мы видим, что с точки зрения светимости и температуры наше Солнце является рядовой, средней звездой, ничем особым не выделяющейся.

24 1. 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.

2. Если бы по орбите Земли двигалась звезда с такой же массой, как у Солнца, каков был бы период ее обращения?

3. По рисунку 80 оцените период обращения спутника, большую полуось орбиты и вычислите сумму масс компонентов. Считать, что большая полуось орбиты лежит в плоскости рисунка.

2. Спектрально-двойные звезды. Если 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. Если плоскость орбиты такой пары почти совпадает с лучом зрения, а скорость обращения велика, то скорость каждой звезды в проекции на луч зрения будет быстро меняться. Спектры двойных звезд при этом накладываются друг на друга, а так как разница в скоростях этих

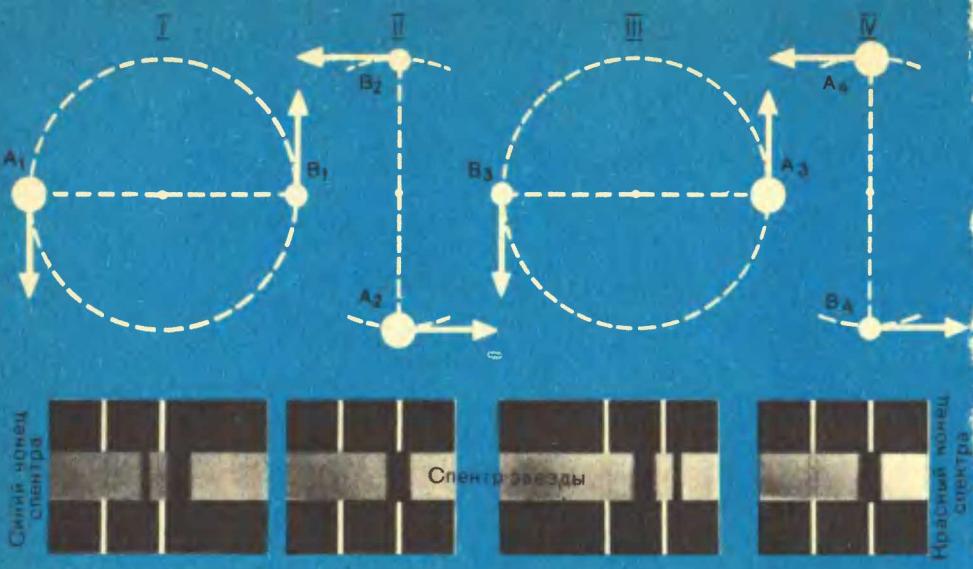


Рис. 81. Объяснение раздвоения, или колебания, линий в спектрах спектрально-двойных звезд.

звезд велика, то линии в спектре каждой из них будут смещаться в противоположные стороны. Величина смещения 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. 81). 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. 81, I, III). В этом случае наблюдается раздвоение спектральных линий. У приближающейся звезды спектральные линии смещаются 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. 81, 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.

Один из компонентов Мицара сам является спектрально-двойной звездой.

3. Затменно-двойные звезды — алголи. Если луч зрения лежит почти в плоскости орбиты спектрально-двойной звезды, то звезды такой пары будут поочередно загораживать друг друга. Во время затмений общая яркость пары, компонентов которой мы по отдельности не видим, будет ослабевать (положения B и D на рис. 82). 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 немногого.

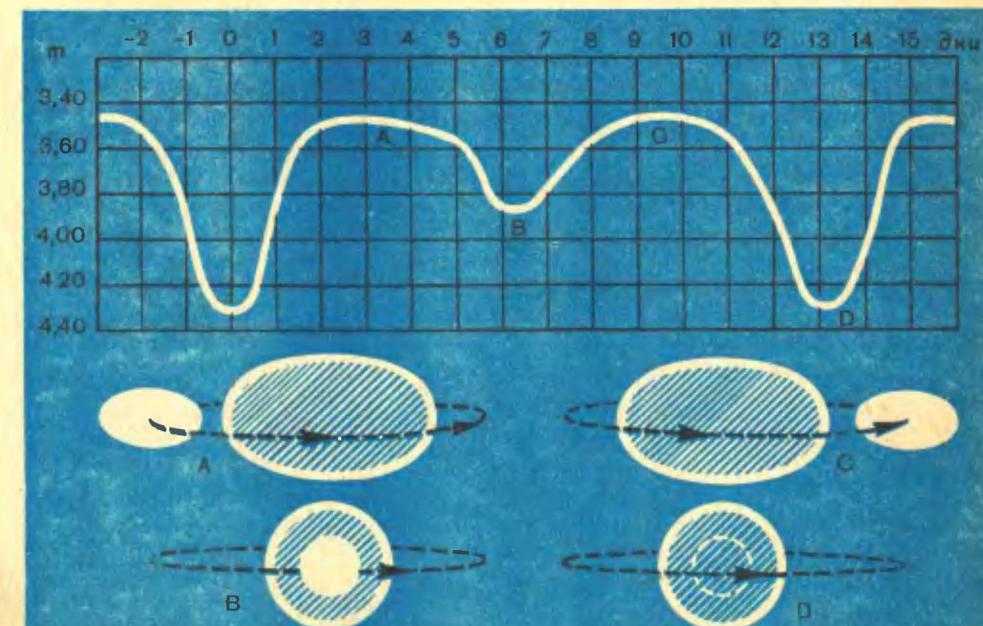
Минимумы яркости затменно-двойных звезд происходят при движении их компонентов попоперек луча зрения. Анализ кривой изменения видимой звездной величины в функции времени позволяет установить размеры и яркость звезд, размеры орбиты, ее форму и наклон к лучу зрения, а также массы звезд. Таким образом, затменно-двойные звезды, наблюдавшиеся также и в качестве спектрально-двойных, являются наиболее хорошо изученными системами. К сожалению, таких систем известно пока сравнительно мало.

Затменно-двойные звезды называются еще алголами, по названию своего типичного представителя β Персея. Древние арабы назвали β Персея Алголем (испорченное эль гуль), что значит «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.

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.

Получение разнообразных данных об отдельных звездах и их системах из анализа спектрально-двойных и затменно-двойных звезд — примеры неограниченной возможности человеческого познания.

Рис. 82. Изменения видимой яркости β Лирь и схема движения ее спутника (Форма звезд, близко расположенных друг к другу, вследствие их привального воздействия может сильно отличаться от сферической.)



24. ПЕРЕМЕННЫЕ И НОВЫЕ ЗВЕЗДЫ



Рис. 83. Примерные кривые яркости, лучевой скорости и температуры цефеиды.

иные изменения в спектре, т. е. в состоянии их атмосферы.

Из периодических переменных звезд замечательны цефеиды. Цефеиды характеризуются амплитудами изменения яркости 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.

Цефеиды — белые или желтоватые звезды. Их яркость плавно поднимается до максимума и затем более медленно спадает, тоже плавно или с одной волной на спуске кривой изменения яркости.

Название цефеиды получили по своей типичной представительнице — звезде δ Цефея. Период ее переменности 5,37 сут и амплитуда изменения яркости от 4,6 до 3,7 звездной величины.

На рисунке 83 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. Период их пульсаций обратно пропорционален корню квадратному из их плотности. Они периодически расширяются и сжимаются. Расширения фотосфера, дающей свет, и хромосфера, вызывающей соответствующий сдвиг линий в спектре, происходят неодновременно. Сжатие наружных слоев вызывает их нагрев, а наивысшая температура соответствует наибольшей скорости приближения обращенной к нам части хромосферы. Колебания лучевой скорости в спектрах цефеид впервые изучил А. А. Белопольский.

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 желтее, холоднее и обладают следующей замечательной особенностью: классические цефеиды — сверхгиганты, и их светимость плавно возрастает с увеличением периода. 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 из сравнения ее абсолютной звездной величины M с видимой звездной величиной m определить расстояние до нее по формуле $\lg D = 0,2(m - M) + 1$, что следует из формулы (4). Поэтому зависимость светимости от периода цефеид необычайно важна для установления расстояний и размеров нашей звездной системы.

Яркие цефеиды-гиганты видны нам, как маяки Вселенной, издалека. По ним мы намечаем контуры нашей звездной системы, т. е. как далеко она простирается по разным направлениям.

Периодической или неправильной пульсацией объясняют колебания яркости и других переменных звезд.

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 абсолютной звездной величины. 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 планету за новую звезду!

Вспышка новой звезды происходит обычно за несколько дней — катастрофически, а возврат к прежней светимости длится годами и сопровождается колебаниями яркости (рис. 84).

Катастрофическая вспышка звезды, при которой освобождается энергия, равная энергии, излучаемой Солнцем за миллион лет, происходит вследствие внутренних процессов. Такое состояние неустойчивости накапливается годами или веками, а затем происходит взрыв.

Изменения в спектре новой звезды показали следующее: яркость звезды увеличивается потому, что вздувается фотосфера —

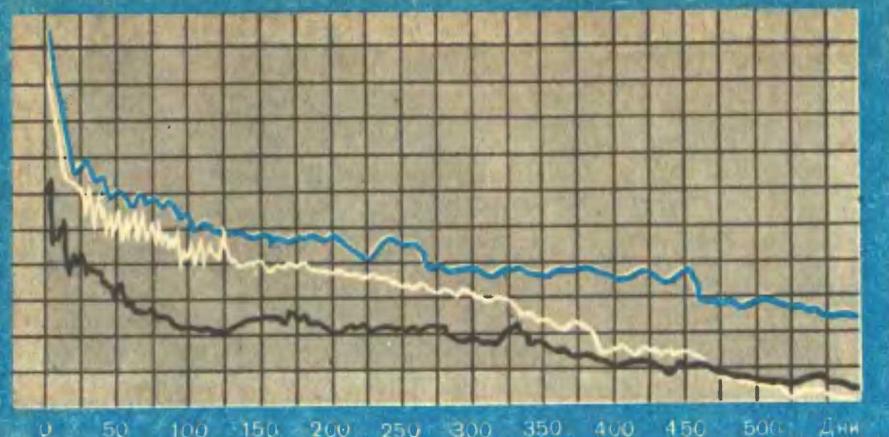


Рис. 84. Кривые изменения видимой яркости трех новых звезд.

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 около 1000 км/с, расширяясь, устремляется в пространство. Вспыхивают как новые только некоторые очень горячие звезды умеренных светимостей, 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. Сверхновые звезды мало изучены, поскольку после изобретения телескопа «поблизости» от нас не вспыхивала ни одна сверхновая звезда. Наблюдались только очень далекие сверхновые звезды, для которых, кроме изменения яркости и спектра вблизи максимума, ничего установить обычно нельзя.

Вследствие колossalной 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. 85). Измерение яркости сверхновых звезд используют для оценки этих расстояний. Вспышки сверхновых звезд крайне редки — в среднем одна вспышка за несколько 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. 86). 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 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 (о них мы узнаем еще из § 30).

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

- 25** 1. У новых звезд яркость обычно возрастает при 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. 85), если видимый диаметр галактики $2'$, а расстояние от нее 10^7 пк?

Рис. 85. Фотография (негатив) далекой звездной системы — галактики со сверхновой звездой, отмеченной стрелкой (указан угловой масштаб фотографии).



Рис. 86. Крабовидная туманность — остаток вспышки сверхновой звезды.



