



Б. А. ВОРОНЦОВ-ВЕЛЬЯМИНОВ
АСТРОНОМИЯ

Б. А. Воронцов-Вельяминов

АСТРОНОМИЯ

Учебник для средней школы

УТВЕРЖДЕН
МИНИСТЕРСТВОМ ПРОСВЕЩЕНИЯ
РСФСР

ИЗДАНИЕ ДВАДЦАТОЕ



ИЗДАТЕЛЬСТВО „ПРОСВЕЩЕНИЕ“
Москва • 1966



§ 1. ПРЕДМЕТ АСТРОНОМИИ

Астрономия — наука о небесных телах. Она изучает движение, строение и развитие небесных тел и их систем и применяет установленные ею законы для практических потребностей человечества. Астрономия — древнейшая из всех наук: зачатки ее существовали в Вавилоне и Египте еще несколько тысяч лет назад.

Уже первые наблюдатели неба заметили, что по Солнцу и звездам можно определять время суток. В полдень, например, Солнце занимает самое высокое за данный день положение. По изменению вида Луны (серп, полный диск и др.), по положению на небе Солнца и других светил можно определять большие промежутки времени, то есть составлять календарь. Кочевники и мореплаватели по звездам научились определять стороны горизонта.

Этим целям астрономия служит и в настоящее время. Точное время, сообщаемое по радио, астрономы определяют на основании наблюдений небесных светил. Без наблюдения небесных светил нельзя было бы составить географические карты. Астрономия совместно с другими науками подготовила условия для запуска космических кораблей и спутников, для завоевания человеком космического пространства. Таким образом, астрономия возникла и развивается на основе практических потребностей человека.

Наблюдая ежедневный восход и заход Солнца и Луны, видимое перемещение звезд относительно горизонта, люди раньше думали, что все небесные светила движутся вокруг неподвижной Земли. Мир земной и мир небесный противопоставлялись друг другу.

Прежние наивные представления о Вселенной, основанные на наблюдениях людей далекого прошлого, отражены в религиозных учениях. Согласно этим учениям, мир был сотворен богом или богами и существует с тех пор в неизменном виде. Но наука о строении Вселенной показала людям, что мир совсем не таков, каким он изображается в священных книгах. Оказалось, что Земля



Рис. 1. Созвездие Льва (слева).

Справа — вид того же созвездия, когда в нем находится яркая планета.

представляет собой небесное тело; как и сходные с ней небесные тела, называемые планетами, Земля обращается вокруг Солнца. Звезды — это светила, подобные Солнцу, и состоят из раскаленного газа. По размеру они гораздо больше Земли и во многих случаях значительно превосходят Солнце.

Узнав причины солнечных и лунных затмений, появления комет и других небесных явлений, люди перестали бояться их. Суеверия, основанные на незнании строения Вселенной, сохраняются теперь только среди отсталых людей.

Увлекательная наука о небесных светилах рассказывает нам, что есть небесные тела, непохожие на земной шар, что не только на Земле возможна жизнь, что Вселенная вечна, никогда не была сотворена и никогда не перестанет существовать. Знание основ астрономии помогает приобретать передовое научное мировоззрение.

Данные астрономии полезны для развития других наук, особенно физики, химии, геологии. Например, астрономы обнаружили на Солнце газ гелий раньше, чем на Земле; в мировом пространстве открыты физические состояния вещества, которые пока еще нельзя воспроизвести на Земле: мы еще не можем сжать газ так, чтобы он был в тысячу раз плотнее ртути, получить на длительное время температуры в несколько миллионов градусов; нам еще непонятны причины некоторых видов радиоизлучений и т. д.

Помогая другим наукам, астрономия в свою очередь использует их достижения. Физики помогают астрономам разрабатывать новые

методы наблюдения небесных тел: фотография, спектральный анализ, радиотелескопы стали мощными средствами исследования Вселенной; математики вооружают астрономов новым математическим аппаратом, без которого в современной астрономии не обойтись.

Астрономы могут помочь историкам установить, когда произошли некоторые события древности. Например, в Малой Азии во время одного сражения (между мидянами и лидийцами) произошло редкое событие — затмение Солнца. Астрономы рассчитали, что затмение было 28 мая 585 г. до н. э. Так была установлена дата этого исторического события.

Многие небесные явления нельзя подметить сразу, они выясняются лишь при сравнении наблюдений, произведенных в разное время. До недавнего времени астрономия была чисто наблюдательной наукой: все выводы она делала только на основании наблюдений, так как небесные светила были недосыгаемы. Запуски космических ракет, создание искусственных спутников и планет, полеты человека в космос — все это открывает новые возможности для изучения мирового пространства.

Без непосредственного знакомства с небесными явлениями, без наблюдений изучение астрономии остается книжным и мертвым, а представления — нечеткими и некрепкими.

Общие сведения о Вселенной

Прежде чем приступить к изучению основ астрономии, составим общее представление об окружающей нас Вселенной.

Зашло Солнце, оставив на небе багряную зарю. Это солнечные лучи из-под горизонта освещают воздух над Землей, высокие слои земной атмосферы. Постепенно все вокруг темнеет, наступает ночь.

В безлунную ночь на безоблачном небе сверкает множество звезд. Наблюдая за их положением, можно заметить, что звездное небо медленно вращается как одно целое, причем большинство звезд восходит и заходит подобно Солнцу и Луне. Восход и заход всех светил, видимое вращение звездного неба — это отражение вращения Земли вокруг своей оси с периодом в 24 часа. Но мы не чувствуем этого вращения, и нам кажется, что вращается Вселенная, а мы неподвижны.

Кроме звезд, не меняющих своего взаимного расположения на небе и образующих случайные сочетания — созвездия, невооруженным глазом видно 5 ярких светил, которые изо дня в день медленно перемещаются среди звезд, как бы блуждают среди них (рис. 1). Древние греки называли их поэтому планетами (от слова *планетес* — блуждающие). Пути, по которым они перемещаются среди звезд, петлеобразны (рис. 18), так как планета и наблюдатель вместе с Землей обращаются вокруг Солнца с разными скоростями и периодами.



Рис. 2. Большая комета 1843 г. с хвостом.

Планеты — это шарообразные тела. Они много меньше Солнца и сами не излучают света. Мы их видим потому, что они отражают падающий на них свет Солнца. Всего вместе с Землей известно 9 больших планет. В телескоп они видны как маленькие светлые кружки, в отличие от звезд, которые и в телескоп кажутся светлыми точками. Поэтому планеты мы называем светилами. Невооруженным глазом трудно отличить планеты от звезд, если не заметить их перемещения на фоне звездного неба. Многие планеты окружены атмосферами, как Земля, и, может быть, на некоторых из них есть жизнь.

Земля из мирового пространства тоже кажется «звездочкой», как нам представляются планеты.

Вокруг Земли обращается ее естественный спутник — Луна. За месяц она обходит вокруг Земли, и потому ее освещенное Солнцем полушарие бывает повернуто к нам по-разному — Луна меняет свой вид, или, как говорят, фазы: иногда она кажется серпом, иногда полукругом или полным кругом (полнолуние). У некоторых планет есть по нескольку спутников.

Вокруг Солнца, кроме крупных планет с их спутниками, обращается еще много мелких планет (астероидов) и комет. Кометы — это перемещающиеся на фоне звездного неба светила туманного вида, от которых иногда отходит светлая полоса — хвост кометы (рис. 2). Кометы состоят из маленького твердого ядра и окружающей его огромной оболочки, образованной разреженным газом и пылинками.

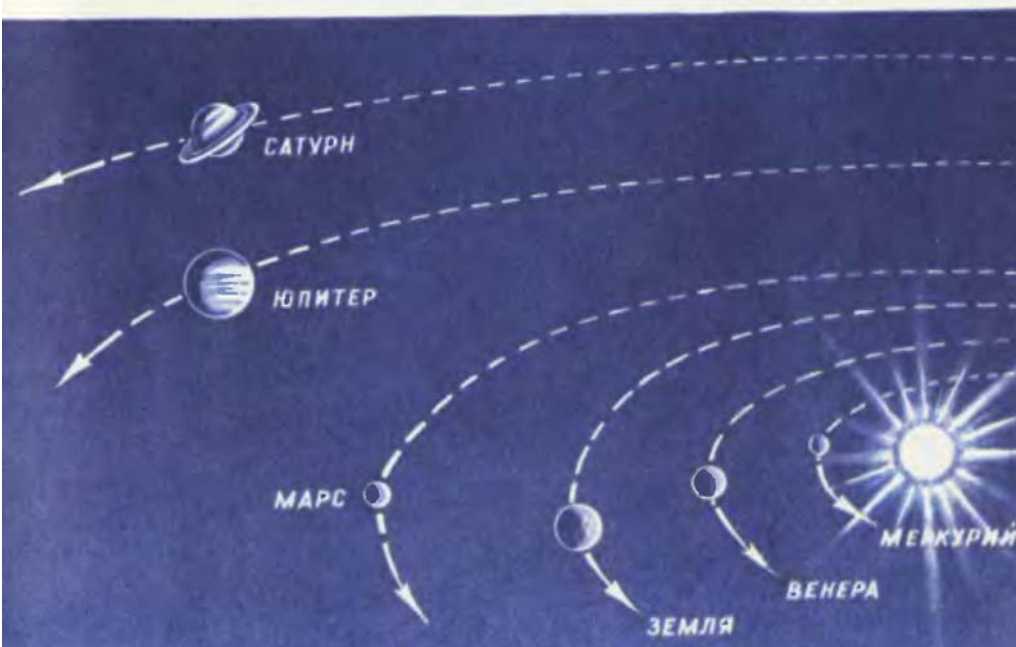
Солнце, обращающиеся вокруг него планеты, их спутники, кометы и астероиды образуют солнечную систему (рис. 3). Под раз-

мером солнечной системы понимают диаметр того почти кругового пути (орбиты), который описывает около Солнца самая далекая из известных планет — Плутон. Этот диаметр в 40 раз больше диаметра орбиты Земли (радиус земной орбиты составляет около 150 млн. км). Но многие кометы, принадлежащие солнечной системе, удаляются иногда от Солнца на расстояние, во много раз большее, чем расстояние от Плутона до Солнца.

Звезды — это самосветящиеся, раскаленные газовые шары; этим они подобны Солнцу, температура которого на поверхности 6000° . Наряду со звездами, в точности похожими на Солнце, есть звезды больше и меньше его по размерам, более горячие и более холодные, более и менее яркие — мир звезд чрезвычайно разнообразен. Вероятно, многие звезды окружены планетами и на некоторых из них должна быть жизнь. Звезды движутся со скоростями, достигающими до сотен километров в секунду, но не сталкиваются, так как расстояния между ними громадны. Например, расстояние между Солнцем и ближайшей звездой в 3000 с лишним раз больше, чем диаметр солнечной системы. Свет, пробегая за секунду 300 000 км, от ближайшей звезды до Земли идет свыше 4 лет, тогда как от Солнца — примерно 8 мин. Многие звезды образуют системы, состоящие из двух, трех и более звезд, а также звездные скопления — от нескольких десятков до миллиона звезд.

Звезды и звездные скопления образуют гигантскую систему, называемую *Галактикой*. Луч света от одного ее края до другого идет около 100 000 лет.

Рис. 3. Движение Земли и ближайших планет вокруг Солнца.



Наше Солнце — одна из 150 млрд. звезд, составляющих Галактику; оно обращается вокруг ее центра с периодом около 200 млн. лет. Звезды, входящие в Галактику и невидимые каждой в отдельности невооруженным глазом, кажутся нам в своей совокупности светлой полосой, опоясывающей все небо и называемой Млечным Путем.

За пределами нашей Галактики мы наблюдаем в современные телескопы около миллиарда других подобных ей звездных систем. Из-за дальности эти системы видны как крохотные, едва различимые светлые пятнышки.

Пространство между планетами и звездами, которое мы называем безвоздушным, на самом деле не пустое: в нем находятся молекулы и атомы газа, пылинки, и через него все время проносятся волны света и радиоизлучение небесных светил.

Вселенная бесконечна, и в бесчисленных телах бесконечной Вселенной происходят непрерывные изменения, которые изучает астрономия.

§ 2. НЕБОСВОД И СОЗВЕЗДИЯ

1. Небосвод. Где бы мы ни находились на открытом месте, в поле или в море, небо, будь оно облачное или ясное, представляется нам в виде купола, опрокинутого над нашей головой. Этот купол неба, или небосвод, днем в ясную погоду голубой, в пасмурную — серый, а в ясную ночь — усыпан звездами.

Небесные светила лишь кажутся помещенными на небосводе — все как будто на одинаковом расстоянии от нас. В действительности же они находятся от нас на самых различных, очень больших расстояниях. Точно так же и небосвод как купол неба в действительности не существует.

Голубой цвет дневного неба объясняется тем, что атмосфера, окружающая земной шар, рассеивает проходящий через нее солнечный свет во все стороны. Солнечный свет состоит из смеси всех цветов радуги, а воздух рассеивает голубые лучи сильнее, чем лучи других цветов. Поэтому небо как бы «окрашивается» в голубой цвет.

Рассеяние солнечного света уменьшается с высотой: чем выше над поверхностью Земли, тем рассеяние меньше. С очень высокой горной вершины, с самолета, со стратостата или с космического корабля небо кажется гораздо темнее и на нем даже днем видны наиболее яркие звезды. В телескоп дневное небо тоже кажется темнее, чем мы видим его невооруженным глазом, поэтому яркие звезды можно видеть в телескоп и днем. Следовательно, видеть звезды на дневном небосводе нам мешает солнечный свет, рассеянный земной атмосферой. Во время полного солнечного затмения небо темнеет и яркие звезды можно увидеть без телескопа.

В ясную безлунную ночь невооруженным глазом можно видеть над горизонтом одновременно не больше 3000 звезд.

2. Созвездия. Еще древние наблюдатели для облегчения ориентировки на небе произвольно объединили близкие друг к другу звезды в различные фигуры — созвездия. Они дали этим созвездиям фантастические названия, сохранившиеся до наших дней. Эти названия, например Большая Медведица, Малая Медведица, кажутся нам теперь странными, так как созвездия названы именами предметов и существ, с которыми в расположении

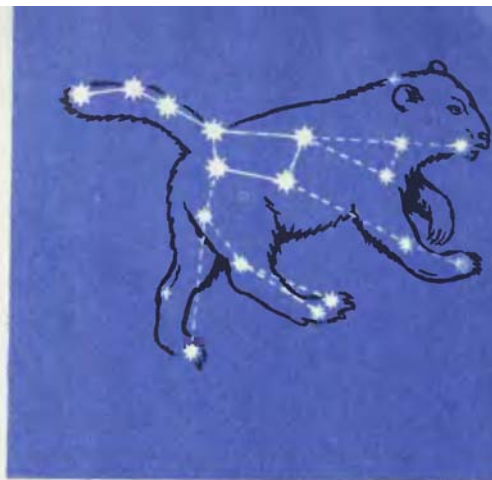


Рис. 4. Фигура созвездия Большой Медведицы (со старинной звездной карты).

звезд часто нет ничего общего (рис. 4). В ряде случаев эти названия были связаны с разными древними легендами. У многих народов наиболее заметные созвездия получили свои названия, отличающиеся от принятых сейчас в науке.

В настоящее время под созвездием понимают определенный участок неба. Все звезды, видимые внутри границ созвездия, относят к этому созвездию.

Всего на небе выделено 88 созвездий. Из них достаточно знать и уметь находить на небе немногие, содержащие яркие звезды. Для удобства нахождения созвездий их наиболее яркие звезды мысленно соединяют прямыми линиями так, чтобы получились простые геометрические фигуры или схематические рисунки. Например, главные звезды созвездия Большой Медведицы соединяют линиями так, что получается фигура ковша.

3. Звездные величины и названия звезд. Звезды весьма различны по блеску. Самые яркие звезды еще очень давно называли звездами 1-й величины. Звезды в 2,5 раза (точнее — в 2,512 раза) более слабые называли звездами 2-й величины и т. д. Самые слабые звезды, видимые зорким глазом в безлунную ночь, — это звезды 6-й величины.