25. РАЗНООБРАЗИЕ ЗВЕЗДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И ИХ ЗАКОНОМЕРНОСТИ

1. Диаметры и плотности звезд. Покажем на простом примере, как можно сравнить размеры звезд одинаковой температуры, например Солнца и Капеллы (а Возничего). Эти звезды имеют одинаковые спектры, цвет и температуру, но светимость Капеллы равна 120 (в единицах светимости 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 солнечных в $\sqrt{120} \approx 11$ раз.

В физике установлено, что полная энергия, излучаемая в единицу времени с 1 м^2 поверхности нагретого тела, равна: $i = \delta T^4$, где δ — коэффициент пропорциональности, а T — абсолютная температура. Относительный линейный диаметр звезд, имеющих известную температуру T , находят из формулы:

$$\frac{L}{L_0} = \frac{4\pi r^2}{4\pi r_0^2} \cdot \frac{i}{i_0} = \left(\frac{r}{r_0} \right)^2 \left(\frac{T}{T_0} \right)^4,$$

где r — радиус звезды, i — излучение единицы поверхности звезды, r_0 , i_0 , T_0 относятся к Солнцу, а $L_0 = 1$.

Отсюда

$$r = \sqrt{L} : \left(\frac{T}{T_0} \right)^2 \text{ в радиусах Солнца.}$$

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. 87). 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 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 белых карликов — 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

Звезды гиганты

красные

желтые

• белые



Звезда

красный
карлик

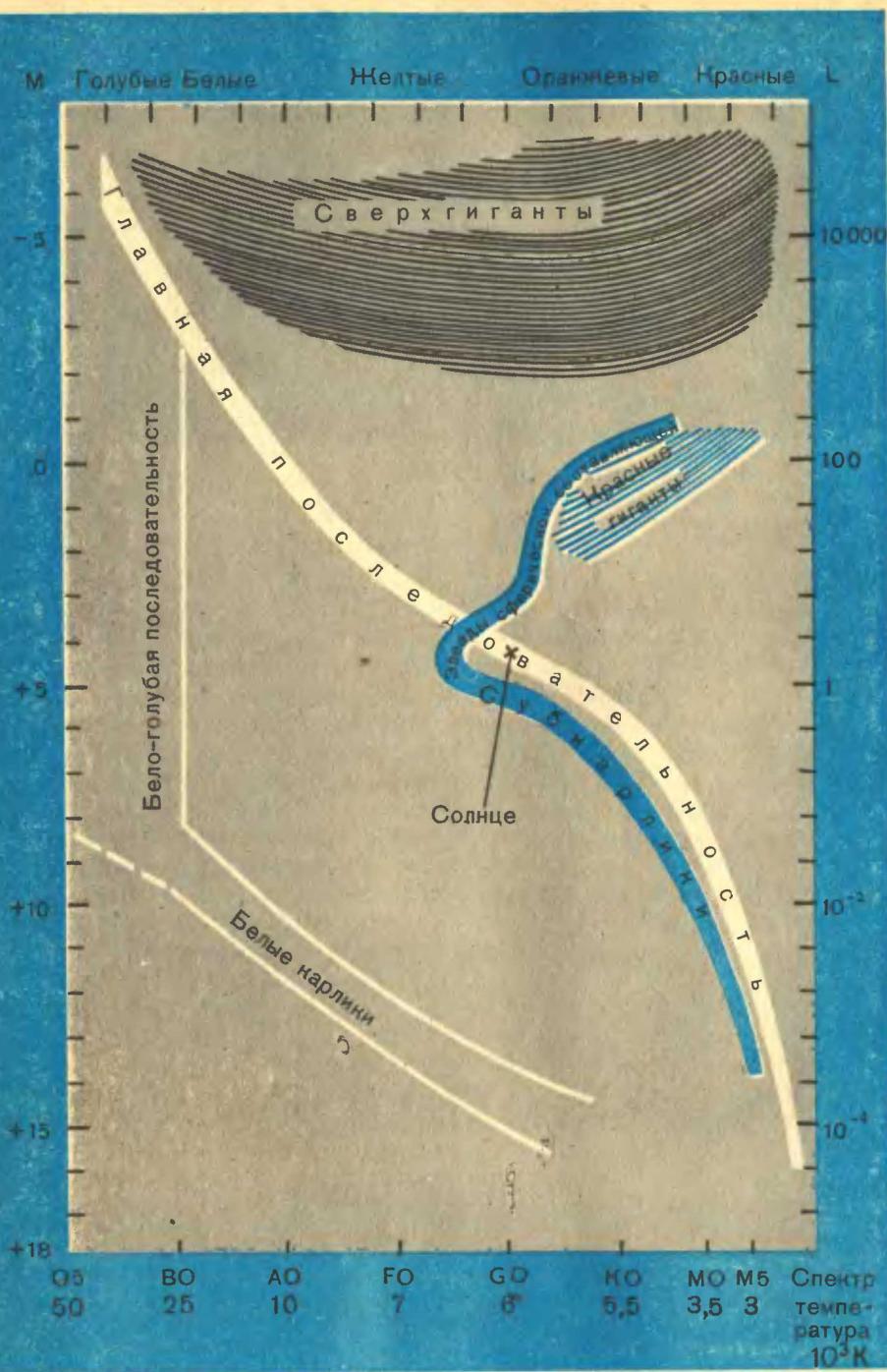
Звезда
белый
карлик

Солнце

Рис. 87. Сравнительные размеры Солнца и звезд разных типов (масштабы в трех частях рисунка различны).

излучают у этих звезд одинаковое количество энергии, но по светимости спутник в 10 000 раз слабее, чем Сириус. Значит, его радиус меньше в $\sqrt[3]{10000} = 100$ 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 $10^9 \text{ кг}/\text{м}^3$. 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 ядра и электроны становятся независимыми друг от друга. При колоссальном давлении вышележащих слоев это «крошево» из атомов может быть сжато гораздо сильнее, чем нейтральный газ. Теоретически допускается возможность существования при некоторых условиях звезд с плотностью, равной плотности атомных ядер. (О них и об эволюции звезд подробнее мы узнаем из § 30.)

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, которые 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 смешаться 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 предска-



зания теории относительности и тем самым подтвердили саму теорию. Астрономы нашли и несколько других подтверждений этой теории. Это пример взаимодействия физики и астрономии и удивительного многообразия природы.

- 26**
1. Во сколько раз Арктур больше Солнца, если светимость Арктура 100, а температура 4500 K?
 2. Какова средняя плотность красного сверхгиганта, если его диаметр в 300 раз больше солнечного, а масса в 30 раз больше, чем масса Солнца?

2. Важнейшие закономерности в мире 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 между ними.

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 Герцшпрunga — Рессела, рис. 88). На этой диаграмме по оси ординат откладывают 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 — **последовательность звезд**. Большинство звезд располагаются вдоль наклонной линии, идущей слева сверху вправо вниз. В этом направлении уменьшаются одновременно светимости, радиусы и температуры звезд. Это **главная последовательность**. На ней крестиком 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.

Верху параллельно оси абсцисс расположены самые яркие

← Рис. 88. Диаграмма «цвет — светимость» (Ц — С) для звезд.

звезды — 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. Бело-голубую последовательность составляют звезды, вспыхивающие как новые, и другие типы горячих звезд, смыкающихся на диаграмме «цвет — светимость» с белыми карликами.

Эта диаграмма показывает нам связь основных физических характеристик звезд. Заметим, что принадлежность звезды к той или иной последовательности можно распознать по некоторым деталям в ее спектре (§ 23).

3. 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*. Важным завоеванием науки является выяснение *связи между принадлежностью звезд к той или иной последовательности и их расположением в пространстве*. Плоская часть больших звездных систем (галактик) состоит из звезд главной последовательности, спиральные ветви в них включают горячие сверхгиганты и цефеиды, а субкарлики и гиганты образуют в галактиках сферическую систему. Это отражает различия условий и времени образования звезд.

Сверхгигантов и белых карликов везде очень мало. Звезд же главной последовательности тем больше, чем меньше их светимость.

27 1. По данным таблицы IV приложения вычислите абсолютные величины и светимости некоторых звезд. Нанесите звезды по этим данным на диаграмму Ц—С (рис. 88).

2. Оцените массы тех же звезд по их светимости.

V

■ СТРОЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ

26. НАША ГАЛАКТИКА

1. Млечный Путь и Галактика. Долгий путь прошла наука, прежде чем была установлена структура окружающей нас Вселенной.

Английский ученый Вильям Гершель первым указал правильный путь для решения задачи о строении мира звезд, состоящий в подсчете звезд в одинаково малых участках, выбранных в различных областях неба.

Гершель предполагал, что все звезды подобны Солнцу не только по своей природе, но и по светимости. Если бы все звезды были одинаковой светимости и их плотность в пространстве была бы везде одинакова, то, переходя к звездам на одну видимую звездную величину, т. е. в $\sqrt{2,512} = 1,6$ раза более слабым, мы переходили бы к объему сферы радиусом, в $\sqrt{2,512} = 1,6$ раза большим. А ее объем и, следовательно, число звезд в ней должны быть тогда примерно в 4 раза больше предыдущего. Но фактический подсчет показывает, что в разных направлениях этот прирост разный и с ослаблением яркости звезд он уменьшается.

Но у звезд разная светимость, число звезд разной светимости неодинаково, да еще существует ослабление света звезд межзвездной космической пылью. Оно тем больше, чем звезда дальше от нас, и по разным направлениям различно. В. Я. Струве впервые обнаружил это поглощение света и доказал, что с приближением к светлой полосе Млечного Пути плотность звезд в пространстве растет. Полоса Млечного Пути опоясывает все небо по большому кругу. Значит, мы находимся вблизи его плоскости, которую называют галактикой. В Млечном Пути наблюдаются отдельные облакообразные сгущения (рис. 89). Отчасти это обусловлено реальным облакообразным расположением слабых (т. е. далеких) звезд, из которых он состоит, отчасти тем, что местами Млечный Путь закрывают облака космической пыли. Такое темное облако можно заметить около звезды Денеб в созвездии Лебедя. Как раз в этом созвездии начинается разделение Млечного Пути на две ветви, соединяющиеся снова в южном полушарии неба. Это раздвоение кажущееся. Оно вызвано скоплением космической пыли,

заслоняющей часть самых ярких мест Млечного Пути, в том числе находящихся в созвездиях Скорпиона и Стрельца (рис. 90).

Постепенно выяснилось, что звезды Млечного Пути составляют основную часть нашей сильно сплющенной звездной системы — Галактики. Дальше всего Галактика простирается вдоль плоскости Млечного Пути. В перпендикулярном к ней направлении плотность звезд быстро падает, следовательно, Галактика в этом направлении простирается не так далеко.

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. Большинство ее звезд 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 $2 \cdot 10^9$. Конечно, это далеко не исчерпывает звездное «население» нашей звездной системы — Галактики. Масса Галактики оценивается по ее вращению (см. § 29) и составляет около $2 \cdot 10^{11}$ масс Солнца.

Размеры Галактики были намечены по расположению в пространстве звезд, которые можно видеть на больших расстояниях. Это — цефеиды и горячие сверхгиганты.

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 от нас завесой облаков космической пыли (рис. 90). 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.

Звезды, принадлежащие к последовательности субкарликов на диаграмме «цвет — светимость», образуют разреженную корону вокруг ядра и диска Галактики.

2. Звездные скопления и ассоциации. Различают два вида звездных скоплений: рассеянные и шаровые. Сопоставим их свойства. Рассеянные скопления (рис. 91) состоят обычно из десятков или сотен звезд главной последовательности и



Вильям Гершель (1738—1822).
Английский астроном и оптик.
Построил несколько крупнейших
для своего времени телескопов.
Открыл планету Уран. Обнаружил
движение Солнца в пространстве.
Исследовал закономерности строения
окружающего звездного мира.