Название «звездная величина» не имеет ничего общего с действительными размерами звезды: оно характеризует только блеск звезды. Чем блеск звезды слабее, тем ее звездная величина больше.

Точные измерения блеска звезд потребовали введения промежуточных дробных обозначений звездных величин, например 1,2 или 5,9. Для светил более ярких, чем звезды 1-й величины, ввели обозначение 0, —1-й, —2-й и т. д. звездной величины (см. приложение IV).

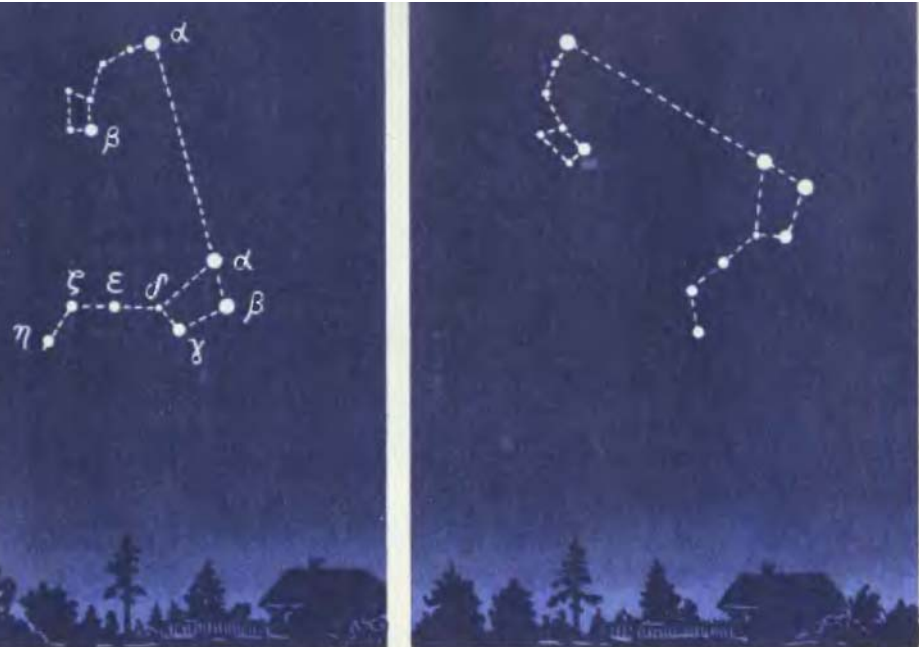


Рис. 5. Созвездия Большой и Малой Медведиц в разных положениях относительно горизонта.

В телескоп видны звезды и более слабые по блеску, чем звезды 6-й величины, а именно: 7-й, 8-й и т. д.

Наиболее яркие звезды еще в древности получили собственные названия, например Сириус, Вега, Альтаир. Кроме того, яркие звезды (в каждом созвездии отдельно) в порядке убывания их блеска обозначают буквами греческого алфавита α , β , γ и т. д. Например, Сириус есть в то же время α Большого Пса, Полярная — α Малой Медведицы, Ригель — β Ориона и т. д. (см. приложения II и III). В каталогах звезд указываются координаты их местоположения на небе и звездная величина. По этим данным можно найти на небе любую звезду.

4. Нахождение созвездий на небе. Каждый должен уметь найти на небе созвездие Большой Медведицы. Оно характерно семью яркими звездами. Если их мысленно соединить прямыми линиями, то получится рисунок ковша или кастрюли с ручкой (рис. 5). Следует иметь в виду, что в разные часы ночи и в разное время года созвездия относительно горизонта располагаются по-разному. Иногда ручка «ковша» Большой Медведицы направлена влево, иногда вверх или вниз, а когда «ковш» бывает виден над головой, кажется, что он опрокинут «вверх дном».

По созвездию Большой Медведицы можно найти созвездие Малой Медведицы. Ее главные 7 звезд (менее яркие, чем звезды

Большой Медведицы), если их мысленно соединить прямыми линиями, как показано на рисунке 5, также образуют «ковш», но меньшего размера. Самая яркая звезда в этом созвездии (в конце ручки «ковша») называется Полярной.

Полярную звезду (α Малой Медведицы) находят так: через две крайние звезды «ковша» Большой Медведицы (от β к α Большой Медведицы) надо мысленно провести прямую линию и продолжить ее на пятикратное расстояние между этими звездами. У конца этой линии мы и увидим Полярную звезду.

По другую сторону от Полярной звезды, если идти от Большой Медведицы, на таком же приблизительно расстоянии раскинулось созвездие Кассиопеи. Оно характерно пятью довольно яркими звездами, расположенными в форме буквы W или растянутой у основания буквы M.

За Кассиопеей (если отправляться от Полярной звезды) находятся созвездия Андромеды и Пегаса. По одну сторону от линии, соединяющей Большую Медведицу и Кассиопею, расположены созвездия Лебеда, Лиры и Орла, а по другую сторону — созвездия Возничего, Близнецов, Тельца, Ориона, Большого Пса. Полезно уметь найти на небе созвездия, состоящие из ярких звезд, запоминая их характерное расположение. Многие созвездия показаны на рисунках 6—8 и на карте звездного неба в конце книги.

Искать созвездия на небе лучше в безлунную ночь.

Рис. 6. Созвездия в окрестностях Полярной звезды.



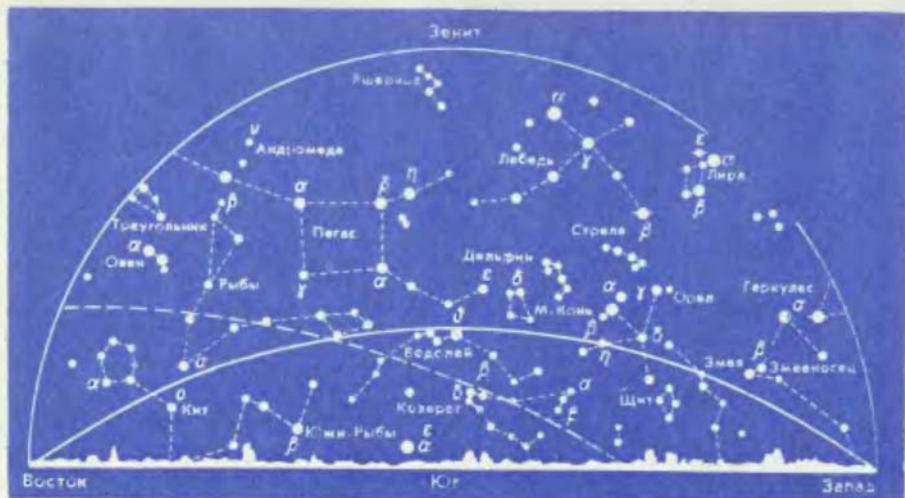


Рис. 7. Созвездия южной половины небосвода 23 сентября около 22 ч (в средних широтах СССР).

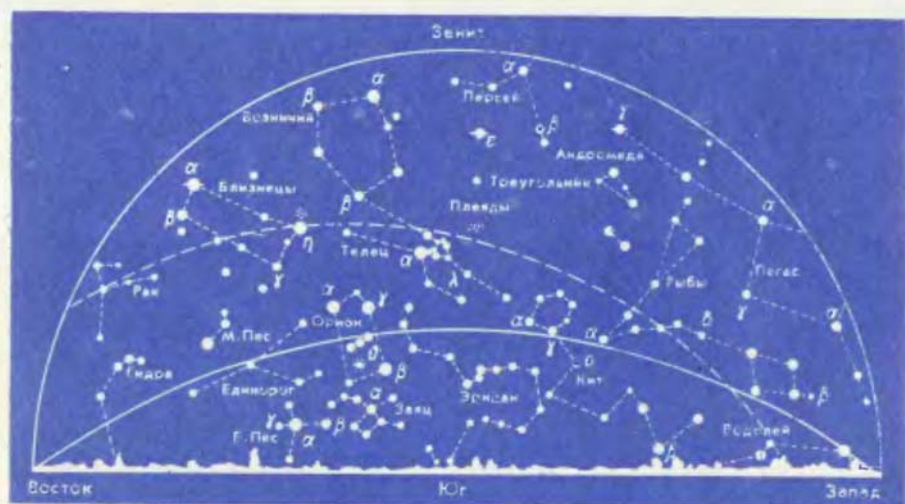


Рис. 8. Созвездия южной половины небосвода 22 декабря около 22 ч (в средних широтах СССР).

5. Подвижная карта звездного неба. Следует иметь в виду, что созвездия Малой и Большой Медведиц, Кассиопеи и некоторые другие всегда находятся над горизонтом. Другие, например Орион, восходят и заходят. В разные часы суток и в разные времена года каждое созвездие занимает различные положения относительно горизонта. Для более легкого нахождения

созвездий особенно удобна подвижная карта неба, так как она показывает расположение созвездий относительно горизонта в любой день и час года (см. приложение IX).

Для нахождения созвездий надо постепенно переходить от одного знакомого уже созвездия к другому, еще не найденному. При этом надо запомнить, в какую сторону от знакомого созвездия находится то, которое мы ищем. Надо обращать внимание на звездную величину звезд. Звезды разной звездной величины изображены на карте кружками разного размера. Как соединять те или другие звезды линиями, показано на карте, хотя это чисто условный прием.

Из названных выше созвездий Лира (с яркой звездой Вега), Лебедь и Орел (со звездой Альтаир) видны летом и осенью всю ночь, Волопас (с яркой звездой Арктур) — весной и летом, Возничий, Телец, Орион и Большой Пес (с яркой звездой Сириус) — зимой.

§ 3. СУТОЧНОЕ ВРАЩЕНИЕ ЗВЕЗДНОГО НЕБА И ВРАЩЕНИЕ ЗЕМЛИ

Выйдя вечером на открытое место, заметим положение какой-нибудь яркой звезды вблизи горизонта на востоке. Посмотрим на эту звезду через час. Мы убедимся, что она поднялась над горизонтом и несколько сместилась вправо (рис. 9) относительно земных предметов.

Проделав такое же наблюдение звезды и в западной части неба, мы убедимся, что звезды, подобно Солнцу и Луне, поднимаются в восточной части горизонта, достигают наивысшего положения в южной части неба и затем заходят в западной части горизонта.

Рис. 9. Звезды в восточной половине неба перемещаются вправо и вверх.



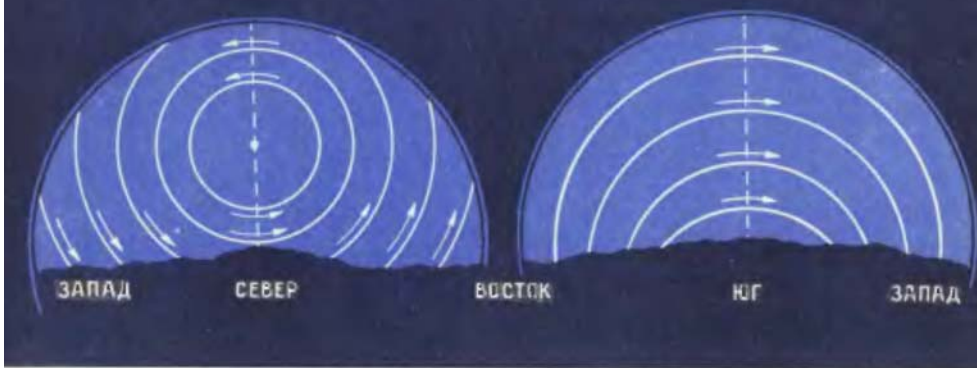


Рис. 10. Видимые суточные пути светил относительно горизонта в северной и южной сторонах неба.

На следующий день они проделывают такой же путь, совершая полный оборот по небу за одни сутки, не меняя своего взаимного расположения. Звездное небо кажется вращающимся как одно целое со скоростью одного оборота в сутки.

Присмотревшись внимательно, мы заметим, что разные звезды описывают круги ¹ различных размеров. Некоторые из них, например Пегас, Персей, Орион, Телец, за сутки описывают круги большего размера, часть которых находится под горизонтом. Такие созвездия в течение суток восходят и заходят. Другие, например Большая Медведица, описывают круги небольшого размера. Весь круг их движения остается над горизонтом — это *незаходящие* созвездия.

На самом деле вращается не небо, а наш земной шар. Он вращается против часовой стрелки, если смотреть на него с северного полюса. Нам, не чувствующим вращения Земли, кажется наоборот, что небо вращается в противоположную сторону — по часовой стрелке.

§ 4. НЕБЕСНАЯ СФЕРА И ЕЕ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ПРАКТИКИ

1. *Небесная сфера.* Все небесные светила кажутся одинаково далекими от нас, хотя истинные расстояния до звезд очень различны. Для глаза это различие в расстояниях совершенно незаметно. Поэтому удобно рассматривать звезды условно как бы находящимися на внутренней поверхности шара произволь-

¹ Математически строже говорить о движении по окружности. Однако физики и астрономы чаще говорят «движение по кругу», в математике то же говорят о больших и малых кругах на поверхности шара.

ного радиуса, в центре которого находится глаз наблюдателя. Небесной сферой называется воображаемая шаровая поверхность произвольного радиуса, на которую мы проектируем положение небесных светил.

Понятием небесной сферы пользуются для угловых измерений на небе, для удобства рассуждений о простейших видимых небесных явлениях, а также для различных расчетов, например для вычисления времени восхода и захода светил. Таким образом, понятие о небесной сфере приносит практическую пользу.

Рассуждая о восходе, заходе и других видимых небесных явлениях, мы считаемся лишь с направлением, по которому видны светила (например, близ горизонта, над головой и т. д.), поэтому безразлично, какой радиус выбрать для небесной сферы. Рисунок 11 показывает, что любая звезда, видимая наблюдателем по какому-либо направлению, будет видна по этому же направлению на сфере радиуса R_1 или на сфере радиуса R_2 . Поэтому и говорят, что небесная сфера имеет произвольный радиус.

2. У г л о в ы е и з м е р е н и я. Считая условно все светила расположенными на небесной сфере (вернее, проектируя их на нее), мы можем измерять только углы между направлениями, по которым эти светила видны. Этим углам на небесной сфере соответствуют дуги больших кругов (большим кругом сферы называется всякий круг, центр которого совпадает с центром сферы). Например, мы говорим, что звезды A и B (рис. 11) отстоят на небесной сфере одна от другой на 23° , если угол между направлениями CA и CB на эти звезды равен 23° . На небесной сфере этому углу соответствует дуга A_1B_1 , равная 23° . Звезда A может быть от нас гораздо дальше, чем звезда D , но если обе они видны почти по одному и тому же направлению, мы говорим, что на небесной сфере звезда D значительно ближе к звезде A , чем к звезде B , хотя в пространстве линейное расстояние (допустим, в километрах) от D до A может быть гораздо больше, чем от D до B .

Подобно этому, Солнце и Луна имеют почти одинаковый видимый угловой диаметр (около полградуса), хотя линейный диаметр Луны почти в 400 раз меньше солнечного. Зато она во столько

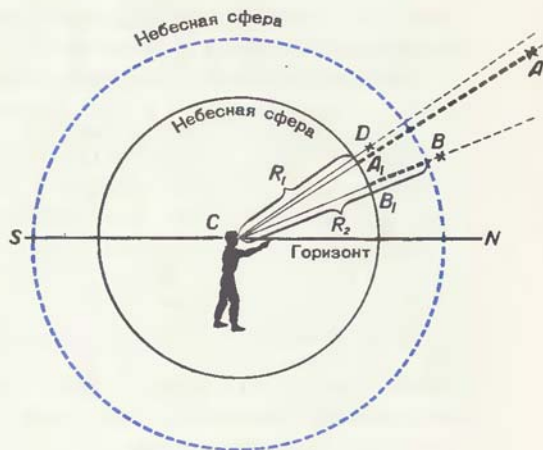


Рис. 11. Проектирование светил на небесную сферу.

же раз ближе к нам, чем Солнце, и поэтому кажется одинакового с ним углового размера. Бессмысленно сравнивать видимый угловой диаметр Луны с копеейкой или с тарелкой, если не отнести последние к какому-либо расстоянию. Точно так же бессмысленны выражения вроде: «Луна поднялась на полметра над горизонтом» или «От одной звезды до другой расстояние на небе 2 м».

Итак, на небесной сфере можно производить только угловые измерения.

Если, вытянув руку, расставить большой и указательный пальцы, то расстояние между концами пальцев человек увидит под углом примерно 16° . Такой «угловой четвертью» можно, правда очень грубо, измерять угловые расстояния. Полезно знать, что угловое расстояние между звездами α и β Большой Медведицы равно 5° .

§ 5. ОСНОВНЫЕ ТОЧКИ И ЛИНИИ НЕБЕСНОЙ СФЕРЫ

1. **Зенит и горизонт.** Отвесная линия, проходящая через глаз наблюдателя, пересекает небесную сферу в точке зенита. Зенит есть наивысшая точка над головой наблюдателя.

Плоскость, перпендикулярная к отвесной линии, называется горизонтальной плоскостью.

Математическим горизонтом называется линия пересечения небесной сферы с горизонтальной плоскостью, проходящей через центр небесной сферы. Плоскость горизонта можно определить при помощи уровня. Видимый же горизонт ограничен линией, по которой, как нам кажется, небо «сходится» с Землей.

2. **Полюсы и ось мира.** Присматриваясь к ночному небу, мы замечаем, что звезды в течение суток описывают тем большие круги, чем дальше от Полярной звезды они находятся.

Полярная звезда в течение суток описывает очень небольшой кружок и всегда видна почти на одной и той же высоте над горизонтом, в северной стороне неба. На рисунке 5 показано изменение в течение суток положения Большой Медведицы относительно горизонта и неизменность положения Полярной звезды. Попробуйте сами убедиться в том, что это так.

На рисунке 12 показано суточное вращение небесной сферы. Снимок получен так: фотоаппарат, установленный «на бесконечность», направили на Полярную звезду и хорошо укрепили. Оставив аппарат с открытым затвором в этом положении на один час, проявили снимок. На фотографической пластинке (негативе) обнаружались черные следы звезд (на позитиве — светлые). Все они имеют вид концентрических дуг. В центре их лежит центр вращения небесной сферы.

Центр вращения южного полушария неба находится в точке, противоположной центру вращения северного небесного полушария. Но ведь в центре небесной сферы находится наш глаз. Сле-

довательно, небесная сфера вращается как одно целое вокруг некоторой оси, проходящей через наш глаз. Ось суточного вращения небесной сферы называется *осью мира*.

Точки пересечения небесной сферы с осью мира называются *полюсами мира*. Полярная звезда расположена вблизи северного полюса мира (на расстоянии около 1°). Южный полюс мира находится в южном полушарии небесной сферы. Вблизи него никакой яркой звезды нет.

3. **Небесный экватор.** Плоскость, перпендикулярная к оси мира и проходящая через центр небесной сферы, называется плоскостью небесного экватора, а линия пересечения ее с небесной сферой — *небесным экватором*.

Небесный экватор делит небесную сферу на два полушария — северное и южное. Мы видим, что ось мира, полюсы мира и небесный экватор аналогичны оси, полюсам и экватору Земли. Да это и естественно, так как перечисленные названия связаны с видимым вращением небесной сферы, а оно само есть следствие действительного вращения земного шара.

4. **Небесный меридиан и полуденная линия.** Плоскостью небесного меридиана называется плоскость, проходящая через точку зенита, центр небесной сферы и полюс мира. Пересекаясь с небесной сферой, эта плоскость образует линию *небесного меридиана*. Вертикальная плоскость, проходящая через Полярную звезду и через наблюдателя, приблизительно будет плоскостью меридиана. В любом месте Земли плоскость небесного меридиана совпадает с плоскостью географического меридиана этого же места.

Полуденной линией называется линия пересечения плоскостей меридиана и горизонта. Эта линия названа так потому, что в полдень тени от вертикальных предметов падают как раз по этому направлению. Практически полуденную линию можно проводить на Земле или на горизонтальной плоскости, отмечая в полдень направление тени от вертикального стержня.



Рис. 12. Фотография полярной области неба, полученная неподвижным аппаратом за один час.



Рис. 13 Основные точки и линии небесной сферы.

PP' — ось мира, P — северный полюс мира, P' — южный полюс мира, $EAWQ$ — небесный экватор, плоскость которого перпендикулярна к оси мира, $ESWN$ — горизонт, S — точка юга, N — точка севера, E — точка востока и W — точка запада. Легко понять, что над горизонтом видна ровно половина небесной сферы и половина небесного экватора, а также то, что в точках E и W (отстоящих от точек S и N на 90°) горизонт и экватор, пересекаясь, делят друг друга пополам.

Линия NS есть полуденная линия, а большой круг $NPZASP'$ — небесный меридиан.

Необходимо научиться чертить небесную сферу. Угол между осью мира и плоскостью горизонта на чертеже можно брать каким угодно. Как мы потом увидим, этот угол зависит от местонахождения наблюдателя на земном шаре.

Введенные в этом параграфе определения необходимы для практических применений астрономии.

6. Линии небесной сферы и Земля. Наблюдателю, находящемуся на Земле в какой-либо точке C (рис. 14), кажется, что звездное небо вращается вокруг оси, проходящей через него самого и параллельной оси вращения Земли. Ось вращения небесной сферы CP мы назвали осью мира и теперь видим, что она для всякого наблюдателя параллельна оси вращения Земли. Для наблюдателей, находящихся на полюсах Земли, ось вращения Земли и ось мира совпадают.

5. Точки горизонта. Горизонт пересекается с небесным меридианом в точках севера N и юга S , а с небесным экватором — в точках востока E и запада W . Если мы встанем лицом к полюсу мира (к Полярной звезде), то на горизонте прямо под ним будем иметь точку севера, за спиной — точку юга, справа — точку востока и слева — точку запада. Помня это, мы всегда сможем ориентироваться на местности.

Чтобы яснее представить себе все, что было здесь сказано, изобразим небесную сферу на чертеже (рис. 13). На этом чертеже C — центр небесной сферы, в котором находится глаз наблюдателя, ZCZ' — отвесная линия, Z — зенит, Z' — надир (противоположная зениту точка небесной сферы),

Ось вращения Земли и параллельная ей ось мира направлены к Полярной звезде, поскольку Полярная звезда находится от нас очень далеко и направления на нее для всех наблюдателей на Земле практически параллельны друг другу.

Плоскость небесного экватора $CEAW$, перпендикулярная к оси мира, параллельна плоскости земного экватора. Для наблюдателя, находящегося на экваторе Земли, эти плоскости совпадают.

Если считать Землю шаром, то отвесная линия CZ является продолжением радиуса Земли OC , проведенного из ее центра в точку, где находится наблюдатель. Поэтому плоскость горизонта, проходящая через центр небесной сферы (через точку C), является плоскостью, касательной к земному шару в точке C . Плоскости небесного и географического меридианов совпадают.

Наблюдатель вращается вместе с Землей, а с ним и его небесная сфера. Поэтому горизонт в разное время суток проходит через разные части звездного неба. Разные светила будут и в зените. Небесный экватор скользит в своей плоскости, а ось мира остается параллельной самой себе. Звезды, занимая неизменное положение относительно друг друга и экватора, движутся в плоскостях, параллельных плоскости небесного экватора.



Рис. 14. Соотношение между линиями и плоскостями небесной сферы и Земли.

§ 6. КУЛЬМИНАЦИЯ СВЕТИЛ

Определив положение меридиана, проследим за вращением звездного неба. Мы убедимся, что любое светило, вращаясь вокруг оси мира, за сутки дважды пересекает меридиан. При этом оно один раз занимает самое высокое положение — это верхняя кульминация, а другой раз самое низкое положение — это нижняя кульминация. **Кульминацией называется явление прохождения светила через меридиан.** У светил незаходящих видимы обе кульминации, у восходящих и заходящих — только одна, а невосходящие светила кульминируют под гори-

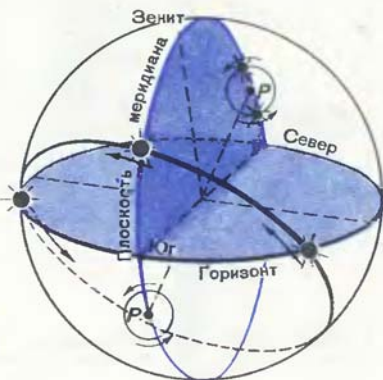


Рис. 15. Верхние и нижние кульминации светил.

зонтом и поэтому невидимы (рис. 15). Моменты кульминаций зависят от положения светил на небесной сфере и от времени года. Промежуток времени между верхней и нижней кульминациями составляет полсуток.

Наблюдая какую-нибудь звезду каждый вечер, мы замечаем, что в данной местности она кульминирует всегда на одной и той же угловой высоте над горизонтом; на какой именно — это зависит от ее положения на небесной сфере и от географической широты местности.

Высота же Солнца над горизонтом в момент его верхней кульминации бывает различной не только для разных местностей (например, в Ленинграде или в Одессе), но и в разное время года: зимой она меньше, летом больше. Для Луны и планет эта высота меняется более сложным образом.

§ 7. ПРИБЛИЖЕННАЯ ОРИЕНТИРОВКА НА МЕСТНОСТИ ПО ЗВЕЗДАМ И ПО СОЛНЦУ

Ориентировка на Земле заключается в нахождении направлений на север, юг и т. д. Мы уже видели, что полуденная линия определяет направление юг — север и что Полярная звезда находится всегда над точкой севера, лежащей на горизонте. Поэтому, найдя Полярную звезду, мы всегда можем ориентироваться по основным точкам горизонта. В полдень положение точки юга указывает нам Солнце, так как его кульминация происходит как раз над точкой юга (рис. 16).



Рис. 16. Верхняя кульминация Солнца и ориентировка по ней.

На ровной поверхности укрепим вертикально (по отвесу) стержень (рис. 17). Часа за три, за четыре до полудня отметим на этой поверхности положение конца тени A стержня и от основания стержня S , как из центра, начертим окружность радиусом AS , равным длине тени. Тень от стержня постепенно станет укорачиваться и поворачиваться. Отметим на нашей окружности точку B , в которой к вечеру конец тени снова ее коснется. Точки A и B соединим прямой линией. Прямая, соединяющая середину линии AB с основанием стержня, и даст положение полуденной линии NS .

Теоретически положение полуденной линии можно было бы определить,

отметив направление тени в тот момент, когда она будет наиболее короткой. Однако практически этот способ слишком неточен, так как вблизи полудня, когда тень самая короткая, ее длина меняется очень медленно, почти незаметно, а направление тени меняется быстро.

§ 8. ВИДИМОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ПЛАНЕТ

На фоне звездного неба Луна непрерывно смещается влево с запада на восток на 13° за сутки и за месяц делает полный круг. Сложнее происходит видимое перемещение планет. Невооруженным глазом можно видеть пять планет: Меркурий, Венеру, Марс, Юпитер и Сатурн. Они светят как очень яркие звезды. Поэтому можно обнаружить планету как «лишнюю» яркую звезду в каком-либо созвездии (рис. 1). На звездной карте планеты как светила, постоянно меняющие свое положение на небе, конечно, не помечены.

Наблюдения показывают, что некоторую часть года каждая планета находится вблизи Солнца и тогда она тонет в его лучах. Следовательно, нельзя рассчитывать в любой вечер увидеть сразу все планеты. Мало того, может оказаться, что какая-либо планета восходит только под утро или заходит уже в самом начале вечера. Может случиться, что в данный момент ни одной планеты не будет видно.

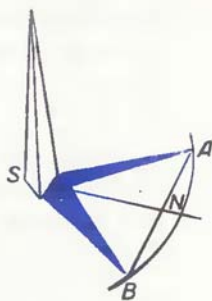


Рис. 17. Определение положения полуденной линии.

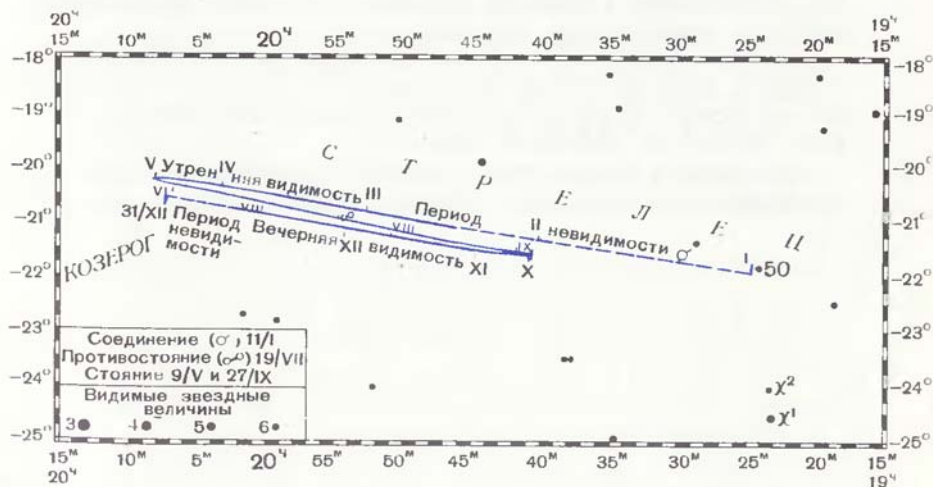


Рис. 18. Видимый путь Сатурна в 1961 г.

Наблюдая светила, люди убедились, что, если Марс, Юпитер и Сатурн бывают видимы, вообще говоря, в различные часы ночи, планеты Венера и в особенности Меркурий никогда не отходят далеко в сторону от Солнца. Меркурий и Венеру можно наблюдать только вечером на западе, вскоре после захода Солнца, либо только утром на востоке, незадолго до его восхода. При этом Меркурий даже в период своего наибольшего видимого углового удаления от Солнца бывает с трудом виден в лучах зари, близко к горизонту. Таким образом, Меркурий и Венера наблюдаются то как «утренние», то как «вечерние» звезды и никогда не бывают видны среди ночи.

Венера светит гораздо ярче всех планет и звезд и имеет белый цвет. Юпитер по блеску слабее Венеры, но много ярче звезд 1-й величины и других планет: он желтовато-белого цвета. Марс имеет красновато-оранжевый цвет и иногда бывает почти так же ярк, как Юпитер, но чаще светит как звезда 1-й величины. Сатурн по блеску мало отличается от звезд 1-й величины и имеет желтоватый цвет.

Очень интересно и полезно следить за перемещением планет по отношению к звездам, отмечая раза два в месяц их положение на звездной карте. Невооруженным глазом скорее всего можно заметить движение планеты Марс. Однако для всех планет лишь через несколько месяцев наблюдения выясняется главная особенность их видимых перемещений: планета перемещается то быстрее, то медленнее, то в сторону суточного вращения небесной сферы, то в противоположную сторону, и на фоне звездного неба она как бы выписывает петли.

На рисунке 18 изображена часть звездной карты и тот петлеобразный путь, который в течение 1961 г. проделал Сатурн. На этом рисунке указано, в каких местах своего пути находился Сатурн в определенные дни года.

Скорость движения и размер петли (в градусах) больше всего у Марса, меньше у Юпитера и еще меньше у Сатурна. Описав петлю, каждая планета смещается на фоне неба навстречу суточному вращению небесной сферы.

Меркурий и Венера тоже описывают подобные петли (следить за движением Меркурия и Венеры мешает светлый фон зари).



РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ЗЕМЛЕ И СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ

§ 9. АСТРОНОМИЯ В ДРЕВНОСТИ И РЕЛИГИОЗНЫЕ СУЕВЕРИЯ

Когда человек не знал еще законов природы, он на каждом шагу чувствовал свою беспомощность и зависимость от окружающего мира. Он слепо преклонялся перед силами природы и небесными светилами. Обожествлялись молния, гром, ветер, Солнце, Луна. Все это порождало веру в сверхъестественные силы и поклонение им.