Рис. 89. Вид Млечного Пути для невооруженного глаза.

Рис. 90. Фотография участка Млечного Пути в созвездии Стрельца.





Рис. 91. Рассеянное звездное скопление Плеяды (его главные звезды освещают окружающую их космическую пыль).



Рис. 92. Шаровое звездное скопление в созвездии Геркулеса.

сверхгигантов со слабой концентрацией к центру. Шаровые скопления (рис. 92) состоят из десятков или сотен тысяч звезд главной последовательности и красных гигантов. Иногда они содержат короткопериодические цефеиды.

Размер рассеянных скоплений — несколько парсеков. 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 сильной концентрацией звезд к центру — десятки парсеков. 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.

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.

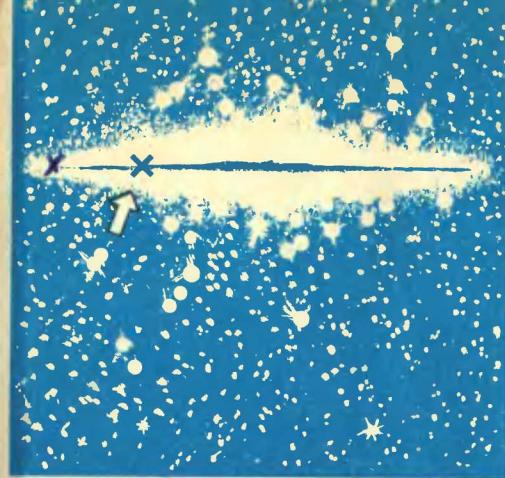


Рис. 93. Схематическое изображение Галактики с системой шаровых звездных скоплений (вид с ребра, положение Солнечной системы отмечено крестиком).



Рис. 94. Спиральные ветви Галактики (схематическое изображение Галактики в плоскости, вид плашмя).

Рассеянные скопления лежат вблизи галактической плоскости, вблизи полосы Млечного Пути. Звезды рассеянных скоплений называют населением I типа. Они располагаются в диске Галактики. Шаровые скопления имеют сферическое распределение, концентрируясь к центру Галактики (рис. 93). Самые далекие из них находятся на границах Галактики. По ним-то вместе с наиболее далекими цефеидами и определяют размер Галактики.

За диаметр Галактики можно принять окруженно 30 000 пк, или 100 000 световых лет, но четкой границы у нее нет. Звездная плотность в Галактике постепенно сходит на нет.

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 сходящие на концах на нет (рис. 94). Для населения таких ветвей характерны горячие сверхгиганты, рассеянные скопления, особенно содержащие горячие звезды, и классические цефеиды.

Однако на таком расстоянии, на каком от центра Галактики находится Солнечная система, спиральная структура в плоскости Галактики должна теряться. Расположение населения I типа известно только до расстояния в 2—3 тыс. парсеков от Солнечной системы, и поэтому положение спиральных ветвей в нашей Галактике с надежностью еще не установлено.

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 удерживаются взаимным тяготением, как в звездных скоплениях. *O-ассоциации* также характерное население спиральных ветвей.

281. 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?

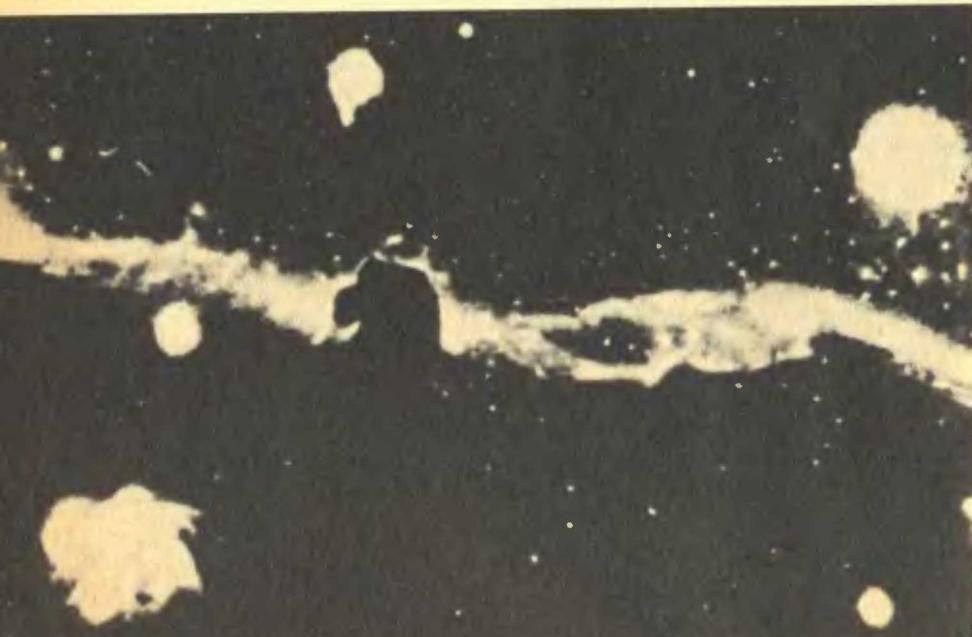
2. На фотографии звездного скопления Плеяды (рис. 91) угловой масштаб $1,2'$ в 1 мм. Параллакс скопления $p = 0,15''$. Определите линейное расстояние между двумя ярчайшими звездами этого скопления в проекции на небо.

27. ДИФФУЗНАЯ МАТЕРИЯ

1. Межзвездная пыль и темные туманности. Мы упоминали, что В. Я. Струве более ста лет назад указал на существование межзвездного поглощения света. Окончательно его существование 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 волн.* Поэтому далекие звезды выглядят краснее, чем они есть. Такой эффект должна вызывать мелкая пыль, размеры частиц которой сравнимы с длиной световой волны.

Исследования показали, что межзвездная пыль сосредоточена в узком слое толщиной около 200—300 пк вдоль галактической плоскости. Этот слой состоит из сплошной разреженной среды и из плавающих в ней облаков газа и пыли. В среднем на расстоянии в 1000 пк свет в плоскости Галактики ослабляется на 1,5 звездной величины. Некоторые облака из-за присутствия пыли непрозрачны для света и наблюдаются как темные туманности. Примером темной туманности может служить туманность «Конская голова» в созвездии Ориона (рис. 95).

Рис. 95. Темная пылевая туманность «Конская голова», окаймленная светлой пылевой туманностью.



Уменьшение видимой яркости далеких звезд затрудняет точно определить расстояние до них путем сравнения их абсолютной звездной величины с видимой звездной величиной. Приходится изучать неравномерное распределение космической пыли, темных туманностей и учитывать их влияние.

2. Светлые пылевые диффузные туманности. Если вблизи от большого пылевого облака находится яркая звезда-гигант, то она освещает это облако. Оно, отражая излучение звезды, выглядит светлой туманностью. Спектр такой туманности совпадает со спектром освещющей его звезды. Достаточно ярко освещена звездами всего лишь малая доля всех темных, пылевых туманностей. Существуют туманности, в которых освещаемая звездой пыль перемешана со светящимся разреженным газом. Такие туманности называют газопылевыми.

3. Диффузные газовые туманности. В созвездии Ориона находится типичная газопылевая туманность (рис. 96). Ее видно (зимой) в сильный бинокль, но только фотография выявляет ее структуру. Газопылевых и чисто газовых разреженных диффузных туманностей известно много. Все они клочковаты, неправильной формы, без четких очертаний. Спектр газовых туманностей состоит из ярких линий водорода, кислорода и других легких газов. Некоторые газы находятся в таком состоянии, что дают спектр, никогда не наблюдавшийся 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 неосущест-

Рис. 96. Диффузная газопылевая туманность в созвездии Ориона.



вима. Действительно, плотность газовых туманностей около 10^{-18} — 10^{-20} кг/м³.

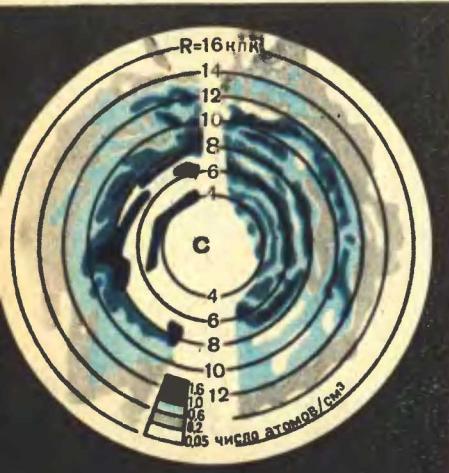
Водород в туманностях почти полностью ионизован. Все газы туманности светятся только в том случае, если в ней или поблизости от нее есть очень горячая голубая звезда с температурой не ниже 25 000 К. Излучение звезды ионизует водород и другие газы туманностей и заставляет их светиться. Газ поглощает ультрафиолетовые лучи, а излучает в красных, зеленых и других линиях спектра. Если бы горячая звезда вдруг угасла, туманность бы тоже вскоре перестала светиться.

Газовые диффузные туманности образуют в галактической плоскости слой толщиной всего лишь около 200 пк. Они тоже принадлежат к населению I типа, характерному для спиральных ветвей Галактики. Размеры туманностей — несколько парсеков или несколько десятков парсеков, так что в них обычно бывает погружено несколько звезд. Внутри них происходят медленные хаотические движения газа. Много сведений о межзвездном газе приносит изучение его радиоизлучения.

4. Нейтральный водород. Водород в светлых туманностях ионизуется 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 отклику фактической длины волны от 0,21 м по принципу Доплера — Физо определяют скорость водородного облака. В настоящее время выяснена общая картина распределения водорода в Галактике (рис. 97). 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 менее 100 К, а температура ионизованных светящихся облаков (туманностей) около 10 000 К. В плотных газовых облаках атомы водорода объединяются в молекулы H₂. 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/м³.

В межзвездном пространстве помимо водорода находятся гелий, а также атомы и некоторые простейшие молекулы других химических элементов в количестве, малом срав-

Рис. 97. Распределение плотности нейтрального водорода в плоскости Галактики на различных расстояниях от ее центра.



114

нительно с водородом и гелием. Многие молекулы обнаружены радиометодами (по излучению и поглощению радиоволн). Среди них OH, H₂O, CO, CO₂, NH₃ и некоторые более сложные молекулы.

5. Магнитное поле, космические лучи и радиоизлучение. В Галактике существует общее магнитное поле. Линии индукции этого поля в основном параллельны галактической плоскости. Изгибаюсь, 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.

28. ДВИЖЕНИЯ ЗВЕЗД В ГАЛАКТИКЕ

1. Собственные движения звезд. Звезды в древности считались неподвижными друг относительно друга. Однако в XVIII в. было обнаружено очень медленное перемещение Сириуса по небу. Оно заметно лишь при сравнении точных измерений его положения, сделанных с промежутком времени в десятилетия.

Собственным движением звезды называется ее видимое угловое смещение по небу за один год. Оно выражается долями секунды дуги в год.

Только звезда Барнarda проходит за год дугу в 10'', что за 200 лет составит 0,5°, или видимый поперечник Луны. За это звезду Барнarda назвали «летящей». Но если расстояние до звезды неизвестно, то ее собственное движение мало что говорит об ее истинной скорости.

Например, пути, пройденные звездами за год (рис. 98), могут быть разные: S₁A, S₂C, а соответствующие им собственные движения (μ) одинаковые.