Свое отражение мифы о Солнце нашли в религиях, в частности в христианской религии. Например, праздник рождества Христова, приуроченный к тому времени зимы, после которого дни начинают удлиняться, а ночи укорачиваться, является одним из древнейших пережитков — праздником рождения бога Солнца. Праздник пасхи (воскресения Христова) знаменует пробуждение природы после зимнего периода.

Поклонение Луне сохранило свои следы в мусульманской (магометанской) религии, в которой серп Луны («полумесяц») является религиозным символом.

На основе религиозных заблуждений, почитания небесных светил и непонимания причин общественных явлений (например, восстаний и войн) возникли фантастические представления о влиянии небесных светил на земные события. Ложное учение об этом влиянии и о возможности предсказывать события на Земле по положению небесных светил получило название *астрологии*. Людей, занимавшихся такими предсказаниями, называли астрологами.

Благоприятную почву для развития астрологии создавало непонимание причины сложных петлеобразных движений планет. Вера в небожителей, будто бы управляющих всем миром, вызвала обо-

жествление этих светил. Поэтому планеты называли именами богов, вестниками которых планеты считались. Не зная, что любые явления природы и общественные события определяются вполне закономерными, земными, естественными причинами, не зависящими ни от каких духов или божеств, люди верили астрологам. На этой основе возникла и вера в «счастливые звезды» и «несчастливые планеты» (планеты).

Развитие правильных научных представлений постепенно ограничивало область суеверий. Однако и до сих пор некоторые вздорные предрассудки живут среди отсталых людей (гадания, вера в судьбу, приметы и т. п.).

Чтобы держать народные массы в покорности и безнаказанно эксплуатировать трудящихся, угнетающие классы всячески насаждали и насаждают религию и различные суеверия. Они поощряют и астрологию как один из способов одурманивания неосведомленных людей сказками о неотвратимой таинственной судьбе.

У вавилонян и египтян жрецы — служители религии — использовали науку для собственной выгоды. Жрецы хранили знания в строгой тайне, чтобы поддерживать свой авторитет и власть. Установление календарных лет, связанных с небесными явлениями, побуждало жрецов изучать эти явления. Жрецы накопили много фактических данных о небесных явлениях, но не умели правильно объяснить их. Вместо изучения природы небесных тел они развивали астрологию и при ее помощи держали в суеверном страхе не только народ, но и его правителей.

По древнеавилонской легенде, заимствованной евреями у своих поработителей — вавилонян — и попавшей в «священную» книгу — Библию, небо представляет собой твердый купол («твердь небесная»), опирающийся на края плоской Земли. Небо есть место обитания «небожителей», создавших мир. На основе таких взглядов выросло представление о глубоком различии между земным и небесным («отличается как небо от земли»), «здешним» и «потусторонним», естественным и сверхъестественным, материальным и духовным, познаваемым и будто бы непознаваемым.

Астрономические познания древних кочевых народов возникли в результате необходимости определять время суток и находить правильное направление по небесным светилам, например в степи или в пустыне. Они знали промежутки времени между наступлением одинаковых фаз Луны.

С переходом человека к земледелию потребность в астрономии возросла. Земледельцу необходимо было иметь календарь, чтобы заранее регулировать сельскохозяйственные работы в соответствии с временами года.

Блуждающие светила, планеты и их видимые петлеобразные движения были известны уже древним египтянам и вавилонянам.

После того как центр политической и культурной жизни из Вавилона и Египта переместился в древнюю Грецию, накопленные

астрономические сведения стали достоянием греческих мыслителей. Астрономия получила у них дальнейшее развитие, так как греки, будучи отважными мореплавателями, особенно нуждались в этой науке и с успехом применяли к ней свои математические познания.

§ 10. ПОНЯТИЕ О ГЕОЦЕНТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ МИРА

Обобщение всех достижений древнегреческой науки дал в IV в. до н. э. один из величайших ученых древнего мира — Аристотель (384—322 гг. до н. э.).

По Аристотелю, каждая планета, Солнце и Луна укреплены на прозрачных твердых небесных сферах — каждое светило на своей сфере. На самой далекой из таких сфер помещены все звезды. Все эти сферы концентрически вложены одна в другую, а в центре их находится неподвижный земной шар. Небесные сферы вращаются вокруг неподвижной Земли с различными скоростями, частично увлекая одна другую, отчего, как считал Аристотель, и происходят все видимые движения небесных светил.

Система мира с Землей в центре называется геоцентрической (*геос* — по-гречески — Земля).

Высшим достижением древнегреческой астрономии явилась система мира, изложенная во II в. н. э. александрийским ученым Клавдием Птолемеем. Он также исходил из геоцентрических представлений. Для объяснения петлеобразных движений планет Птолемей предположил, что каждая планета равномерно движется по малому кругу (названному *эпициклом*), в то время как центр этого круга в свою очередь движется по кругу большого радиуса (*деференту*) вокруг Земли. Сочетание этих двух движений, происходящих в разных плоскостях, и создает при наблюдении с Земли петлеобразное движение планет то вперед, то назад (рис. 19). Представления Птолемея о движении планет были ошибочны, но позволяли заранее вычислять положение планет на небе и потому приносили практическую пользу.

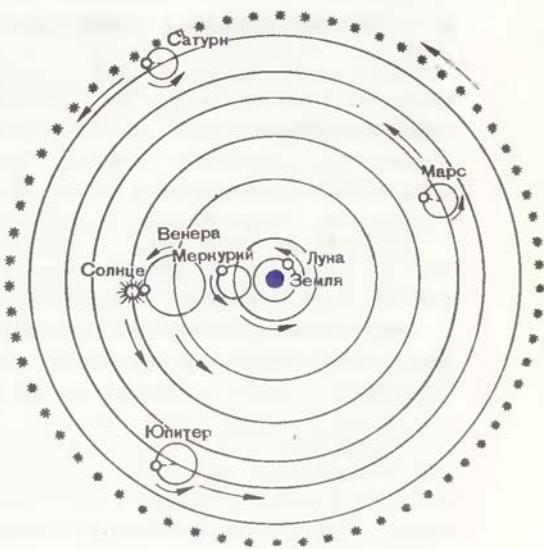


Рис. 19. Система мира по Птолемею.

После падения государств с греческой культурой началось развитие государств Западной Европы. Однако там в начале средних веков существовало весьма примитивное хозяйство, еще мало заинтересованное в науке. Мореплавание было развито слабо. Христианская церковь запрещала изучение природы, как греховное занятие. В эту пору в Европе существовали еще более naive и грубые представления о Вселенной, чем у египтян и греков. Даже шарообразность Земли отвергалась. Землю изображали плоским кругом или даже четырехугольником. Звезды же считались золотыми гвоздями, вбитыми в небесный свод, или лампадами, которые зажигают ангелы.

В эпоху великих географических открытий, когда развитие торгового капитала побуждало европейцев отправляться в плавание по морям и океанам для захвата новых богатств, волею-неволею пришлось обратиться к астрономии. Начали изучать произведения древнегреческих писателей, которые средневековые арабы уберегали от гибели в пору фанатических преследований христианской церковью всего противного христианской религии. От арабов, развивавших мореплавание, а потому ценивших астрономию и занимавшихся ею, сохранились в астрономии многие названия и астрономические термины.

Церковные власти, заинтересованные в прибылях от торговых заморских путешествий, решили допустить изучение теории Птолемея с некоторыми оговорками и дополнениями в духе религиозных учений.

§ 11. РЕВОЛЮЦИОННОЕ ОТКРЫТИЕ КОПЕРНИКА

Развитие морских связей требовало все большей точности астрономических расчетов. Теория Птолемея этого не давала, хотя для согласования с повысившейся точностью наблюдений ее пришлось усложнить. Теория Птолемея стала неудобной, громоздкой для вычислений и все же недостаточно точной, вместе с тем стала казаться и маловероятной.

Установить, что Земля — планета, и тем самым открыть людям глаза на ее движение и истинное место во Вселенной сумел гениальный польский ученый Николай Коперник (1473—1543).

Коперник пришел к убеждению, что Земля движется, что наблюдаемые движения небесных светил можно проще и лучше объяснить, если исходить из движения Земли.

Став на эту точку зрения, Коперник объяснил восход и заход светил суточным вращением Земли, а видимое движение Солнца по отношению к звездам — годичным обращением Земли вокруг Солнца. Согласно Копернику, и все другие планеты движутся вокруг Солнца, а не вокруг Земли.

Таким образом, Земля, по теории Коперника, стала одной из планет, занимая третье место от Солнца. Порядок расположе-

ния планет от Солнца такой: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер и Сатурн. Система Коперника с Солнцем в центре называется гелиоцентрической (гелиос — по-гречески — Солнце).

Своим учением Коперник положил начало развитию астрономии на совершенно новых основах и побудил человечество взяться за изучение природы, не обращая внимания на невежественные церковные учения. До Коперника церковные учения или учения, поддерживавшиеся церковью (например, учение Птолемея), задерживали развитие не только астрономии, но и других наук. Открытие Коперника произвело революцию в мировоззрении людей, в их понимании природы и в способах ее познания. Вот почему с тех пор и другие науки стали развиваться быстрее.



Николай Коперник (1473—1543).

Ф. Энгельс говорил об этом так: «Чем в религиозной области было сожжение Лютером папской буллы, тем в естествознании было великое творение Коперника, в котором он, — хотя и робко, после 36-летних колебаний и, так сказать, на смертном одре, — бросил вызов церковному суевию. С этого времени исследование природы по существу освободилось от религии, хотя окончательное выяснение всех подробностей затянулось до настоящего времени... Но с тех пор и развитие науки пошло гигантскими шагами...»

В то время как в Советском Союзе развивается передовая наука, в капиталистических странах в интересах религии, поддерживаемой имущими классами, нередко выдвигаются разные реакционные теории. Там до сих пор нередко пытаются опровергать сущность учения Коперника, утверждая, что безразлично — обращается ли Земля вокруг Солнца или Солнце вокруг Земли. Тем самым стремятся в замаскированной форме вернуться к антинаучным представлениям средневековья, восстановить авторитет религии в воззрениях на природу.

Достижения естествознания шаг за шагом опровергают вымыслы религии. Человек, вооруженный наукой и техникой, подчиняет себе силы природы и изменяет ее в соответствии со своими задачами. Однако борьбу с религиозной идеологией нельзя прекращать и сейчас, так как загнивающий капитализм поддерживает всевозможные суеверия.



Галилео Галилей (1564—1642).

§ 12. ОТКРЫТИЯ ГАЛИЛЕЯ И БОРЬБА ЦЕРКВИ ПРОТИВ НАУКИ

Узнав, что в Голландии изобретена зрительная труба, или телескоп, итальянский ученый Галилей (1564—1642) в 1609 г. сам смастерил телескоп и использовал его для наблюдений небесных светил. При помощи телескопа Галилей сделал много замечательных открытий. Правильно им истолкованные, они послужили блестящим подтверждением истинности теории Коперника.

Прежде всего Галилей открыл существование гор на Луне. Это подтверждало, что небесные тела похожи на Землю и что представления о глубоком различии между земным и небесным ошибочны.

Затем Галилей открыл, что вокруг планеты Юпитер обращаются четыре спутника, подобно тому как Луна обращается вокруг Земли. Так была доказана ошибочность тогдашних представлений о Земле как о единственном центре движения небесных тел. Теперь уже легче было подвести людей к мысли: планеты обращаются вокруг Солнца, а не вокруг Земли.

Далее, Галилей открыл фазы Венеры, то есть установил, что она меняет свой вид, как и Луна. Из этого следовало, что Венера — шарообразное тело, которое светит отраженным солнечным светом и обращается именно вокруг Солнца, а не вокруг Земли.

На Солнце, которое по религиозным представлениям считалось символом незапятнанной небесной чистоты, Галилей в свой телескоп увидел темные пятна. Из их видимого перемещения по диску Солнца Галилей заключил, что Солнце вращается вокруг оси. Убедившись во вращении небесного тела вокруг оси, легче было допустить вращение Земли.

Наконец, Галилей обнаружил в телескоп, что Млечный Путь — эта светящаяся полоса на звездном небе — является скопищем множества слабых звездочек. Значит, Вселенная грандиознее, чем ее считали. После всех этих открытий нелепо выглядело допущение, что колоссальная Вселенная за одни сутки делает оборот вокруг маленькой Земли. Этими открытиями и рядом других остроумных доводов Галилей подтвердил истинность открытия Коперника.

Пропаганде идей Коперника, противоречивших «священному писанию», в котором говорилось о неподвижности Земли, содействовал и другой пламенный коперниканец — соотечественник и современник Галилея, писатель и философ Джордано Бруно (1548—1600). Но Бруно пошел дальше Коперника. Он утверждал, что звезды — это очень далекие от нас солнца, что Вселенная бесконечна и миров в ней — звезд и планет — бесчисленное множество, наконец, что на других планетах, в других мирах тоже должна существовать жизнь. Это еще более противоречило «священному писанию» и подрывало авторитет церкви. Озлобленные представители церкви предали Бруно суду инквизиции, учрежденному для борьбы с «еретиками» (инакомыслящими). У Бруно потребовали отречься от своих убеждений. Джордано Бруно не согласился, и его предали мучительной казни — сожгли живым на костре в Риме в 1600 г.



Джордано Бруно (1548—1600).

Следующей жертвой церковного гнета стал Галилей. В 1616 г. его вызвали к одному из папских кардиналов и предупредили, что папа запретил защищать и распространять учение Коперника. Но преданный науке Галилей мужественно продолжал отстаивать передовые воззрения. В 1633 г. Галилей был отдан под суд инквизиции. Престарелого ученого угрозами вынудили «раскаяться» и приговорили к пожизненному заключению, которое потом было заменено запрещением выходить из своего дома.

Деятельность Коперника, Бруно и Галилея вызвала революцию в мировоззрении и показала антинаучность религиозного утверждения об особом месте Земли и человечества в мироздании.

Материалистическая наука подтвердила правильность взглядов этих ученых. В России смелую борьбу против религиозных представлений о неподвижности Земли вел М. В. Ломоносов (1711—1765). Он заботился о распространении учения Коперника и в остроумных стихах высмеивал церковных мракобесов. Из учения Коперника Ломоносов сделал смелый вывод о том, что не только на Земле, но и на других планетах могут быть разумные существа. Он добивался невмешательства церкви в распространение научных знаний.

§ 13. ИСТИННОЕ ДВИЖЕНИЕ ПЛАНЕТ И ЗАКОНЫ КЕПЛЕРА

Видимые петлеобразные движения планет Коперник объяснял сочетанием движения Земли с движением каждой планеты вокруг Солнца. Так как периоды обращения Земли и любой планеты неодинаковы, то бывает, что, например, Земля обгоняет планету, и тогда планета кажется смещающейся относительно звезд к западу. В другое же время движения их складываются так, что планета кажется перемещающейся к востоку. Это поясняет рисунок 20, где стрелки показывают направление обращения Земли и планеты, которая дальше от Солнца, чем Земля, и движется медленнее. Прямые линии соединяют одновременные положения Земли и планеты и указывают направление, по которому планета видна с Земли при разных ее положениях на орбите. Стрелки у видимого пути планеты показывают, как при этом меняется направление ее видимого движения.

Коперник определил периоды обращения планет и их расстояния от Солнца по сравнению с расстоянием Земли от Солнца.

Взаимное расположение Земли и планет все время меняется. Например, планета, более далекая от Солнца, чем Земля, по отношению к последней может быть за Солнцем (рис. 21), а планета, более близкая, — между Землей и Солнцем или тоже за ним. В этих положениях планеты нам не видны, так как скрываются в лучах Солнца. Планету, более далекую от Солнца, чем Земля, лучше всего наблюдать, когда она видна в стороне, противоположной Солнцу. Тогда она ближе к Земле и хорошо видна в телескоп. В эту пору она кульминирует в полночь и долго видна

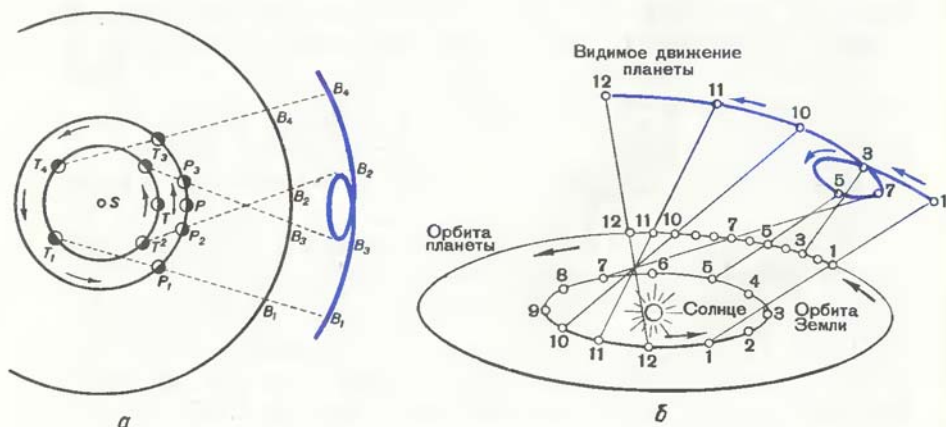


Рис. 20. Видимое петлеобразное движение планеты (происходит вследствие сочетания движения планеты и наблюдателя вместе с Землей).

в течение дня. Положение планеты, противоположное Солнцу по отношению к Земле, называется *противостоянием*.

Для планеты, более близкой к Солнцу, чем Земля, угол между направлениями с Земли на нее и на Солнце меняется, не превосходя 29° для Меркурия и 48° для Венеры. При наибольшем угловом расстоянии между Солнцем и такой планетой ее удобнее всего наблюдать — она позднее заходит вечером после Солнца или раньше восходит утром перед восходом Солнца, смотря по тому, с какой стороны от Солнца мы ее видим. Как показывает рисунок 22, вид Меркурия и Венеры меняется, как у Луны. Это зависит от того, как повернуто к нам освещенное Солнцем полушарие этих планет.

Коперник установил, что центром движения Земли и планет является Солнце, но точно установить истинную форму орбит планет он не мог. Как все ученые и философы древности, Коперник считал, что в небесах все движения равномерны и траектории этих движений — окружности. Поэтому подлинные движения планет теория Коперника отражала едва ли точнее, чем теория Птолемея.

Причину этого несоответствия выяснил в начале XVII в. австрийский ученый Иоганн Кеплер (1571—1630). Кеплер установил три закона планетных движений, которые он вывел из наблюдаемых перемещений планет по небесной сфере.

Первый закон. Каждая планета движется по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце.

Эллипсом называется замкнутая плоская кривая, обладающая тем свойством, что сумма расстояний каждой ее точки от двух точек, называемых фокусами, остается постоянной. На рисунке 23 O — центр эллипса, DA — большая ось, K и S — фокусы эллипса, так что $KM + SM = DA$ равно большой оси эллипса. Чем больше расстояние между фокусами, тем более сжат эллипс при заданной величине его большой оси. Степень вытянутости эллипса характеризуется величиной его *эксцентриситета*. Эксцентриситетом e называется отношение расстояния OS центра эллипса от одного из фокусов к длине большой полуоси OA , то есть $e = OS : OA$.

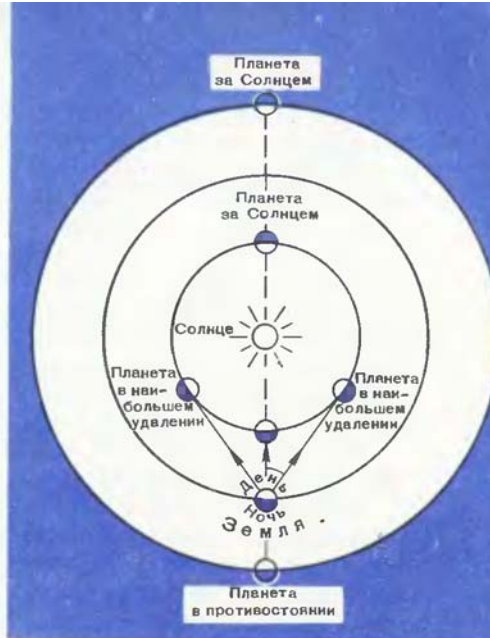


Рис. 21. Противостояния и наибольшие удаления планеты от Солнца.

Эллиптические орбиты планет мало отличаются от окружности, и их эксцентриситеты немногим больше нуля.

Из первого закона Кеплера следует, что расстояние планет от Солнца меняется. Ближайшая точка орбиты называется *перигелием*, а наиболее далекая — *афелием*.

Орбита Земли тоже эллиптическая. В перигелии Земля бывает в начале января, в афелии — в начале июля. Хотя, таким образом, зима в северном полушарии Земли бывает в период кратчайшего расстояния ее от Солнца, однако различие в угле падения солнечных лучей на поверхность Земли и различие в продолжительности дня летом и зимой влияют сильнее, чем небольшие изменения в расстоянии Земли от Солнца.

Второй закон (закон площадей). Радиус-вектор планеты в равные времена описывает равные площади.

Радиусом-вектором планеты называется отрезок прямой линии, соединяющей планету с Солнцем. Скорость планеты при ее движении меняется так, что площадь, описанная радиусом-вектором за равные промежутки времени, одна и та же, в какой бы части своей орбиты ни находилась планета. На рисунке 23 площади *CSD*, *ESF* и *ASH* равны, если дуги *CD*, *EF*, *AH* описаны планетой за равные промежутки времени. Таким образом, близ перигелия скорость планеты наибольшая, близ афелия — наименьшая.

Третий закон. Квадраты периодов обращения планет относятся, как кубы больших полуосей их орбит.

Если период обращения и большую полуось орбиты одной планеты обозначить соответственно T_1 и a_1 , а другой планеты — через T_2 и a_2 , то третий закон Кеплера выразится формулой:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

Зная из наблюдений периоды обращения планет, можно по этой формуле определить большие полуоси орбит планет по отношению

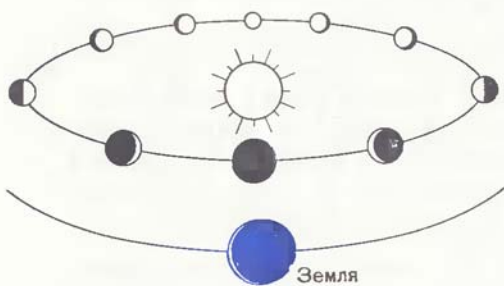


Рис. 22 Изменения фазы и видимого диаметра Меркурия и Венеры в зависимости от их положения относительно Земли и Солнца.

к большой полуоси орбиты Земли, принимая полуось орбиты Земли за единицу. Заметим, что длина большой полуоси орбиты планеты равна среднему расстоянию ее от Солнца, так как полусумма расстояний планеты от Солнца в афелии и перигелии равна большой полуоси орбиты планеты; на рисунке 23 $\frac{DS+AS}{2} = OD$, где *OD* — большая полуось. Так как при помощи третьего

закона Кеплера все расстояния планет от Солнца можно определить, зная расстояние Земли от Солнца, то длину большой полуоси земной орбиты считают в астрономии единицей расстояний и называют ее астрономической единицей; она равна 149 500 000 км.

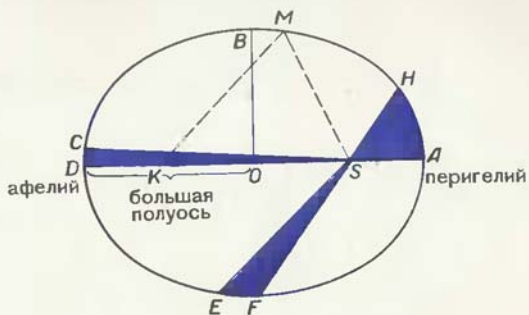


Рис. 23. Закон площадей (второй закон Кеплера).

Упражнение 1.

1. Марс дальше от Солнца, чем Земля, в 1,5 раза. Чему равен «год» Марса?
2. Период обращения Плутона 250 лет. Чему равна большая полуось его орбиты?

§ 14. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМЫ И РАЗМЕРОВ ЗЕМЛИ

1. Шарообразность Земли. Часто для доказательства шарообразности Земли приводят явления, которые в действительности подтверждают лишь выпуклость или искривленность ее поверхности. Таким доказательством кривизны земной поверхности является, например, то, что при приближении корабля к берегу сперва показываются из-за горизонта вершины мачт, а потом уже его корпус.

Кругосветные путешествия подтверждают только замкнутость формы Земли, ее изолированность в пространстве, отсутствие у нее краев, где-либо смыкающихся с небом.

Наглядными доводами в пользу шарообразности Земли можно считать такие явления:

а) в любом месте Земли открытый горизонт представляется окружностью и дальность горизонта на уровне моря всюду одинакова;

б) во время лунных затмений тень Земли, падающая на Луну, всегда имеет округлые очертания. Из всех тел только шар при любом положении отбрасывает круглую тень.

Фотографии края Земли, полученные с ракет, запущенных на большую высоту, и фотографии, полученные первыми советскими космонавтами Гагариным и Титовым, показывают, что всякий край Земли представляет собой отрезок окружности. Точнее форма и размеры Земли вычисляются с помощью градусных измерений.

2. Определение размеров Земли. Определение размеров Земли состоит в том, что по меридиану измеряют некоторую дугу — в линейных мерах и в градусах. Между двумя

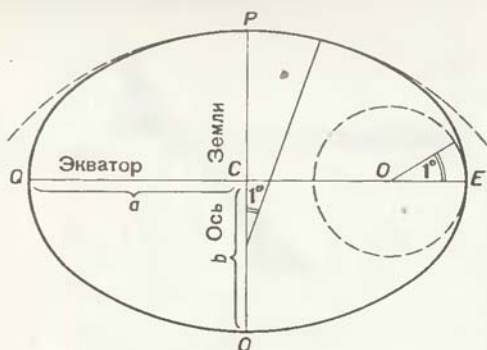


Рис. 24. Кривизна Земли у экватора больше, чем у полюсов.

находят длину всей окружности в километрах из простого соотношения:

$$S = n \left(\frac{360}{m} \right).$$

Описанный способ называется *градусным измерением*. Зная длину земной окружности, делением ее на 2π получают длину радиуса Земли. Таким образом было установлено, что радиус Земли, если ее считать шаром, равен 6371 км, а длина окружности — почти 40 000 км.

Большие градусные измерения были выполнены в прошлом столетии русскими учеными под руководством В. Я. Струве. В наше время большие измерения дуг на поверхности Земли выполнены в СССР.

3. Сж а т и е З е м л и. Измерения в разных местах Земли показали, что кривизна Земли у экватора больше, чем у полюсов (рис. 24). Это означает, что Земля не шар; она немного сжата вдоль оси вращения. Полярный радиус Земли короче экваториального почти на 21 км, то есть приблизительно на $\frac{1}{300}$ экваториального радиуса.

Сжатие Земли есть результат действия центростремительной силы, возникающей при вращении Земли вокруг оси. Сжатие может быть продемонстрировано вращением тонкого стального обруча на оси школьной центробежной машины. Сжатие небесного тела вследствие его вращения является общим правилом. Например, планеты Юпитер и Сатурн, вращающиеся вокруг оси быстрее, чем Земля, сжаты еще заметнее. Вследствие сжатия фигура Земли не шар, а эллипсоид вращения. Представление о фигуре Земли значительно уточнено советскими учеными. Оказывается, что истинная фигура Земли очень сложной формы, даже если отвлечься от таких неровностей ее, как горы.

пунктами земного шара, находящимися на одном меридиане, определяют линейное расстояние, равное, положим, n километрам. Определяют также разность географических широт этих пунктов астрономическим способом (например, по разности высот Полярной звезды в этих пунктах). Пусть эта разность составляет m градусов.

Тогда частное $\frac{m^\circ}{360^\circ}$ покажет, какую часть окружности представляет собой ее дуга между пунктами. На этом основании

§ 15. ПАРАЛЛАКТИЧЕСКОЕ СМЕЩЕНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЙ ДО НЕБЕСНЫХ СВЕТИЛ

Для определения расстояний до небесных светил используется явление *параллактического смещения*. Параллактическое смещение есть кажущееся угловое смещение предмета, вызванное перемещением наблюдателя.

Поясним это примером. Если вы посмотрите одним глазом на свой палец на фоне стены, то увидите его на фоне стены в определенном направлении. Если теперь вы посмотрите на палец другим глазом, то увидите его уже в другом направлении: он будет виден на фоне стены в другом ее месте.

Расстояние по прямой линии между теми двумя точками, из которых наблюдатель определяет направление к предмету, называется *базисом*. Легко убедиться на опыте, что параллактическое смещение увеличивается с увеличением базиса и с уменьшением расстояния до наблюдаемого предмета. В приведенном выше примере базисом является расстояние между глазами наблюдателя.

Зная длину базиса и измерив углы между ним и направлениями к предмету от концов базиса, можно определить расстояние до предмета вычислением, не прибегая к измерению расстояния непосредственно. Этой возможностью широко пользуются при земляных работах или в военном деле, а в астрономии — для определения расстояния до небесных тел.

Пусть, например, надо определить расстояние AB до дерева A (рис. 25), находящегося на другом берегу реки. Для этой цели выберем точку C на берегу так, чтобы отрезок BC служил базисом, длину которого можно было бы измерить удобно и точно. Затем при помощи угломерного инструмента, находясь в точке B , мы измерим угол ABC , для чего наводим инструмент сначала на предмет, а потом на точку C (где обычно вбивают колышек).

Затем переносим наш инструмент в точку C и точно так же измеряем угол ACB . У нас получается треугольник, в котором известны одна сторона (длина базиса BC) и два прилежащих к ней угла. В таком случае либо построением, либо (точнее) тригонометрически можно вычислить длину двух других сторон — BA и CA , то есть расстояние до предмета.

Заметим еще, что на рисунке 25 параллактическое смещение представляется углом DCA , равным углу между CA (направле-

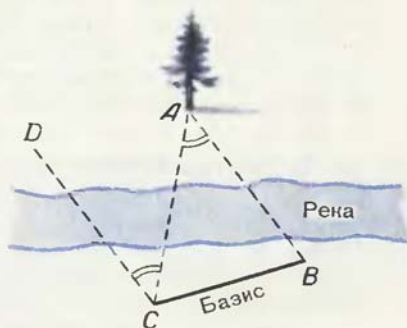


Рис. 25. Измерение расстояния до недоступного предмета.

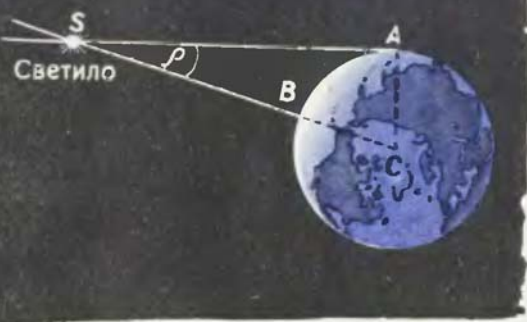


Рис. 26. Горизонтальный параллакс светила.

а следовательно, повышает точность определения этого расстояния.

Основным способом определения расстояний до небесных светил является определение их параллаксов. Однако для тел солнечной системы и для тел, лежащих далеко за ее пределами, базис берется разным. Для тел солнечной системы, сравнительно близких к нам, например для Солнца, Луны и планет, достаточным базисом является радиус Земли.

Горизонтальным параллаксом называется угол, под которым со светила виден радиус Земли, перпендикулярный к лучу зрения (на рис. 26 угол ASB).

Если два наблюдателя, для одного из которых светило находится на горизонте, а для другого — в зените, одновременно наблюдают это светило, то угол между этими направлениями (то есть параллактическое смещение светила) и есть горизонтальный параллакс этого светила.

При определении горизонтального параллакса Луны, Солнца или планет надо, чтобы два наблюдателя одновременно наблюдали светило из точек A и B (рис. 26). В действительности, однако, наблюдателям приходится располагаться иначе, и тогда вычисление параллакса из наблюдений усложняется.