2. Компоненты пространственной скорости звезд. Скорость звезды в пространстве можно представить как векторную сумму двух компонент, один из которых направлен вдоль луча зрения, другой перпендикулярен ему. Первый компонент представляет собой лу че в у ю, 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 μ , выраженное в радианах в год, умножить на расстояние до звезды D , выраженное в километрах,

115

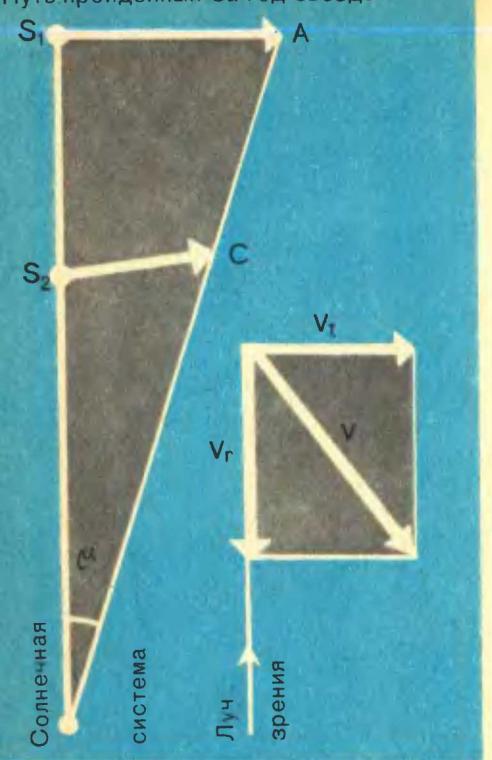
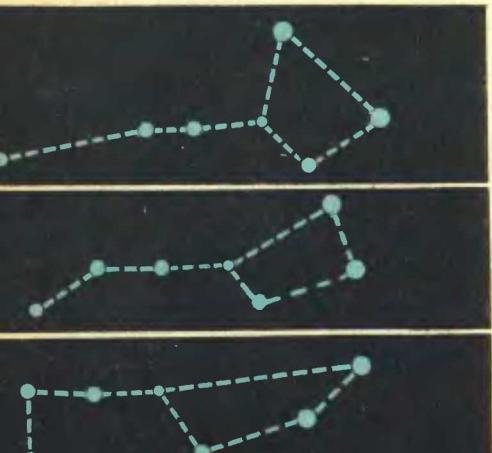


Рис. 98. Собственное движение μ , лучевая V_r , тангенциальная V_t и полная пространственная скорость звезды V .

Рис. 99. 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.



и разделить на число секунд в году. Но так как на практике μ 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:

$$V = \sqrt{V_t^2 + V_r^2}.$$

Скорости звезд относительно Солнца (или Земли) обычно составляют десятки километров в секунду.

Собственные движения звезд 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.

В отличие от тангенциальной скорости лучевую скорость можно измерить, даже если звезда очень далека, но яркость ее достаточна для получения спектрограммы.

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. 99).

3. 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 а п е к с о м 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. Задавать вопрос о том, когда мы долетим до созвездия Лиры, бессмысленно, так как созвездие не является пространственно ограниченным образованием. Одни звезды, которые сейчас мы относим к созвездию Лиры, мы минуем раньше (на огромном от них расстоянии), другие будут всегда оставаться практически так же далеки от нас, как и сейчас.

- 29**
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. Сравнивая на рисунке относительное положение первой и третьей слева звезд ручки ковша Большой Медведицы (рис. 99), примерно оцените (в долях мм) их относительный сдвиг за 50 лет, если масштаб фотографии больше, чем на этом рисунке, в 10 раз.
 4. Если звезда (см. задачу 1) приближается к нам со скоростью 100 км/с, то как изменится ее яркость за 100 лет?

4. Вращение Галактики. Все звезды Галактики обращаются вокруг ее центра. Угловая скорость обращения звезд во внутренней области Галактики (почти до Солнца) примерно одинакова, а внешние ее части врачаются 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 250 км/с.

29. ЗВЕЗДНЫЕ СИСТЕМЫ — ГАЛАКТИКИ. МЕТАГАЛАКТИКА

1. Нормальные галактики. Гершель в XVIII в. открыл и занес в каталоги тысячи наблюдавших на небе туманных пятен (туманностей). У многих из них впоследствии была обнаружена спиральная структура.

Американский астроном Хаббл в XX в. получил фотографии туманности в созвездии Андromеды, на которых было видно, что



Рис. 100. Спиральная галактика М31 в созвездии Андромеды и ее спутник — малая эллиптическая галактика (справа).

это туманное пятно состоит из множества звезд (рис. 100). Он обнаружил в туманности вспышки новых звезд, рассеянные и шаровые скопления и цефеиды. Определив периоды переменности и видимую звездную величину этих цефеид, Хаббл установил, что все они находятся очень далеко за пределами нашей Галактики. Таким обра-

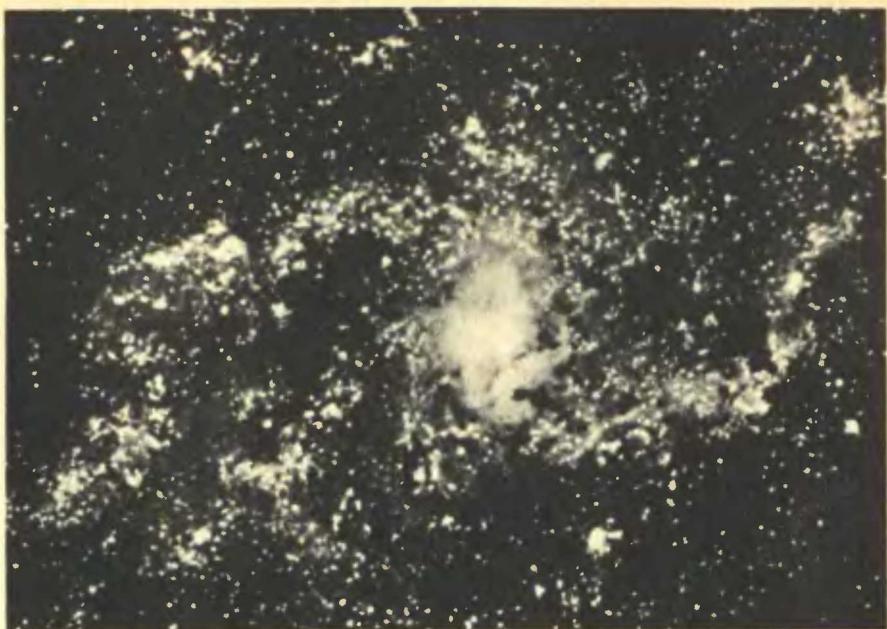


Рис. 101. Спиральная галактика М33 в созвездии Треугольника, видимая почти плашмя. Ее ярчайшие звезды в спиральных ветвях расположены менее тесно, чем в М31, и поэтому заметнее.

зом, вся спиральная туманность в созвездии Андромеды находится вне пределов нашей Галактики и уже этим отличается от газовых и пылевых туманностей нашей звездной системы. Зная расстояние до этой туманности и ее угловой диаметр, легко вычислить его в линейных единицах (см. § 12, рис. 38).

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 газовые и пылевые туманности, как и в нашей Галактике. Вследствие того что галактику в созвездии Андромеды мы видим под некоторым углом к ее оси, она имеет продолговатую форму. Галактика в созвездии Треугольника тоже спиральная, менее наклонена к лучу зрения и имеет поэтому иной вид (рис. 101).

Астрономы нашли великое 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. 102). В соответствии с эффектом Доплера — Физо (см. § 13), красное смещение означает удаление источника от наблюдателя. Скорость удаления пропорциональна величине смещения, поэтому красное смещение

можно выразить в единицах скорости (км/с). Наблюдаемая пропорциональность между расстоянием D до галактик и скоростью v носит название закона Хаббла:

$$v = HD.$$

Коэффициент пропорциональности H называют постоянной Хаббла. Установлено, что величина постоянной Хаббла¹ H составляет примерно $100 \frac{\text{км}}{\text{с} \cdot \text{Мпк}}$, т. е. на каждый миллион парсеков скорость удаления возрастает на 100 км/с. Поэтому расстояние до далекой галактики можно определить по величине красного смещения линий в ее спектре:

$$D = \frac{v}{H},$$

где v — скорость, определенная по красному смещению. Если, например, сдвиг линии спектра соответствует 10 000 км/с, то до галактики 100 Мпк, т. е. 100 млн. пк. 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 врачаются с периодами в несколько сот миллионов лет. Массы их составляют $10^9 - 10^{11}$ масс Солнца.

Ветви спиральных галактик, как и у нашей Галактики, состоят из горячих звезд, цефеид, сверхгигантов, рассеянных звездных скоплений и газовых туманностей. Радиотелескопы обнаруживают в спиральных галактиках нейтральный водород в количестве 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. 103). Вдоль них проходит темная полоса — скопление пылевых туманностей — в экваториальной плоскости.

Во время экспедиции Магеллана в XVI в. наблюдавшие в южном полушарии неба два больших звездных облака назвали Большим и Малым Магеллановыми Облаками (рис. 104). 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. 105, а) значительно меньше спиральных и встречаются редко.

Эллиптические галактики наблюдаются часто. По виду они похожи на шаровые звездные скопления (рис. 105, б), но гораздо

¹ Значение этой величины все уточняется.

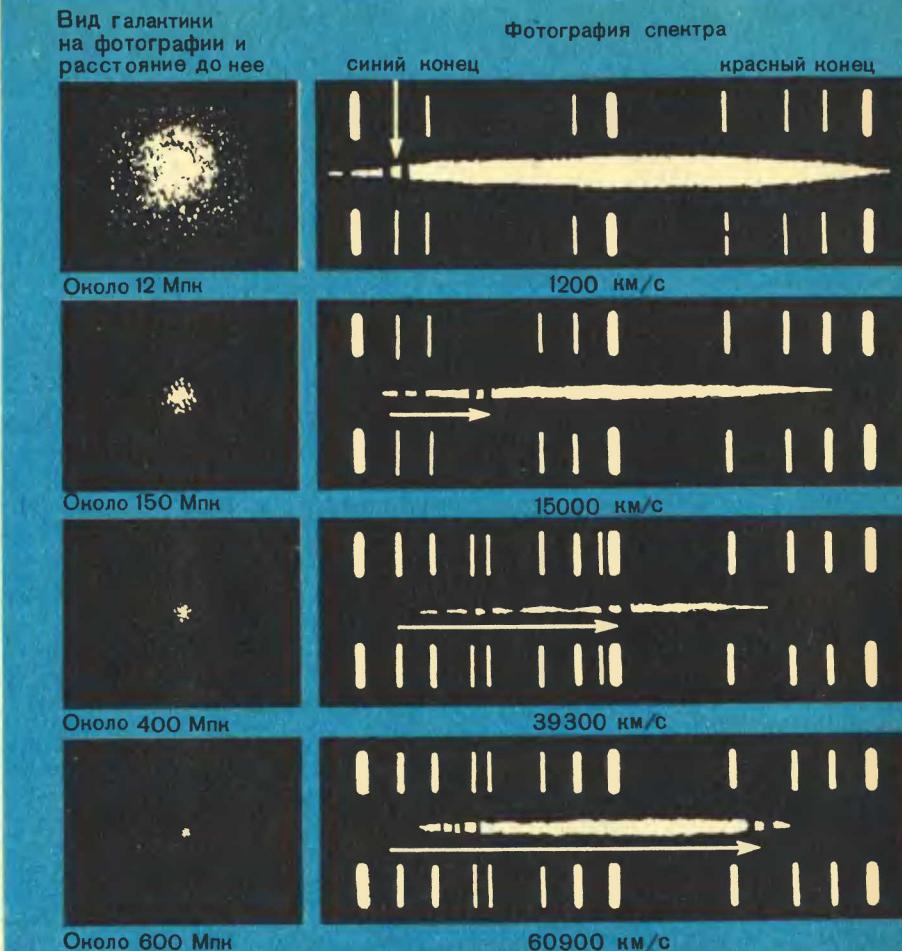


Рис. 102. Красное смещение в спектрах галактик возрастает с расстоянием до них (на фотографии спектра заметнее всего две главные линии поглощения ионизованного кальция). Ширина спектра зависит от видимого размера и яркости галактики. Яркие линии — спектр земного источника света.