Недавно для определения расстояний до Луны и планет был применен новый способ, разработанный советскими учеными. Этот способ состоит в том, что определяется время, в течение которого радиоволна, посланная к Луне, дойдет до нее и, отразившись, вернется обратно. Результат оказывается в полном согласии с расстоянием, выводимым из астрономического определения параллакса Луны и других планет.

Если параллакс светила измерен, то расстояние до него D находится простым вычислением.

Из рисунка 26 видно, что $D = \frac{R}{\sin p}$, где R — принятый базис (AC), а p — горизонтальный параллакс ($\angle ASC$). Приняв R —

нием к предмету A от точки C и CD (направлением, параллельным направлению BA к предмету из точки B).

Параллаксом называется угол, под которым от предмета виден базис наблюдателя. На рисунке 25 параллаксом будет угол BAC .

Параллакс и параллактическое смещение равны. При данном расстоянии увеличение базиса увеличивает точность измерения параллакса,

радиус Земли — за единицу, мы получим расстояние до светила D , выраженное в радиусах Земли.

Вот важнейшие параллаксы и соответствующие им расстояния: средний горизонтальный параллакс Луны $57'$, среднее расстояние от Земли $384\ 000$ км (округленно $400\ 000$ км), горизонтальный параллакс Солнца $8'',80$, расстояние от Земли $149\ 500\ 000$ км (округленно 150 млн. км).

Для измерения параллаксов светил, лежащих далеко за пределами солнечной системы, то есть для звезд, радиус и диаметр Земли в качестве базиса слишком малы. Для звезд за базис берут радиус земной орбиты (астрономическую единицу), но для подавляющего большинства звезд и этот базис оказывается ничтожным, так как они очень далеки от нас.

Годичным параллаксом называется угол, под которым со светила виден средний радиус земной орбиты при условии перпендикулярности его к лучу зрения.

§ 16. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ НЕБЕСНЫХ СВЕТИЛ

Чтобы определить линейный размер небесного светила, надо измерить угол, под которым мы видим его радиус, и знать расстояние до него. На рисунке 27 наблюдатель из центра T Земли видел бы линейный радиус R светила под углом ρ .

Расстояние от центра Земли до центра светила обозначим буквой D . Тогда:

$$R = D \sin \rho.$$

Если D выразить в радиусах Земли, то и R мы найдем в радиусах Земли. Если D выразить в километрах, то R получится в километрах.

Например, расстояние до Луны $D = 60$ земным радиусам, а радиус Луны мы видим под углом $16'$. Для Луны $R = 60 \sin 16' = 0,27$ радиуса Земли.

Определение расстояний до небесных светил и их размеров является одним из многочисленных и убедительных примеров неограниченных возможностей человеческого познания. Эти результаты лишней раз показывают отсутствие принципиальных различий между Землей и небесными светилами, вопреки существовавшему веками религиозным воззрениям.

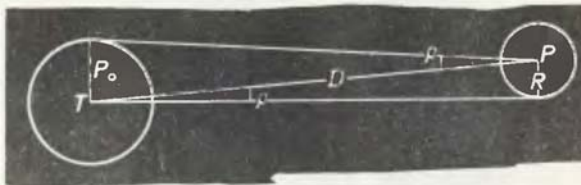


Рис. 27. Определение размеров небесных светил.

§ 17. ЗАКОН ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ И ЕГО СЛЕДСТВИЯ

1. Закон тяготения. Причина движения планет оставалась неизвестной до конца XVII в.— до открытия Ньютоном закона всемирного тяготения. Этот закон состоит в том, что все тела во Вселенной (как и вообще все частицы материи) притягиваются друг к другу с силой, пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними. В виде формулы это можно записать так:

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

где m_1 и m_2 — массы двух рассматриваемых тел, r — расстояние между ними, а f — коэффициент, численная величина которого зависит от единиц, в которых выражены масса и расстояние. Эта величина называется постоянной тяготения. Позднее стало известно из опыта, что две массы, каждая по одному грамму, притягиваются одна к другой на расстоянии 1 см с силой, равной $6,673 \cdot 10^{-8}$ дин. Поэтому, выражая массы в граммах, а r — в сантиметрах, мы, чтобы получить F в динах, должны положить

$$f = 6,673 \cdot 10^{-8} \frac{\text{см}^3}{\text{г} \cdot \text{сек}^2}.$$

2. Движение Луны и земное притяжение. Ньютон доказал, что притяжение Земли, под действием которого все предметы падают на Землю, распространяется и за пределы земной атмосферы, ослабевая обратно пропорционально квадрату расстояния от центра Земли. Это значит, что действие тяготения, или силы земной тяжести, простирается в бесконечность. Сила земной тяжести удерживает и Луну на ее орбите, иначе Луна оторвалась бы от Земли и унеслась бы по касательной к своей орбите.

Это притяжение Луны к Земле и является той центростремительной силой, которой соответствует наблюдаемое центростремительное ускорение в движении Луны.

На рисунке 28 Луна из точки L_1 , двигаясь по касательной, через некоторое время пришла бы в точку L'_1 . Но за это время она падает к Земле на величину отрезка L_1L_2 и оказывается в точке



Исаак Ньютон (1643—1727).



L_2 и т. д. В результате Луна все время обращается вокруг Земли.

Величайшая заслуга Ньютона еще и в том, что он доказал тождество открытой им силы тяготения между мировыми телами с силой земного притяжения, давно знакомой людям из опыта. Ньютон доказал, что и та и другая сила изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния и что, в частности, ускорение, с которым Луна «падает» к Земле (оно составляет $0,27 \text{ см/сек}^2$), в точности равняется ускорению, с которым падал бы камень, если бы мы его поместили на расстоянии Луны от Земли.

3. Движение небесных тел и определение их масс. Масса Земли. Действие тяготения к Солнцу все время искривляет пути Земли и планет. Строго говоря, все планеты и Солнце обращаются вокруг их общего центра масс.

Спутники планет обращаются вокруг своих планет под действием тяготения к ним так же, как Луна обращается под действием тяготения к Земле.

За пределами солнечной системы встречаются системы двойных звезд: каждая из двух звезд данной пары обращается вокруг их общего центра масс также под действием тяготения, поэтому закон, открытый Ньютоном, и называется законом всемирного тяготения.

Ньютон доказал, что существование всемирного тяготения подтверждает справедливость законов Кеплера; эти законы были Ньютоном уточнены. Он доказал, что при определенных условиях одно тело под действием притяжения другого может двигаться



Рис. 28. «Падение» Луны к Земле

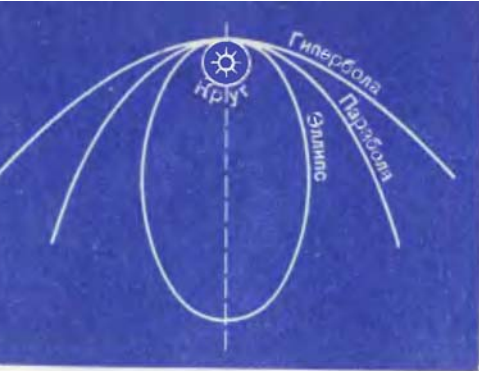


Рис. 29. Различные формы орбит.

не только по эллипсу, но и по окружности, по параболе и по гиперболе (рис. 29).

Затем Ньютон доказал, что третий закон Кеплера не вполне точен и что период взаимного обращения двух тел, отстоящих друг от друга на определенном расстоянии, зависит еще и от суммы масс этих тел. Это дает возможность определять массы небесных тел, зная расстояние между ними и период обращения друг около друга.

Масса Солнца не только больше массы любой из планет, но в 750 раз больше массы всех планет, взятых вместе (рис. 31). Поэтому все планеты и обращаются вокруг Солнца, испытывая к нему центростремительное ускорение — ускорение тяготения. Массу Земли приблизительно можно определить, измерив угол, на который отклоняется отвес вследствие притяжения его горой, расстояние до которой и масса которой известны. Этот угол отклонения зависит от отношения массы Земли к массе горы и от отношения расстояний отвеса от центра Земли и от центра горы, к которым притягивается отвес. Точнее массу Земли можно определить другими способами. Масса Земли равна $6 \cdot 10^{27}$ г, а ее средняя плотность $5,5 \text{ г/см}^3$.

4. Приливы и отливы. У берегов морей и океанов каждые сутки наблюдается колебание уровня воды. Два раза в сутки уровень воды поднимается — это приливы. И два раза в сутки уровень ее падает — это отливы. Отлив наступает приблизительно через 6 часов после прилива, а еще через 6 часов наступает прилив, так что от одного прилива до другого проходит 12 часов (более точно — 12 ч 25 мин). Таким образом, в среднем за 24 ч 50 мин бывает два прилива и два отлива. Но как раз такой же промежуток времени проходит между двумя соседними одноименными кульминациями Луны. Ньютон доказал, что приливы и отливы вызваны притяжением Луны. Луна притягивает к себе разные точки земного шара с неодинаковой силой: более близкие — сильнее, а более далекие — слабее. Это различие сил притяжения вызывает растяжение водной оболочки Земли вдоль линии, направленной к Луне (рис. 30). Там, где водная обо-

лочки Земли вдоль линии, направленной к Луне (рис. 30). Там, где водная обо-



Рис. 30. Прилив и отлив в водной оболочке Земли (схема).

лочка растянута, уровень воды выше — происходит прилив. При суточном вращении Земли в полосу прилива будут последовательно попадать разные места Земли, а в одном и том же месте приливы и отливы будут чередоваться. Если в точке *A* (рис. 30) прилив, то, вращаясь в сторону *C*, точка *A* через полсутки придет опять в полосу прилива, в которой на рисунке находится точка *B*.

5. Возмущения в движении планет. Открытие планеты Нептун. Если бы вокруг Солнца обращалась только одна планета, то она двигалась бы в точности по законам Кеплера. Но так как вокруг Солнца обращается не одна планета, а несколько и все они взаимно притягивают друг друга, то их движения несколько отклоняются от движений по законам Кеплера. Эти, вообще говоря, очень небольшие отклонения в движениях планет от движений по законам Кеплера называются возмущениями.

Вследствие возмущений планеты движутся то быстрее, то медленнее, чем следует из второго закона Кеплера; поэтому и орбиты их не являются правильными эллипсами и постепенно изменяются. Современной наукой возмущения учитываются очень точно на основании теории всемирного тяготения и знания массы Солнца и планет, а также расстояний между ними.

В 1781 г. английский астроном Вильям Гершель (1738—1822), в ту пору еще безвестный любитель астрономии, наблюдая небо в телескоп, построенный им собственноручно, открыл никому до этого не известную планету — седьмую по расстоянию от Солнца. Планета получила название Урана.

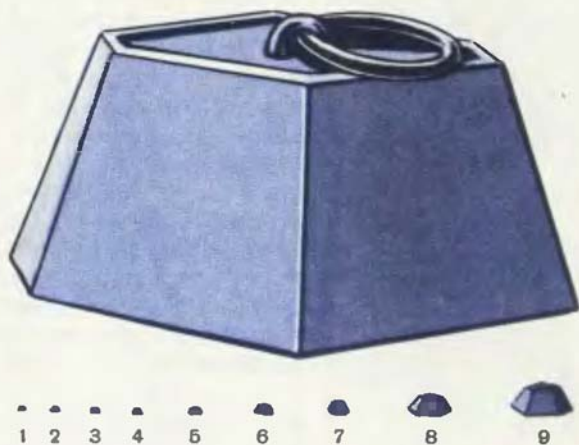


Рис. 31. Сравнение массы Солнца и планет:
1 — Меркурий; 2 — Марс; 3 — Плутон; 4 — Венера;
5 — Земля; 6 — Уран; 7 — Нептун; 8 — Сатурн; 9 — Юпитер.

В начале XIX в. окончательно убедились, что движение планеты Уран немного не согласуется с ее движением, вычисленным на основании учета притяжения ее как Солнцем, так и всеми остальными известными тогда планетами. Как ни ничтожны были эти отклонения наблюдений от теории, астрономы не могли с ними примириться. Ученые предположили, что отклонение в движении Урана вызвано притяжением неизвестной планеты, находящейся от Солнца еще дальше, чем Уран. Ученые Лавуазье и Адамс вычислили положение этой планеты на небе. Согласно их расчетам, эта неизвестная планета была найдена в 1846 г. Ее назвали **Н е п т у н о м**.

Открытие планеты, сделанное, как говорят, на «кончике пера», в кабинете, является одним из величайших достижений человеческой мысли. Оно демонстрирует могущество научного предвидения, блестяще доказывает познаваемость природы, вопреки религиозным воззрениям, по которым человеческое познание будто бы ограничено.

Упражнение 2.

Вычислить, на каком расстоянии от Земли находится та точка, в которой притяжения Земли и Луны одинаковы, зная, что расстояние между Лунной и Землей равно 60 радиусам Земли, а массы Земли и Луны относятся как 81 : 1.

§ 18. ДОКАЗАТЕЛЬСТВА СУТОЧНОГО ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ

Приведем два наиболее наглядных доказательства суточного вращения Земли.

А. Отклонение падающих тел к востоку. Представим себе глубокую отвесную шахту AB , вращающуюся вместе с Землей (рис. 32). Вход в нее A имеет при вращении большую линейную скорость, чем основание B , потому что он находится дальше от центра вращения, в данном случае от оси суточного вращения Земли. Шарик, лежащий у входа в шахту, имеет при этом такую же скорость, как и этот вход. При падении шарик по инерции будет сохранять эту скорость. Падая и сохраняя при этом скорость движения к востоку (так как Земля вращается с запада на восток) большую, чем скорость движения основания шахты, шарик опередит основание шахты в его движении к востоку. Шарик упадет поэтому не в точности по направлению к центру Земли, а сместится к востоку, чего не должно было бы быть, если бы Земля не вращалась. На экваторе Земли это отклонение наибольшее, а на полюсах равно нулю.

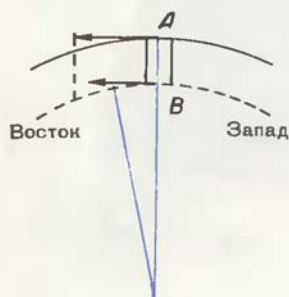


Рис. 32. Схема отклонения падающих тел к востоку.

Многokrатные, точно выполненные опыты показывают полное согласие наблюдений с расчетами; так, при падении с высоты 85 м шарик на широте 53° отклоняется к востоку на 10,4 мм.

Б. Маятник Фуко. В опыте, впервые проведенном в 1851 г. французским ученым Фуко, был применен маятник, представлявший собой очень длинную и тонкую проволоку с привешенным к ней тяжелым шаром. Известно и может быть легко проверено на опыте, что всякий такой маятник при вращающемся подвесе сохраняет без изменения плоскость своих качаний, как бы мы ни поворачивали штатив, на котором он подвешен. Большая длина и вес маятника Фуко диктуются соображениями большей наглядности и необходимостью достаточно продолжительного качания маятника. Если бы такой маятник качался на полюсе Земли, то Земля, вращаясь, поворачивалась бы под ним со скоростью 15° в час ($360^\circ : 24$). В результате мы заметили бы, что плоскость качания маятника относительно поверхности Земли поворачивается с той же угловой скоростью 15° в час в направлении, обратном вращению Земли. На экваторе Земли никаких изменений направления качаний маятника не происходило бы. На промежуточных широтах плоскость колебаний маятника должна поворачиваться, согласно теории, на $15^\circ \sin \varphi$ в час, где φ — географическая широта места наблюдения.

Так оно в действительности и наблюдается. Очевидно, что, если бы Земля не вращалась, направление качания маятника в любой местности оставалось бы неизменным.

В Ленинграде, в здании Исаакиевского собора, демонстрируется маятник длиной 98 м. Направление его колебаний изменяется в час на 13° , что в точности соответствует теоретическим расчетам.



Рис. 33. Маятник Фуко, демонстрирующийся в Ленинграде.