Рис. 103. Спиральная галактика, видимая с ребра, с темными пылевыми туманностями, скрывающими от нас ее ядро.





Рис. 104. Большое Магелланово Облако — ближайшая к нам галактика. Относится к типу неправильных галактик.

больше их по размерам. Они вращаются крайне медленно и потому почти не сплюснуты в отличие от быстро вращающихся спиральных галактик (рис. 105, в). Эллиптические галактики не содержат ни звезд-сверхгигантов, ни темных, или светлых диффузных туманностей.

Разнообразны светимости галактик.

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 — их ядрах — происходят взрывоподобные явления, сопровождающиеся выделением очень большого количества энергии.

Мир галактик так же разнообразен, как и мир звезд.

- 30 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. В галактике, у которой красное смещение линий в спектре соответствует 2000 км/с, вспыхнула сверхновая звезда. Ее яркость в максимуме соответствовала 18-й видимой звездной величине. Каковы ее абсолютная звездная величина и светимость?
3. По фотографии (рис. 100) оцените угол наклона спиральной галактики к лучу зрения.
4. На каком расстоянии (в парсеках) от центра галактики (рис. 85) 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. Галактики излучают радиоволны. Радиоизлучение исходит от нейтрального водорода на длине волн 21 см, а также от ионизованного горячего водорода в свет-

лых туманностях. Кроме того, галактики служат источниками нетеплового (синхротронного) радиоизлучения, происходящего от торможения очень быстрых электронов магнитным полем галактик. Радиогалактики отличаются очень мощным синхротронным излучением. Замечательно, что чаще всего радиогалактика имеет два очага радиоизлучения, расположенные по обе стороны от оптически видимой галактики.

На месте некоторых радиоисточников нашли объекты, неотличимые на фотографиях от очень слабых звезд. В их спектре имеются яркие линии со значительным красным смещением. В некоторых случаях это линии, 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 квазарами (звездными и звездоподобными) 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 квазары оказываются в сотни раз ярче, чем гигантские галактики. Остается неясным происхождение колоссальных потоков энергии, излучаемой ими в виде света и в виде радиоволн. Наблюдения свидетельствуют, что квазары сходны по своей природе с активными ядрами галактик и, вероятно, являются ядрами очень далеких звездных систем.

Рис. 105. Основные типы галактик (масштабы фотографий различны):
а — неправильная; б — эллиптическая;
в — спиральная.



3. Метагалактика и космология. Галактики, подобно звездам, бывают двойными, кратными, образуют группы и скопления. Большинство галактик сосредоточено в скоплениях (рис. 106). 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 на расстоянии около 20 млн. пк (20 Мпк).

Наблюдениям доступно гигантское количество галактик.

Самый большой каталог (составленный в СССР) содержит 30 000 галактик ярче 15-й звездной величины.

При помощи сильного телескопа можно сфотографировать много миллионов галактик до 22—23-й звездной величины, из которых самые далекие с трудом отличимы от слабых звезд и отстоят от нас на несколько миллиардов световых лет. Распределение скоплений галактик в пространстве, по-видимому, равномерно, и нет признаков уменьшения плотности распределения скоплений на больших расстояниях.

Вся наблюдаемая система галактик и их скоплений называется **Метагалактикой**. Чтобы яснее представить себе масштабы Вселенной, рассмотрите внимательно рисунок 107.

В Метагалактике действует закон красного смещения Хаббла, и признано, что это смещение действительно отражает движение

Рис. 106. Часть скопления галактик в созвездии Девы.

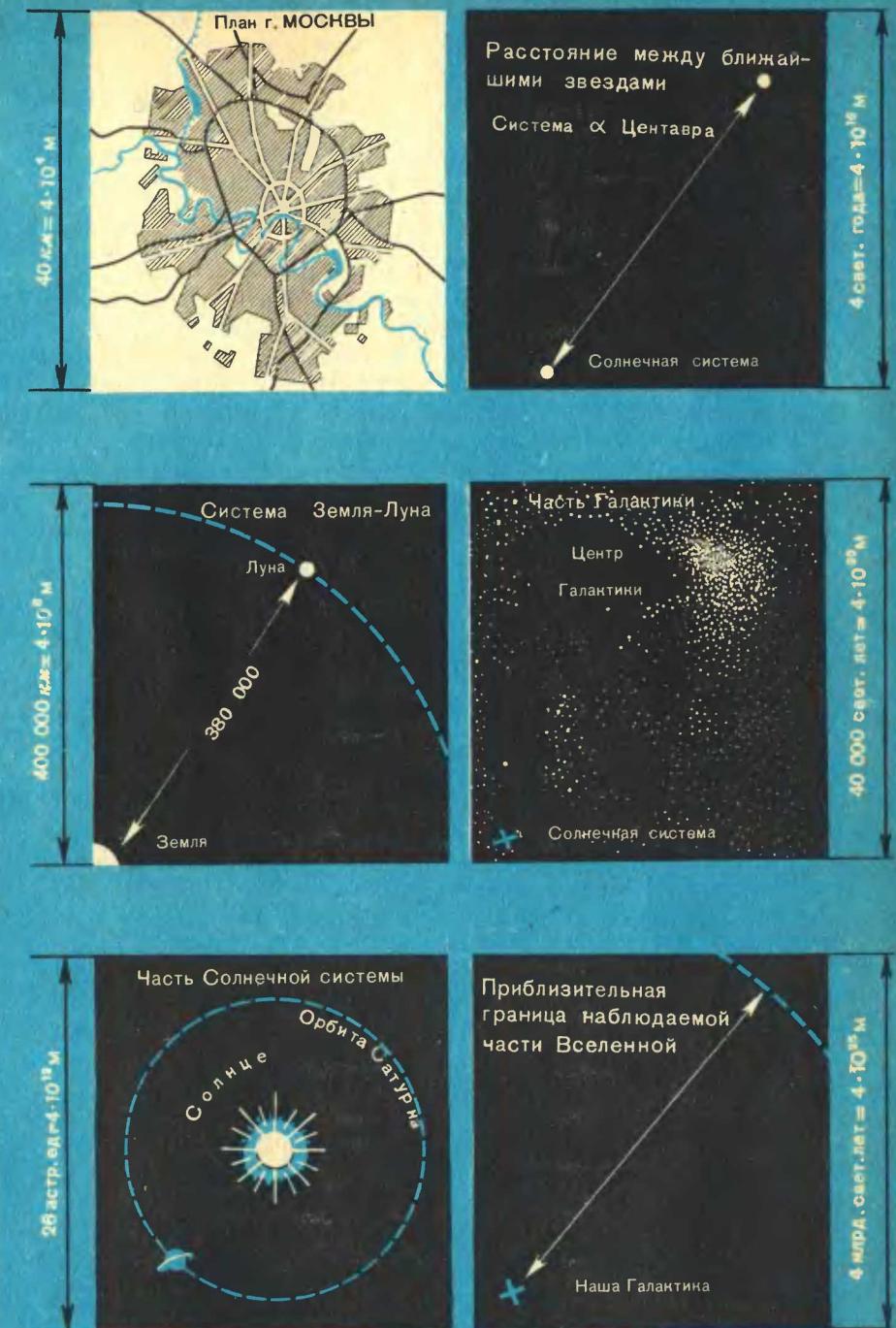


Рис. 107. Масштабы Вселенной (показано, что умещается в квадрате, сторона которого больше предыдущей в 10^4 раз, а последнего в 10^5 раз. Граница наблюдаемой части Вселенной дана условно, лишь по порядку величины).

галактик. А 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 теоретических работах советский ученый А. А. Фридман на основании общей теории относительности А. Эйнштейна. Сделано это было за несколько лет до открытия закона Хаббла.

Наука, которая изучает Вселенную, рассматривая ее как единое целое, а Метагалактику — как часть безграничной Вселенной, называется космологией. Большинство существующих космологических теорий базируется на общей теории относительности. Один из выводов этой теории заключается в том, что массивные небесные тела меняют свойства окружающего пространства, «искривляют» его, делая не совсем точными для него аксиомы и теоремы евклидовой геометрии. Совокупное действие всех тел Вселенной приводит к появлению кривизны пространства, которую можно измерить, наблюдая очень далекие объекты. Она очень мала и известна еще недостаточно точно.

В космологии широко используется метод моделирования, ученые ищут теоретические модели Вселенной, которые бы наглядно представляли наблюдаемые явления. Реальная Вселенная, как оказалось, хорошо описывается моделями расширяющейся Вселенной, в которой средняя кривизна пространства медленно уменьшается со временем.

Расширение Вселенной говорит о том, что раньше галактики были в среднем ближе друг к другу, чем сейчас, а около 10—15 млрд. лет назад средняя плотность материи во Вселенной, по-видимому, была такой высокой, что вещества в ней не могло существовать в форме звезд и галактик. Оно представляло собой плотный и быстро расширяющийся газ, состоящий в основном из водорода и гелия. Из этого газа потом и возникли галактики и звезды.

Что представляла собой Вселенная до начала расширения, на самых ранних его этапах, и сменится ли в будущем расширение 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 заявление является ничем не обоснованной выдумкой. Она нужна противникам материализма для якобы научного подтверждения библейской легенды о сотворении мира. Однако все огромное многообразие качественных изменений материи, наблюдавшихся в процессе расширения Метагалактики, происходит без нарушения законов сохранения и не требует никаких сверхъестественных сил. Открытие эволюции нашей Метагалактики представля-

ет грандиозную победу человеческого разума. Это достижение означает проникновение человека в глубь мироздания, в его далекое прошлое и разбивает миф об ограниченности человеческого познания.

Раздел астрономии, занимающийся вопросами происхождения и развития небесных тел, называется космогонией.

Материалистическая космогония считает бессмысленным вопрос о начале мира и о происхождении Вселенной. Весь опыт человечества показывает, что материя несозиадаема и неуничтожаема. Она лишь меняет форму своего существования. Закон сохранения вещества и закон сохранения и превращения энергии лежат в основе научной космогонии. Космогония опирается не только на всю совокупность наук о природе, но и на философию.

Основная трудность решения вопросов космогонии состоит в том, что небесные тела развиваются и меняются чрезвычайно медленно. В сравнении с возрастом науки возраст небесных тел необычайно велик. Земля существует около $5 \cdot 10^9$ лет, а есть светила еще более старые, хотя известны и совсем молодые.

30. ВОЗРАСТ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ. ВОЗНИКНОВЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ГАЛАКТИК И ЗВЕЗД

1. Возраст небесных тел. Возраст Земли определяют разными методами. Самый точный из них состоит в определении возраста горных пород. Он заключается 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 возраст Солнца составляет около 5 млрд. лет. Солнце старше Земли.