§ 19. ГОДИЧНЫЙ ПАРАЛЛАКС ЗВЕЗД КАК ДОКАЗАТЕЛЬСТВО ОБРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ ВОКРУГ СОЛНЦА

В настоящее время существует много строгих доказательств обращения Земли вокруг Солнца.

Одно из таких доказательств — существование годового параллакса звезд. Если бы Земля была неподвижна, то наблюдатель видел бы каждую звезду всегда по одному и тому же направлению, всегда в одной и той же точке небесной сферы. Но в действительности это не так. Земля движется, и вместе с ней меняется положение наблюдателя в мировом пространстве. Поскольку наблюдатель смещается, звезды должны испытывать параллактическое смещение. Если бы наблюдатель вместе с Землей смещался по прямой линии, параллактическое смещение происходило бы непрерывно в одну и ту же сторону и какая-либо звезда из месяца в месяц и из года в год смещалась бы на небе в одну и ту же сторону.

Так как наблюдатель вместе с Землей движется вокруг Солнца в течение года почти по окружности и через год повторяет такой же путь, то период параллактического смещения звезд должен быть равен одному году. Каждый год это смещение звезд должно повторяться снова.

При помощи следующего опыта легко уяснить годовое параллактическое смещение звезд. Проследим, какие места на фоне потолка занимает лампа по мере движения наблюдателя вокруг стола, стоящего под лампой. На фоне потолка лампа, как нам покажется, опишет окружность.

На рисунке 34 схематически показано параллактическое смещение звезд при движении Земли вокруг Солнца при разных расстояниях до этих звезд и при разных направлениях, по которым они видны.

Явление годового параллакса состоит в том, что каждая звезда за год описывает на небе замкнутую кривую, форма которой

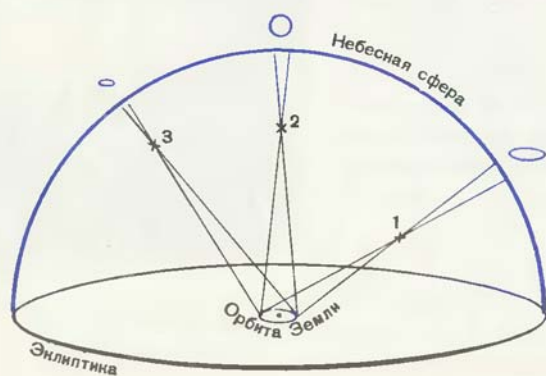


Рис. 34. Годичные параллактические смещения звезд в зависимости от расстояния до них и от их положения относительно эллиптики.

зависит от угла, образуемого направлением к звезде с плоскостью земной орбиты, а угловые размеры этой кривой — от расстояния до звезды.

Однако расстояния звезд от Земли так велики, что их параллактические смещения совсем ничтожны. Поэтому астрономы XVII и XVIII вв. не могли заметить параллактическое смещение звезд, так как не имели приборов нужной точности.

Только в 1837 г. при помощи точнейших приборов русскому ученому В. Я. Струве впервые удалось обнаружить и измерить параллакс одной из ближайших звезд.

Наибольший параллакс имеет ближайшая к нам звезда Проксима в созвездии Центавра (по-латыни «проксима» — ближайшая; в СССР созвездие Центавра не видно). Различие между ее крайними положениями на небесной сфере (в моменты времени, разделенные полугодом) составляет всего $1''{,}5$. Под таким углом видна проволока диаметром в 1 мм с расстояния в 140 м.

Заметим, что к планетам и кометам, обращающимся подобно Земле вокруг Солнца, понятие годичного параллакса неприменимо.

Упражнение 3.

1. Параллакс Солнца $8''{,}80$, а его видимый угловой радиус $16'$. Во сколько раз Солнце больше Земли по диаметру?

2. На каком наибольшем угловом расстоянии от α Центавра должна быть видна с Земли планета, которая, допустим, обращается вокруг этой звезды на расстоянии 150 000 000 км?

§ 20. ИСКУССТВЕННЫЕ СПУТНИКИ ЗЕМЛИ И КОСМИЧЕСКИЕ ПОЛЕТЫ

Полет с Земли в другие миры был мечтой многих мыслителей и фантазией писателей. Только русский изобретатель К. Э. Циолковский (1857—1935) разработал теорию единственно осуществимого, вполне реального способа преодолеть земное притяжение — теорию реактивного движения. Мечты и проекты Циолковского осуществились в нашей стране — на родине великого ученого.

4 октября 1957 г. в СССР впервые в мире был запущен первый искусственный спутник Земли. За ним последовал запуск спутников, снабженных сложной аппаратурой для изучения верхних слоев земной атмосферы. На втором советском спутнике впервые в мире было отправлено в космос живое существо — собака Лайка. Этот опыт доказал возможность полета в космос живых существ.

В космических кораблях-спутниках стали помещать собак и многих других животных, состояние и поведение которых в полете тщательно изучалось. Животных благополучно возвращали на Землю. Записи приборов и данные о состоянии животных пере-

давались на Землю по телевидению и радио. Так шла подготовка к путешествию в космос человека.

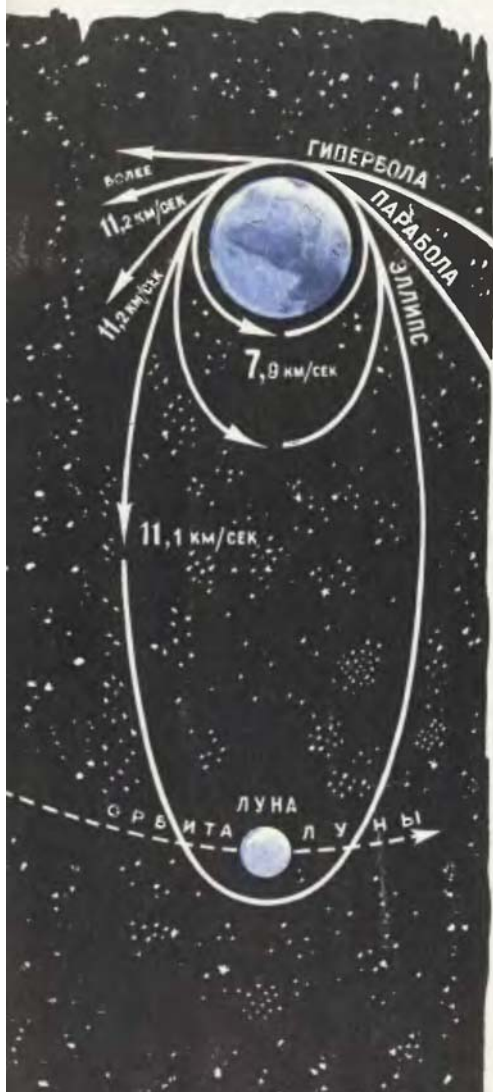
Событие всемирно-исторического значения — полет человека в космос — произошло в СССР 12 апреля 1961 г. Майор Ю. Гагарин облетел земной шар на космическом корабле со скоростью около 8 км/сек за 1 ч 48 мин. Его корабль летел в десятки раз выше, чем пассажирские самолеты. Корабль с первым космонавтом

Рис. 35. Эллиптическая орбита спутника становится более вытянутой с увеличением его начальной скорости.

Ю. Гагариным благополучно приземлился в заранее установленном месте. Вслед за этим выдающимся событием последовали запуски в космос других космонавтов на все большие периоды времени. В 1965 г. советский космонавт А. Леонов впервые вышел из космического корабля непосредственно в космос.

Проблема полета человека на другие миры и возвращения его на Землю стала в СССР технически осуществимой. Это открывает необозримые возможности дальнейшего овладения природой. Человек в космосе — это буквально человек на небе, том самом небе, которое отводится религией для обитания божества.

2 января 1959 г. в СССР впервые в мире был осуществлен запуск космической ракеты, вышедшей из поля притяжения Земли и сделавшейся спутником Солнца, подобно планете. Вторая советская космическая ракета была первой, которая достигла поверхности Луны и доставила туда вымпел СССР. Третья советская ракета вывела на орбиту автоматическую межпланетную станцию, которая обогнула Луну и сфотографировала ее невидимое с Земли полушарие, изучить которое еще несколько лет назад было мало надежды. На рисунке 37 показана траектория этой космической станции относительно Земли и Луны и то ее положение, из которого (по команде с Земли) была сфотографирована Луна.



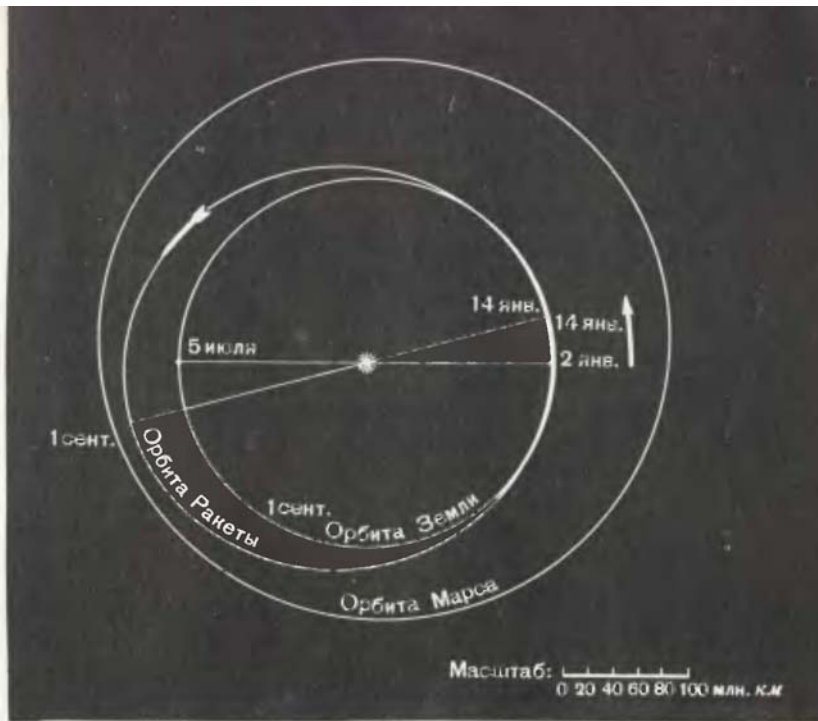


Рис. 36. Орбита первой советской космической ракеты после превращения ее в спутника Солнца.

Для этого был выбран такой момент и такое положение станции, чтобы большая часть невидимого с Земли полушария Луны была освещена Солнцем. Фотографии обратной стороны Луны с ракеты по телевидению были переданы на Землю. В 1960—1965 гг. космические ракеты с приборами были отправлены к планетам Венере и Марсу, что явилось еще большим достижением, чем запуски ракет к Луне. Для сближения с другими планетами межпланетные станции запускаются по орбите, которая была бы касательной к орбите данной планеты. При этом время запуска рассчитывается так, чтобы станция подошла к орбите планеты в то время, когда сюда подойдет и планета. Время такого перелета исчисляется месяцами.

Приборы, установленные на спутниках и ракетах, доставили много ценных сведений об условиях в самых верхних слоях земной атмосферы и в космическом пространстве. Вот некоторые из этих сведений.

Земная атмосфера, разрежаясь с удалением от земной поверхности, прослеживается до расстояния не менее 3000 км. На расстояниях в десятки тысяч километров от поверхности Земли имеются пояса, заполненные частицами (протонами и электронами),

носящимися хаотически с громадной скоростью и обладающими поэтому огромной кинетической энергией. Выяснение существования и расположения этих зон очень важно для развития космонавтики, при посылке людей за пределы Земли. Мелких камешков и песчинок (метеорных тел) в межпланетном пространстве не так много, чтобы они представляли собой большую опасность для межпланетных полетов.

Было установлено, что Луна не окружена поясами таких частиц и не имеет магнитного поля. Поскольку магнитного поля у Луны нет, компас там будет бесполезен для будущих исследователей лунной топографии и для лунных «туристов».

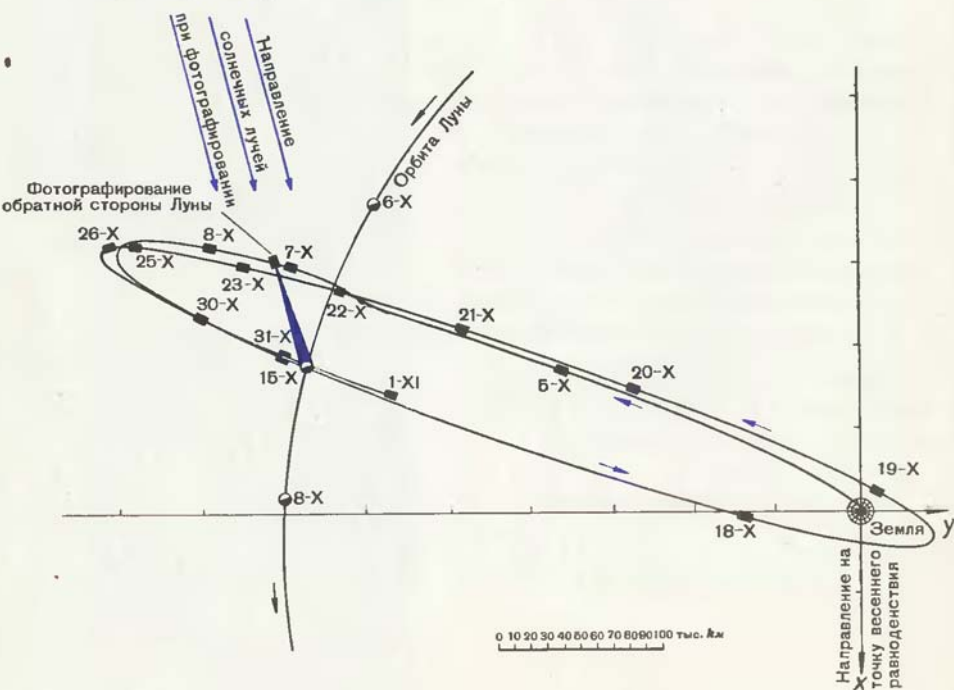
С помощью межпланетных станций уточнены физические условия на Венере и получены (с близкого расстояния) подробные фотографии поверхности Луны и Марса.

По фотографиям с советских межпланетных космических станций была составлена карта невидимого с Земли полушария Луны. Оно гораздо гористее, чем видимое, и на нем меньше больших впадин.

Живые организмы, даже человек, вполне приспособлены к тому, чтобы переносить необычайные условия невесомости в космическом полете, а также огромное ускорение при запуске корабля.

Исключительные успехи Советского Союза в запуске спутников и ракет, ведущие к завоеванию человеком космического пространства, к возможности посещать, изучать и использовать

Рис. 37. Орбита третьей советской космической ракеты.



другие миры, обусловлены высоким развитием техники и условиями социалистического производства, превосходством социалистического способа производства над капиталистическим.

Основы теории преодоления притяжения Земли вытекают из учения о тяготении, согласно которому орбита тела зависит от скорости движения. Расчет показывает, что тело, получившее в горизонтальном направлении скорость $7,8 \text{ км/сек}$, уже не упадет на Землю, а, преодолев земное притяжение, будет обращаться вокруг нее, как Луна. Скорость от $7,8$ до $11,2 \text{ км/сек}$ называется первой космической скоростью. Такую огромную скорость может развить только многоступенчатая ракета, о принципе устройства и движения которой говорится в курсе физики.

Если искусственный спутник в ближайших к Земле частях своей орбиты погружается хотя бы в верхние слои земной атмосферы, то он испытывает постепенно все большее торможение. Скорость его уменьшается, и спутник начинает приближаться к Земле, а от этого и период его обращения также уменьшается. Когда он входит в более низкие и плотные слои атмосферы, то от сопротивления воздуха нагревается и без принятия особых мер (тепловой защиты) сгорает.