Есть звезды, которые много моложе, чем Земля, например — горячие сверхгиганты. По темпу расходования энергии горячими сверхгигантами можно судить о том, что возможные запасы их энергии позволяют им расходовать ее так щедро лишь короткое время. Значит, горячие сверхгиганты молоды — им 10^6 — 10^7 лет.

Молодые звезды находятся в спиральных ветвях галактики, как и газовые туманности, из вещества которых возникают звезды. Звезды, не успевшие рассеяться из ветви, молоды. Выходя из ветви, они стареют.

Звезды шаровых скоплений, по современной теории внутреннего строения и эволюции звезд, самые старые. Им может быть

более 10^{10} лет. Ясно, что звездные системы — галактики должны быть старше, чем звезды, из которых они состоят. Возраст большинства из них должен быть не меньше чем 10^{10} лет.

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» (§ 24.3), и примерно за то же время ее яркость спадает.

В результате она, вероятно, превращается в крохотную звезду, состоящую из нейтронов и врачающуюся с периодом порядка секунды и быстрее, (нейтронную звезду). Ее плотность возрастает до плотности атомных ядер (10^{16} кг/м³), 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 (§ 24.3). Остатков вспышек сверхновых звезд в виде пульсаров и радиотуманностей, подобных Крабовидной, известно уже много.

Вопрос о происхождении Солнечной системы должен решаться вместе с проблемой происхождения и развития звезд. Пожалуй, ее трудно решить правильно без знания того, как формируются и развиваются галактики.

2. Возникновение галактик и звезд. Академик В. А. Амбарцумян 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 матернию. 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 Метагалактики путем ее распада на отдельные облака. За этим следовало скатие этих облаков за счет тяготения. Они распадались на множество сгустков, имеющих почти сферическое распределение. Так возникли шаровые скопления, эллиптические галактики и ядра спиральных галактик.

В эллиптических системах повышенная плотность газа благоприятствовала конденсации его в звезды. Процесс образования звезд в шаровых и эллиптических системах давно закончился. Их звезды являются самыми старыми звездами.

В 1931 г. автором этого учебника было доказано и теперь признано всеми, что звезды в процессе эволюции выбрасывают столько газа, что его достаточно для формирования новых поколений звезд.

В недрах звезд, особенно сверхновых, в процессе ядерных реакций вырабатываются тяжелые элементы. Поэтому выбрасываемый звездами газ уже обогащен ими. Так возникали и возника-

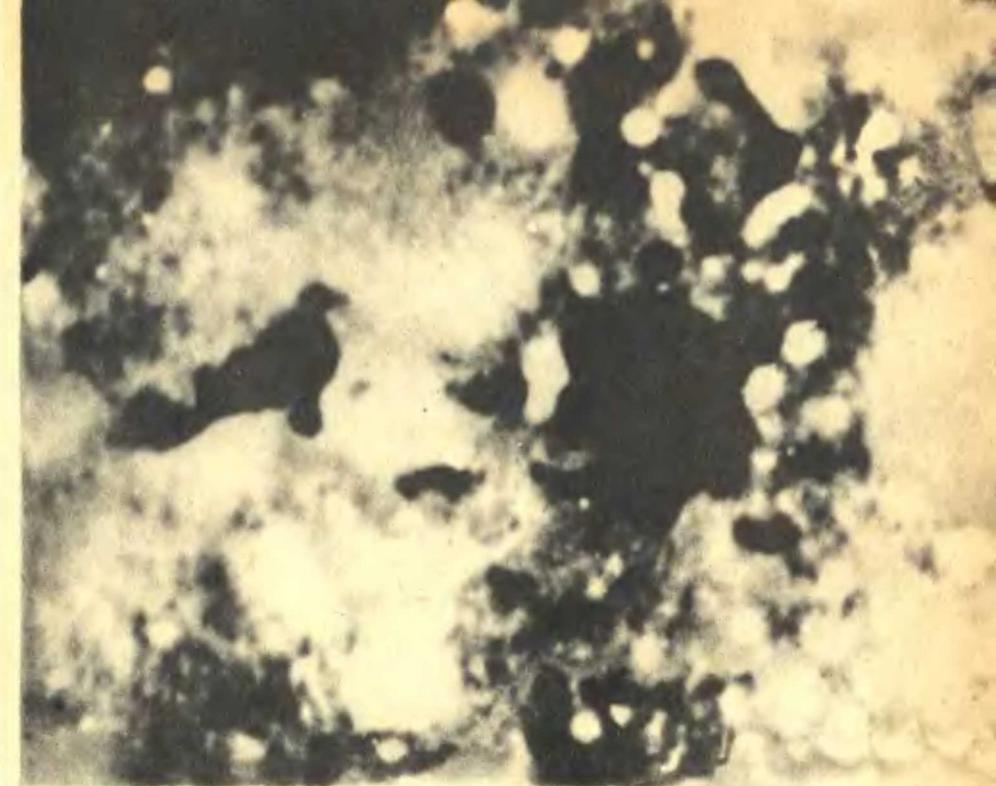


Рис. 108. Глобулы — маленькие, черные, очень плотные газопылевые туманности.

ют путем конденсации вторично накопившегося газа звезды нового поколения, более молодого. Они отличаются от прежних своим химическим составом: содержат больше химических элементов тяжелее гелия, чем старые звезды шаровых скоплений.

Во Вселенной идет непрерывное развитие и изменение не только органического, но и неорганического вещества — вечный круговорот его, а не простое повторение уже пройденных этапов.

3. Развитие звезд. В пользу возникновения звезд путем гравитационной конденсации (т. е. взаимного тяготения частиц) из облаков газовой или газопылевой среды говорят многие факты. Молодые звезды почти всегда наблюдаются в таких областях, где плотность холодного межзвездного газа особенно высока. На фоне светлых туманностей были открыты очень маленькие, но плотные пылевые туманности, названные глобулами (рис. 108). Возможно, что они являются зародышами звезд. Наряду с этим Аро (Мексика) и Хербиг (США) в пылевых туманностях созвездия Ориона обнаружили крохотные, крайне слабые сгустки (рис. 109). В одном из них позднее появилась туманная звездочка, которой раньше здесь не видели. Может быть, это зародилась звезда. Зарождающиеся звезды называются протозвездами.



Рис. 109. Звезды Аро-Хербига. Объекты, появившиеся на правом снимке (1954 г.) и отсутствовавшие на левом снимке (1947 г.), может быть, являются возникающими звездами.

Протозвезды на диаграмме Ц—С (рис. 88) находятся правее главной последовательности, так как их температура еще ниже, чем у звезд, которые из них возникнут.

Сжимаясь, звезда «движется» горизонтально влево по диаграмме Ц—С, пока в недрах звезды температура не поднимется до нескольких миллионов градусов. Тогда начнутся ядерные реакции с участием легких элементов и выделением энергии. Постоянность яркости молодых звезд — знак того, что они еще не стали устойчивыми. Нагрев вводит в действие реакцию превращения водорода в гелий и останавливает сжатие. Давление газа изнутри уравновешивает тяготение к центру. Звезда становится устойчивой и попадает на главную последовательность. Звезда с массой такой, как у Солнца, скжась и появилась на главной последовательности за 10^8 лет. Место прихода звезды на главную последовательность тем выше, чем больше ее масса. Чем массивнее звезда, тем температура в ее недрах выше и быстрее «выгорает» водород, превращаясь в гелий. Голубые звезды «сжигают» водород, находясь на главной последовательности, 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 ядре звезды начинается третья стадия эволюции. Звезда движется по диаграмме Ц—С вправо и вверх, превращаясь в красный гигант. В конце этой стадии в красных гигантах идет реакция выгорания гелия и превращения его в углерод. 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.

31. ВОЗНИКНОВЕНИЕ ПЛАНЕТНЫХ СИСТЕМ И ЗЕМЛИ

Решение вопроса о происхождении Солнечной системы встречает основную трудность в том, что иные подобные системы в других стадиях развития мы не наблюдаем. Нашу Солнечную систему не с чем пока еще сравнивать, хотя системы, подобные нашей Солнечной системе, должны быть достаточно распространены и их возникновение должно быть не делом случая, а закономерным явлением.

Для развития материалистического мировоззрения огромную роль играли первые научные предположения о происхождении Солнечной системы. Первой была гипотеза немецкого философа Канта. В середине XVIII в. он изложил идею о возникновении Солнечной системы из облака холодных пылинок, находящихся в хаотическом движении. В 1796 г. французский ученый 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.

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.

По гипотезе Шмидта, планеты возникли из вещества огромного холодного газопылевого облака, вращавшегося вокруг Солнца. Со временем облако неизбежно должно было сплющиваться. Это вызывалось столкновением частиц и обменом энергией между ними. Постепенно вещество распределилось в виде диска, имеющего толщину, в тысячу раз меньшую его диаметра. Орбиты частиц стали круговыми с движениями в одном направлении. Крупные частицы присоединяли к себе мелкие. Возникали сгустки вещества. Быстрее всего росла масса крупнейших сгустков. Затем из большого числа первоначально образовавшихся «крыхлых» комков вещества всевозможных размеров возникло несколько крупных тел — планет (рис. 110). Расчеты показывают, что Земля выросла до ее современной массы за несколько сот миллионов лет. Земля, холодная на поверхности, стала разогреваться за счет распада радиоактивных элементов. Это привело к расплавлению земных недр. Тяжелые элементы продиффундировали вниз, образовав ядро, а легкие образовали кору. В рое частиц, окружавшем зародыш планет, повторялся процесс слипания частиц, и возникли спутники планет. В частях газопылевого диска, удаленных от Солнца, царила низкая температура, и водород при формировании больших планет не улетучился. Сильный нагрев облака вблизи Солнца ускорял рассеяние



Рис. 110. Этапы возникновения Земли и планет из газопылевого облака по гипотезе О. Ю. Шмидта.

водорода, и в планетах земной группы его почти не сохранилось. Шмидту удалось также впервые теоретически вывести наблюдаемый закон планетных расстояний от Солнца.

Большую трудность представляет объяснение того, как первоначальное газопылевое облако, окружавшее молодое Солнце, сохранило свои большие размеры и получило быстрое вращение.

Теоретические расчеты, учитывавшие наличие магнитного поля и ряд других факторов, позволяют объяснить происхождение планетной системы, но отдельные моменты этой теории все еще нуждаются в проверке и уточнении.

32. МАТЕРИАЛИСТИЧЕСКАЯ КАРТИНА МИРОЗДАНИЯ. ПРОБЛЕМА ВНЕЗЕМНЫХ ЦИВИЛИЗАЦИЙ

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 возможность неограниченного познания природы.

Вселенная в свете научных данных оказывается бесконечной во времени, т. е. вечной и вечно меняющейся. Она никогда 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 разви-

тия и, наконец, прекращают свое существование, с тем чтобы образующая их материя приняла новую форму. Медленно меняется и вся окружающая нас Вселенная. Об этом говорит, например, происходящее 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, на скольких из них могла зародиться жизнь, где жизнь успела воспроизвести разумные существа и технику, допускающую возможность обмена по радио 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, а может быть, и установить контакт с иными цивилизациями.

I. ПРИБЛИЖЕННЫЕ ЧИСЛОВЫЕ ЗНАЧЕНИЯ (ЖЕЛАТЕЛЬНЫЕ ДЛЯ ЗАПОМИНАНИЯ) НАИБОЛЕЕ ВАЖНЫХ ВЕЛИЧИН, ВСТРЕЧАЮЩИХСЯ В АСТРОНОМИИ

Видимый угловой диаметр Солнца и Луны	$1/2^\circ$
Наклон эклиптики к экватору	$23 1/2^\circ$
Средний радиус Земли	6370 км
Разность экваториального и полярного радиусов Земли	21 км
Продолжительность года	365 сут 5 ч 49 мин
Продолжительность синодического месяца (промежуток между двумя одинаковыми лунными фазами).	29 1/2 сут
Продолжительность звездного (сидерического) месяца (период обращения Луны вокруг Земли)	27 1/3 сут
Масса Солнца по сравнению с массой Земли	330 000
Самый короткий период обращения планеты (Меркурия)	3 месяца (88 сут)
Самый большой период обращения планеты (Плутона)	250 лет
Диаметр самой большой планеты (Юпитера)	11 диаметров Земли
Среднее расстояние Луны от Земли	384 000 км
Среднее расстояние Земли от Солнца, или 1 астрономическая единица	150 000 000 км 206 265 а. е., или <u>3 1/4 св. год</u>
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 (Плутона)	40 а. е.
Расстояние от Солнечной системы до ближайшей звезды (α Центавра)	4 св. год, или 1 1/3 пк, или 270 000 а. е. 100 000 св. лет
Поперечник нашей звездной системы — Галактики.	2 000 000 св. лет
Расстояние до ближайшей спиральной звездной системы — галактики в созвездии Андромеды	около 6000
Число звезд, видимых невооруженным глазом	1/4
Диаметр Луны по сравнению с диаметром Земли	10^9
Диаметр Солнца по сравнению с диаметром Земли	6000 К
Температура поверхности Солнца	11 лет
Средний период изменения числа солнечных пятен	от 3000 (красные звезды) до 30 000 К (голубоватые звезды)
Температура звезд	около 5 млрд. лет
Возраст земной коры	" 21 марта
Весеннее равноденствие	" 22 июня
Летнее солнцестояние	" 23 сентября
Осеннее равноденствие	" 22 декабря

II. ГРЕЧЕСКИЙ АЛФАВИТ

α — альфа	ι — йота	ρ — ро
β — бета	κ — каппа	σ — сигма
γ — гамма	λ — ламбда	τ — тау
δ — дельта	μ — ми (мю)	ν — ипсилон
ε — эpsilon	ν — ни (нио)	φ — фи
ζ — дзета	ξ — кси	χ — хи
η — эта	ο — омикрон	ψ — пси
θ — тэта	π — пи	ω — омега

III. НАИБОЛЕЕ УПОТРЕБИТЕЛЬНЫЕ НАЗВАНИЯ ЯРКИХ ЗВЕЗД

Алголь	— β Персея	Кастор	— α Близнецов
Альдебаран	— α Тельца	Мицар	— ζ Б. Медведицы
Альтайр	— α Орла	Поллукс	— β Близнецов
Антарес	— α Скорпиона	Полярная	— α М. Медведицы
Арктур	— α Волопаса	Процион	— α М. Пса
Беллятрикс	— γ Ориона	Регул	— α Льва
Бетельгейзе	— α Ориона	Ригель	— β Ориона
Вега	— α Лиры	Сириус	— α Б. Пса
Денеб	— α Лебедя	Спика	— α Девы
Капелла	— α Возничего	Фомальгаут	— α Южной Рыбы

Основные данные об этих звездах см. в приложении IV.

IV. СПИСОК НЕКОТОРЫХ ЯРКИХ ЗВЕЗД, ВИДИМЫХ В СССР

В таблице обозначение спектра в то же время служит указанием цвета: O, B — голубые звезды, A — белые, F — желтоватые, G — желтые, K — оранжевые, M — красные, α, δ медленно меняются вследствие перемещения земной оси.

Звезда	Звездная величина	Прямое восхождение α	Склонение δ	Спектр. класс**	Расстояние в парсеках
α Тельца	1,06	ч 33,0	+16 25	K	20,8
β Ориона	0,34	5 12,1	-8 15	B	330
α Возничего	0,21	5 13,0	+45 57	G	13,7
α Ориона	0,92*	5 52,5	+7 24	M	200
α Б. Пса	-1,58	6 42,9	-16 39	A	2,7
α Близнецсов	1,99	7 31,4	+32 00	A	13
α М. Пса	0,48	7 36,7	+5 21	F	3,5
β Близнецсов	1,21	7 42,3	+28 09	K	10,7
α Льва	1,34	10 05,7	+12 13	A	25,6
α Девы	1,21	13 22,6	-10 54	B	47,7
α Волопаса	0,24	14 13,4	+19 27	K	11,1
α Скорпиона	1,22*	16 26,3	-26 19	M	52,5
α Лиры	0,14	18 35,2	+38 41	A	8,1
α Орла	0,89	19 48,3	+8 44	F	5,0
α Лебедя	1,33	20 39,7	+45 06	A	290
α Южной Рыбы	1,28	22 54,9	-29 53	A	7,0

* Слегка меняют свою яркость. ** Грубая классификация.

V. ТАБЛИЦА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

	Звезд- ный пе- риод об- ращения, годы	Синоди- ческий период обраше- ния, сутки	Среднее рас- стояние от Солнца		Накло- нение орби- ты к эклип- тике	Масса (масса Земли = = 1)
			а. е.	млн. км		
Меркурий	0,241 ¹	116	0,387	58	7°00'	0,06
Венера	0,615 ²	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	0,02:
Солнце	—	—	—	—	—	333 000

¹ Или 88 сут.

² Или 225 сут.

VI. УКАЗАНИЯ К НАБЛЮДЕНИЯМ

Наблюдения основных небесных явлений каждым учащимся крайне необходимы. Однако наблюдать небесные светила можно только в ясную, безоблачную погоду. Все светила, кроме Солнца и иногда Луны, не бывают видны днем. Некоторые явления происходят под утро или только в определенные редкие моменты, например затмения, и мы не можем увидеть их в другое, удобное для нас время. Поэтому наблюдения ни в коем случае нельзя откладывать. Их надо выполнять при первой же возможности, используя ясные вечера и не пытаясь приурочить наблюдения к изучению соответствующих вопросов программы на уроке. Достигнуть такого согласования невозможно по условиям погоды.

Надо стремиться выполнить как можно больше наблюдений в течение сентября и октября, пока еще часто бываюят ясные вечера и не так холодно. В ноябре и зимой ясная погода бывает довольно редко, а холода затрудняют наблюдения. С марта погода чаще бывает ясной, но темнота наступает все позже и позже.

Наблюдать следует в защищенном от света фонарей и окон домов месте. Звезды надо наблюдать, когда не мешает свет Луны. Желательно иметь при себе фонарик, не дающий яркого света и позволяющий в нужное время посмотреть на звездную карту, сделать запись или зарисовку.

В течение сентября и октября рекомендуется провести такие наблюдения.

1. Приблизительно через каждые 2 недели (в зависимости от погоды) замечать время и зарисовывать (по отношению к окружающим предметам) на види-

Средняя плот- ность, $10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$	Экваториальный диаметр		Сжатие	Звездный период вращения вокруг оси	Наклон экватора к пло- скости орбиты	Число известных спутников планет
	Земли = = 1	км				
5,4	0,38	4 900	0	58,65 сут	7°	—
5,2	0,95*	12 100*	0	243,0** сут	177°	—
5,5	1,00	12 756	1/298	23 ч 56 м 4 с	23°27'	1
4,0	0,53	6 800	1/150:	24 ч 37 м 23 с	25°	2
1,3	11,2	142 000	1/16	9 ч 50 м ***	3°,1	не менее 14
0,6	9,5	120 000	1/10	10 ч 14 м ***	26°,4	не менее 15
1,3	3,9	50 000	1/40:	10,8 ч **:	98°	6
1,6	3,9	50 000	1/60	15,8 ч:	29°	2?
1—1,5	0,2	2800:	?	6,4 сут	?	?
1,4	109,1	1 392 000	0	25,4 сут	7°15'	1

* Диаметр твердой поверхности. *** На экваторе.

** Вращение обратное.

Двоеточие (:) означает неточность числа.

мом горизонте место захода или восхода Солнца. Зарисовку делать всякий раз с одного и того же места. Убедиться в изменении со временем точки восхода или захода Солнца.

2. Желательно выполнить то же в отношении Луны. Такие наблюдения Луны надо вести уже ежедневно, отметив 3—4 ее восхода (или захода).

3. Проследить (из дня в день) полный цикл изменения фаз (вида) Луны. При этом сделать не менее двух зарисовок в смежные дни вида и положения Луны среди звезд на копии, снятой со звездной карты. Эти зарисовки надо делать, когда Луна светит не слишком сильно и поэтому видны неяркие звезды. Если же замечать положение Луны относительно лишь самых ярких звезд, то (поскольку их мало на небе) движение Луны на 13° в сутки мы можем и не заметить. Эти наблюдения покажут нам, как Луна перемещается к востоку на фоне звезд.

4. Осенью с помощью подвижной звездной карты найти и запомнить созвездия Большой и Малой Медведицы, Полярную звезду и некоторые другие созвездия и яркие звезды. Чтобы не забыть созвездия, каждый ученик должен сам время от времени находить их на небе. При этом в тетради необходимо записывать, какие созвездия были видны вечером в южной стороне неба.

5. Весной (а лучше еще и зимой) посмотреть, какие созвездия видны в южной части неба, и узнать на небе знакомые околополярные созвездия. При отыскании созвездий нужно звездную карту держать так, чтобы пометки севера, востока и т. д. на ней соответствовали расположению этих точек горизонта на местности. Надо обращать внимание на различие яркости звезд, изображенных на карте, и мысленно соединять их прямыми линиями. Найдя одно созвездие, переходить от него к другому.

6. При наблюдении созвездий надо обратить внимание на цвет ярких звезд, соответствующий температуре этих звезд.

7. В самом начале и в конце вечера наблюдения созвездий заметить место каких-либо ярких звезд относительно горизонта и их перемещение вследствие суточного вращения неба и в зависимости от расстояния звезд от полюса мира.

Желательно сфотографировать вращение неба около полюса так, как это описано в учебнике.

8. Заметить во время изучения созвездий, как летят по небу метеоры.

9. Пользуясь астрономическим календарем и звездной картой, самостоятельно или с помощью учителя найти на небе планеты, которые в данном месяце видны. Это наблюдение надо сделать в сентябре и точно зарисовать положение планеты среди звезд того созвездия, в котором планета видна. Через 1—2 месяца повторить эту зарисовку и выяснить, как планета переместилась.

Каждый ученик должен уметь находить Полярную звезду, а по ней основные точки горизонта.

Показать несколько созвездий и планеты, видимые в данный вечер.

По фазе и по расположению Луны относительно горизонта указать приближенное положение основных точек горизонта.

Наблюдения в телескоп или бинокль. Бинокль лучше брать призменный, дающий шестикратное увеличение. В него можно увидеть: 1) крупные солнечные пятна, если они будут на Солнце (через темное стекло); 2) неровности границы дня и ночи на Луне и крупнейшие горы на ней; 3) много звезд в Млечном Пути и в звездном скоплении Плеяды, в котором невооруженный глаз видит при нормальном зрении 6 звезд; 4) газовую туманность Ориона (зимой) и туманное пятно — галактику в Андромеде (осенью), едва видимые глазом; 5) двойные звезды в Большой Медведице, в Лире; 6) иногда спутники Юпитера (они очень близки к нему).

В телескоп или в подзорную трубу можно видеть гораздо больше. Вместо телескопа можно использовать трубу теодолита или дальномера.

Экскурсии в планетарий или обсерваторию очень полезны, но они не должны заменять собой самостоятельные наблюдения явлений природы.

ПРЕДМЕТНО-ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Алголь 97
Амбарцумян В. А. 111, 112, 128
Алекс 117
Алогей 68
Ассоциации звездные 111
Астероиды 22, 72
Астрограф 48
Астрономическая единица 26, 42
Астрономия 3
Афелий 24

Базис 37
Белопольский А. А. 66, 98
Болид 72
Бредихин Ф. А. 76
Бруно Джордано 35

Венера 60—62
Возмущения 30
Высота 5

Галактика 107
Галактики 117, 120
Галактическая плоскость 107
Галилей Г. 34, 35
Гершель В. 30, 107, 108
Глобулы 129
Год солнечный 20
Гранулы 85

Диаграмма Герцшпрunga-Рессела
 («цвет — светимость») 105
Доплера-Физо принцип 47

Зависимость «масса — светимость» 105
Затмения 69
Звездная величина 10, 92
Звездные скопления 108
Звезды 10, 89
 — белые карлики 102, 106, 130
 — визуально-двойные 93
 — затменно-двойные 96
 — красные гиганты 106, 130
 — красные карлики 93, 102
 — нейтронные 128
 — новые 99
 — переменные 98
 — сверхновые 100
 — сверхгиганты 102
 — спектрально-двойные 95
 — цефеиды 98
Земля 36
Зенит 11

Ионосфера 52

Календарь 20
 — григорианский 21
 — юлианский 21
Квазары 123
Кеплер И. 24
Кеплера законы 24—26
Кометы 22, 74, 55
Конфигурации планет 27
Коперник Н. 34
Космогония 127
Космология 126
Красное смещение 119
Кульминация 14
Ломоносов М. В. 36, 54, 62
Луна 55
 — движение 68
Луноход 58

Магнитная буря 54
Марс 60, 63, 64
Межзвездная пыль 112
Межзвездное поглощение 112
Месяц сидерический 68
 — синодический 68
Меркурий 60, 61
Метагалактика 124
Метеорит 72
Метеор 78
Млечный Путь 107, 108

Надир 11
Небесная сфера 11
Небесный меридиан 13
 — экватор 13
Нейтральный водород 114
Нептун 65, 66

Обсерватория 49
Орбиты планет 25
Ось мира 12

Параллакс 42
 — годичный 90
 — горизонтальный 42
 — Луны 42
 — Солнца 42
Параллактическое смещение 41
Парсек 91
Пепельный свет 68
Перигей 68
Перигелий 24

Период обращения планет звездный
 (сидерический) 24
 — — синодический 28
 Планеты 14, 15, 22
 — внутренние 27
 — гиганты 65
 — земной группы 52
 — околосолнечные 60
 Плутон 65, 66
 Полдень истинный 12, 19
 Полуденная линия 12
 Поляс мира 11
 Полярное сияние 54, 88
 Последовательности звездные 105
 Пояс зодиака 16
 Приливное ускорение 31
 Приливы 31
 Противостояние 28
 Протозвезды 129
 Протуберанцы 87
 Прямое восхождение 17
 Птолемей К. 34
 Пульсары 128
 Равноденствие (весеннее и осеннее) 15
 Радиант 79
 Радиационный пояс 53
 Радиогалактика 122
 Радиотелескоп 49
 Расширение Вселенной 126
 Сатурн 65, 66
 Синхронное излучение 10⁹, 115, 123
 Система мира гелиоцентрическая
 (Коперника) 34
 — геоцентрическая (Птолемея) 34
 Склонение 17
 Скорости космические 25
 Скорость лучевая 47, 115
 — пространственная 115
 — тангенциальная 115
 Собственное движение звезд 115
 Соединение 27
 Созвездия 9
 — зодиакальные 16
 Солнечная корона 85

Солнечная система 22
 Солнечные пятна 86
 Солнечный ветер 76, 85
 Солнце 22, 21
 Солнцестояние (летнее, зимнее) 16
 Спектр 46
 — звезд 89
 Спектральный анализ 45
 Спутники планет 67
 Стратосфера 52
 Струве В. Я. 37—39, 91, 112
 Сутки солнечные 19
 Суточное движение 13
 Телескоп 7
 — менисковый 8
 — рефлектор 7
 — рефрактор 7
 Терминатор 56
 Триангуляции метод 37
 Тропосфера 52
 Туманности 112
 — диффузные газопылевые 113
 — светлые пылевые 113
 — темные пылевые 112
 Туманность Андромеды 117
 — Крабовидная 100
 Угловое расстояние 5
 Уран 65, 66
 Факелы 86
 Фотометр 49
 Фотосфера 84
 Хаббла закон 120
 — постоянная 120
 Хромосфера 85
 Шмидт О. Ю. 131
 Эклиптика 14, 15
 Эксцентриситет 24
 Юпитер 65, 66

ОГЛАВЛЕНИЕ

I. ВВЕДЕНИЕ

1. Предмет астрономии	3
2. Астрономические наблюдения и телескопы	4
1. Особенности астрономических наблюдений	—
2. Ваши наблюдения	6
3. Телескопы	7
3. Созвездия. Видимое движение звезд	9
1. Созвездия	—
2. Яркость и цвет звезд	10
3. Видимое суточное движение звезд. Небесная сфера	—
4. Определение географической широты	13
5. Суточное движение светил на различных широтах	—
6. Кульминации	14
4. Эклиптика и «блуждающие» светила — планеты	—
5. Звездные карты, небесные координаты и время	17
1. Карты и координаты	—
2. Высота светил в кульминации	18
3. Точное время	19
4. Счет времени. Определение географической долготы. Календарь	20

II. СТРОЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

6. Состав Солнечной системы	22
7. Законы движения планет и искусственных небесных тел	24
1. Форма орбиты и скорость движения	—
2. Второй и третий законы Кеплера	25
8. Конфигурации и синодические периоды обращения планет	27
1. Конфигурации планет	—
2. Синодические периоды	28
9. Возмущения в движении планет. Понятие о приливах. Определение масс небесных тел	29
1. Возмущения в движении планет	—
2. Открытие Нептуна	30
3. Понятие о теории приливов	31
4. Определение масс небесных тел	32

10. Борьба за научное мировоззрение	34	22. Спектры, температуры, светимости звезд и расстояния до них	89
11. Земля, ее размер, форма, масса, движение	36	1. Спектры, цвет и температура звезд	—
1. Размер и форма Земли	—	2. Годичный параллакс и расстояния до звезд	90
2. Масса и плотность Земли	39	3. Видимая и абсолютная звездная величина. Светимость звезд	91
3. Доказательство суточного вращения Земли опытом Фуко	—		
4. Доказательство обращения Земли вокруг Солнца	40		
12. Определение расстояний и размеров тел в Солнечной системе	—	23. Двойные звезды. Массы звезд	93
1. Определение расстояний	—	1. Визуально-двойные звезды	—
2. Определение размеров светил	43	2. Спектрально-двойные звезды	95
3. Затменно-двойные звезды — алгоны	—	3. Затменно-двойные звезды — алгоны	96
III. ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ		24. Переменные и новые звезды	98
13. Методы изучения физической природы небесных тел	45	1. Переменные звезды	—
1. Применение спектрального анализа	—	2. Новые звезды	—
2. Оптические и радионаблюдения	48	3. Сверхновые звезды	100
3. Обсерватории	49		
4. Исследования с помощью космической техники	50		
14. Общие характеристики планет земной группы и Земли	51	25. Разнообразие звездных характеристик и их закономерности	102
1. Изучение физической природы планет	—	1. Диаметры и плотности звезд	—
2. Характеристика планет земной группы	52	2. Важнейшие закономерности в мире звезд	105
3. Земля. Атмосфера	—		
4. Земля. Магнитное поле	53		
15. Физические условия на Луне и ее рельеф	55	V. СТРОЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ	
1. Физические условия на Луне	—	26. Наша Галактика	107
2. Рельеф Луны	—	1. Млечный Путь и Галактика	—
16. Планеты Меркурий, Венера и Марс	60	2. Звездные скопления и ассоциации	108
1. Околосолнечные планеты	—	27. Диффузная материя	112
2. Марс	63	1. Межзвездная пыль и темные туманности	—
17. Планеты-гиганты	65	2. Светлые пылевые диффузные туманности	—
18. Движение Луны и спутников планет. Затмения	67	3. Диффузные газовые туманности	—
1. Спутники планет и Луна	—	4. Нейтральный водород	114
2. Движение Луны	68	5. Магнитное поле, космические лучи и радиоизлучение	115
3. Лунные и солнечные затмения	69		
19. Астероиды и метеориты	72	28. Движения звезд в Галактике	—
1. Астероиды	—	1. Собственные движения звезд	—
2. Болиды и метеориты	—	2. Компоненты пространственной скорости звезд	—
20. Кометы и метеоры	74	3. Движение Солнечной системы	116
1. Открытие и движение комет	—	4. Вращение Галактики	117
2. Физическая природа комет	75		
3. Происхождение комет и их распад на метеорные потоки	77	29. Звездные системы — галактики. Метагалактика	—
IV. СОЛНЦЕ И ЗВЕЗДЫ		1. Нормальные галактики	—
21. Солнце — ближайшая звезда	81	2. Радиогалактики и квазары	—
1. Энергия Солнца	—	3. Метагалактика и космология	—
2. Строение Солнца	82		
3. Солнечная атмосфера и солнечная активность	84	30. Возраст небесных тел. Возникновение и развитие галактик и звезд	127
		1. Возраст небесных тел	—
		2. Возникновение галактик и звезд	128
		3. Развитие звезд	129
		31. Возникновение планетных систем и Земли	131
		32. Материалистическая картина мироздания. Проблема внеземных цивилизаций	132
		Приложения	134
		Предметный указатель	139

СВЕДЕНИЯ О ПОЛЬЗОВАНИИ УЧЕБНИКОМ

№	Фамилия и имя ученика	Учебный год	Состояние учебника	
			в начале года	в конце года

Борис Александрович Воронцов-Вельяминов

АСТРОНОМИЯ

Учебник для 10 класса

Спец. редактор А. В. Засов. Редактор Л. С. Мордовцева.
Редактор карт В. И. Коблер. Художник-картограф А. В. Макарова.
Художественный редактор В. М. Прокофьев.
Художники М. Л. Фрам, П. И. Ефименков, В. Ф. Громов.
Технические редакторы Н. Н. Махова, В. В. Новоселова.
Корректоры О. С. Захарова, К. А. Иванова.

ИБ 6940

Сдано в набор 20.04.82. Подписано к печати 29.09.82. А 13207. Формат 60×90¹/16.
Бум. офсетная № 2. Гарнит. Литературная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 9 + вкл. 0,22
+ форз. 0,31. Усл. кр. отт. 19,5. Уч.-изд. л. 11,14 + вкл. 0,19 + форз. 0,35.
Тираж 3 193 000 (1—2 193 000) экз. Заказ 1245. Цена 30 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство
«Просвещение» Государственного комитета РСФСР по делам издательств,
полиграфии и книжной торговли. Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.

Отпечатано с диапозитивов Саратовского ордена Трудового Красного Знамени
полиграфического комбината Росглаголиграфпрома Государственного комитета
РСФСР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, Саратов, ул. Чер-
нышевского, 59, на ордене Трудового Красного Знамени Калининском полиграфи-
ческом комбинате Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по
делам издательств, полиграфии и книжной торговли, г. Калинин, пр. Ленина, 5.