Успешный спуск космических кораблей на Землю также является величайшим достижением науки и техники. Чем больше начальная скорость ракеты, тем больше большая полуось ее орбиты, которая при скорости более $7,8 \text{ км/сек}$ будет эллиптической. В одном из ее фокусов будет находиться центр Земли. Ближайшая к Земле точка орбиты называется *перигей*, а наиболее удаленная — *апогей*. Чем больше эксцентриситет орбиты (ее вытянутость), тем больше различаются между собой высоты перигея и апогея. Размер орбиты и период обращения спутника связаны друг с другом третьим законом Кеплера, как и движение планет вокруг Солнца.

Вывод ракеты на желаемую орбиту осуществляется по радио с Земли. Расчеты и осуществление точно заданного движения делаются с поразительной точностью. При достижении скорости $11,2 \text{ км/сек}$, называемой второй космической скоростью, тело полетит по параболической орбите относительно Земли и к ней уже не вернется.

Земля вращается вокруг оси, поэтому все предметы на ее экваторе имеют наибольшую линейную скорость вращения (465 м/сек). Если ракету запускать вблизи плоскости земного экватора, то к скорости, создаваемой двигателем, прибавляется линейная скорость вращения Земли, поэтому и космическая скорость достигается легче. Но спутник с орбитой, близкой к плоскости экватора, невидим на умеренных широтах, например в Европе.

Запуск спутника под большим углом к экватору со средних широт труднее, так как вращение Земли там мало помогает в достижении нужной скорости. Зато такой спутник пролетает над боль-

шей частью земной поверхности и может быть видим практически отовсюду. Именно так запускаются спутники в Советском Союзе.

При удалении ракет от Земли их притяжение Луной и Солнцем возрастает по сравнению с земным. В результате этого траектория ракет меняется. Их движения рассчитываются по тем же теориям, что и движения естественных небесных тел.

На движение спутников влияет сжатие Земли у полюсов, которое можно определить, изучая движение спутников. Эти определения имеют большое практическое значение для составления географических карт. Благодаря измерениям, проводимым при помощи спутников и ракет, астрономия стала до некоторой степени экспериментальной наукой. Она может теперь ставить некоторые опыты, а не только пассивно наблюдать небесные тела.

Астрономия в известной мере предсказывает, какие условия встретят ракеты и космические путешественники в межпланетном пространстве, на Луне и планетах. Она указывает пути к завоеванию космического пространства, пути к началу новой эры в истории человечества. Недалеко уже то время, когда успехи науки и техники позволят человеку полететь на Луну и другие планеты.

Религия резко разграничивала земное и небесное, утверждая, что небо — это обиталище божества. Астрономия показала, что небесные светила так же материальны, как и Земля. Более того, некоторые из них похожи на Землю. Религия утверждала, что небесные светила созданы богом. А теперь человек сам создает небесные тела — спутники Земли и спутники Солнца. Это показывает неограниченные возможности человеческого разума и вздорность религиозных верований.

Упражнение 4.

Зная период обращения Луны вокруг Земли и большую полуось ее орбиты (см. в приложениях), при помощи третьего закона Кеплера определите периоды обращения двух искусственных спутников, у которых высоты перигея над поверхностью Земли 200 и 600 км, а высоты апогея соответственно 300 и 3000 км. Землю при этом принять за шар с радиусом 6370 км.



ОСНОВНЫЕ ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ АСТРОНОМИИ И МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ СВЕТИЛ

§ 21. ЭКВАТОРИАЛЬНЫЕ КООРДИНАТЫ И ЗВЕЗДНАЯ КАРТА

Для нахождения звезд на небе, составления звездных карт, для определения времени и географических координат необходимо знать координаты звезд.

Для этого пользуются системой экваториальных координат, которая сходна с системой географических координат на земном шаре (см. рис. 38). Мы можем отсчитывать в градусах положения звезд на небесной сфере относительно небесного экватора так же, как мы отсчитываем угловые расстояния городов от земного экватора на глобусе или на карте (это расстояние называется географической широтой). Угловое расстояние светил от небесного экватора называют *склонением*. Склонения, обозначаемые буквой δ , в южном полушарии небесной сферы считаются отрицательными.

Второй географической координатой на Земле является *долгота* — угол между плоскостью меридиана данного места и плоскостью начального меридиана. На небесной сфере второй координатой является прямое восхождение — угол между плоскостью полукруга, проведенного из полюса мира через светило (круга склонения), и плоскостью полукруга, проведенного из полюса мира через лежащую на экваторе точку весеннего равноденствия (начального круга склонения). Так назвали эту точку потому, что в ней Солнце бывает на небесной сфере 21 марта, когда день равен ночи. Прямое восхождение, обозначаемое α , отсчитывается от точки весеннего равноденствия против часовой стрелки, то есть навстречу суточному вращению неба. Как географическую долготу, так и прямое восхождение удобно выразить не в градусах, а

в единицах времени, пользуясь тем, что за 24 часа Земля и, как нам кажется, небо делают один оборот вокруг оси. Отсюда получается соотношение:

360°	соответствует	24 часам,
15°	»	1 часу,
1°	»	4 минутам времени,
15′	»	1 минуте времени,
15″	»	1 секунде времени.

Например, географическая долгота, или прямое восхождение, 3 ч 10 мин 20 сек составляет $47^{\circ}35'00''$. Легко понять, что звезды кульминируют друг за другом в порядке возрастания их прямого восхождения.

Склонение и прямое восхождение (α и δ) называются *экваториальными координатами* и для звезд меняются так медленно, что их мы можем считать неизменными, если нам не нужна особая точность. При суточном вращении звездного неба вместе с ним вращается и точка весеннего равноденствия. Поэтому положения звезд относительно экватора и точки весеннего равноденствия не зависят ни от времени суток, ни от положения наблюдателя на Земле. В приложении IV дан список координат α и δ некоторых ярких звезд. Эта же самая координатная сетка изображена на подвижной карте звездного неба. Солнце, Луна и планеты все время перемещаются на фоне звезд. Поэтому на карте они не помещены (их координаты на каждый день года печатаются в специальных астрономических календарях).

§ 22. ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ

Горизонтальные координаты светил непрерывно меняются с течением времени и зависят, кроме того, от положения наблюдателя на Земле, потому что по отношению к мировому пространству плоскость горизонта в данном месте Земли вращается вместе с нею. Определение времени и положения наблюдателя на земном шаре (ориентировка) требуют как раз измерения горизонтальных координат светил путем наблюдений. На рисунке 38 изображена видимая над горизонтом половина небесной сферы. Горизонтальными координатами точки M будут: *высота* h , измеряемая дугой QM , — угловое расстояние точки M от горизонта, *азимут* A , измеряемый дугой SQ (отсчитываемой от точки юга S к западу) и выражающий угол между небесным меридианом и вертикальным кругом, проходящим через точку M .

Вместо высоты h часто употребляют *зенитное расстояние* z , равное $90^{\circ} - h$ и представляющее угловое расстояние точки M от зенита. Высоту, зенитное расстояние и азимут выражают в градусах.

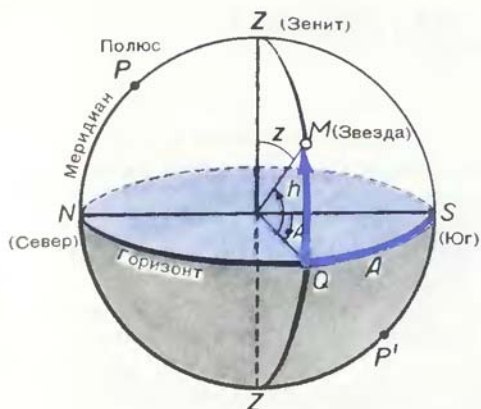


Рис. 38. Системы координат.

Слева — по отношению к горизонту; высота h и азимут A ; справа — по отношению к небесному экватору: прямое восхождение α и склонение δ .

§ 23. СПОСОБЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ СВЕТИЛ

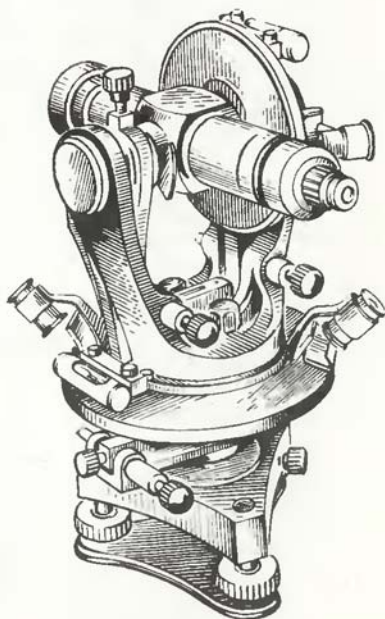
Горизонтальные координаты небесных светил измеряются с помощью универсального инструмента *теодолита* (рис. 39). Теодолит — это небольшая зрительная труба, снабженная разделенными кругами для отсчета высоты и азимутов светил.

Рис. 39. Теодолит — прибор для измерения высоты и азимута.

Для удобства отсчета указатели можно установить так, чтобы они показывали на вертикальном круге 0° при горизонтальном положении трубы (что проверяется с помощью уровня) и 0° на горизонтальном круге при направлении трубы в плоскости меридиана к югу.

Горизонтальные координаты светил измеряют для определения времени или географических координат различных пунктов на Земле, что требует перевозки прибора с места на место. Поэтому теодолиты делаются портативными.

Экваториальные координаты измеряют более точным прибором — меридианным кругом.



§ 24. СВЯЗЬ ВЫСОТЫ ПОЛЮСА НАД ГОРИЗОНТОМ И ВИДА НЕБА С ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ШИРОТОЙ МЕСТА

1. Высота полюса и географическая широта. Перемещаясь по Земле с севера на юг, мы убеждаемся, что Полярная звезда становится все ближе к горизонту. Можно доказать, что **угловая высота полюса мира над горизонтом, или, короче, высота полюса мира, равна географической широте места наблюдения.**

На рисунке 40 земной шар изображен в сечении плоскостью меридиана места наблюдения. Наблюдатель из точки M увидит полюс мира по направлению оси мира MP' , параллельной оси Земли TP . Касательная к земному шару плоскость горизонта изобразится на нашем чертеже прямой линией SMN , касательной в точке M к кругу, изображающему земной шар; AQ — экватор Земли, TZ — отвесная линия в точке M , и потому угол ATM представляет географическую широту φ точки M .

Угол $P'MN$ между осью мира и плоскостью горизонта представляет высоту полюса мира. Острые углы $P'MN$ и ATM (то есть географическая широта) равны, как углы с взаимно перпендикулярными сторонами.

Мы видим, что практически можно определить географическую широту места, измерив высоту полюса мира. Для этого надо измерить высоту Полярной звезды в верхней или в нижней кульминациях и учесть поправку на расстояние Полярной звезды от полюса мира.

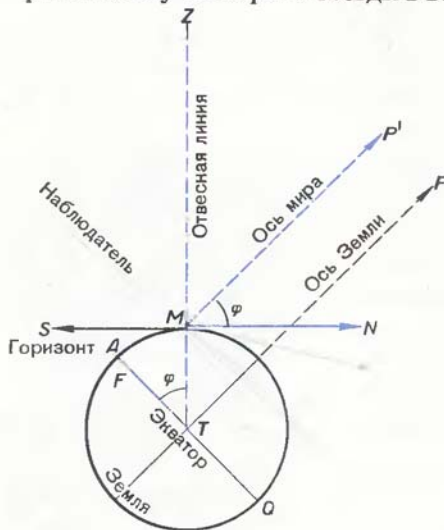


Рис. 40. Наклон оси мира к горизонту равен географической широте места наблюдения.

2. Вид звездного неба в зависимости от положения наблюдателя на Земле. Как мы только что видели, наклон оси мира к горизонту (высота полюса) равен географической широте места наблюдения. Это надо иметь в виду, вычерчивая небесную сферу для определенной местности; расположение точек и линий небесной сферы относительно горизонта будет зависеть от широты местности (рис. 41).

На основании сказанного легко установить следующее.

В средних широтах, например в СССР, ось мира и небес-

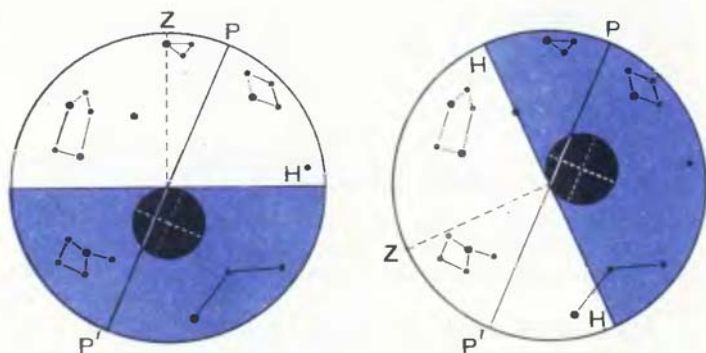


Рис. 41. Области пространства, видимые над горизонтом при положении наблюдателя: слева — в некоторой точке северного полушария Земли, справа — в некоторой точке южного полушария.

ный экватор наклонны к горизонту, поэтому и суточные пути звезд также наклонны относительно горизонта (рис. 42). Звезды, отстоящие от полюса мира не дальше, чем на φ градусов (φ — географическая широта), то есть склонение которых больше, чем $90^\circ - \varphi$, являются незаходящими. Звезды, находящиеся от полюса мира дальше, чем на φ градусов, являются восходящими и заходящими. Звезды южного полушария, лежащие на небесной сфере южнее (ниже) малого круга, параллельного экватору и проходящего через точку S , никогда не восходят: на широте φ они невидимы.

На экваторе Земли ось мира лежит в плоскости горизонта и совпадает с полуденной линией, а полюсы мира — с точками севера и юга (рис. 42). Небесный экватор становится перпендикулярным к горизонту и проходит через зенит Z . Суточные пути всех звезд перпендикулярны к горизонту, и каждая из них полсутков

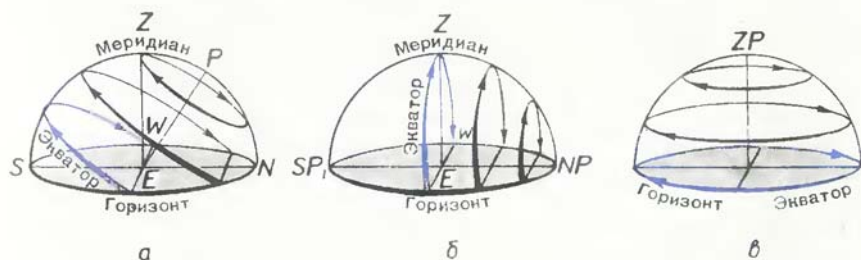


Рис. 42. Суточные пути звезд относительно горизонта для наблюдателя, находящегося: а — в средних широтах, б — на экваторе, в — на полюсе Земли.

бывает над горизонтом и полсутков под горизонтом. Невосходящих звезд там нет, как нет и незаходящих. В частности, привычная для нас незаходящая Большая Медведица является там заходящим созвездием.

На полюсах Земли небесный экватор совпадает с горизонтом, а ось мира — с отвесной линией. Точки востока и запада, как точки пересечения экватора и горизонта, становятся неопределенными. Меридиан, проходящий через ось мира и отвесную линию, тоже становится неопределенным, а вместе с ним теряют смысл и такие понятия, как точки юга, севера, востока и запада.

На Северном полюсе Земли Полярная звезда сияет близ зенита, суточные пути звезд параллельны горизонту, ни одна звезда не заходит и ни одна не восходит; звезд южного полушария не видно.

§ 25. ЗЕНИТНОЕ РАССТОЯНИЕ СВЕТИЛ В МОМЕНТ ИХ КУЛЬМИНАЦИИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ШИРОТЫ

Зенитное расстояние светила в данной местности в момент верхней кульминации, если его склонение известно, можно рассчитать, пользуясь такими соображениями. На рисунке 43 изображена небесная сфера. Пусть в момент верхней кульминации светило находится в точке M . Тогда дуга QM есть склонение светила δ , так как AQ — небесный экватор, перпендикулярный к оси мира PP' . Дуга ZQ равна дуге NP и равна географической широте местности φ . Очевидно, зенитное расстояние z , изображаемое дугой ZM , равно $z = \varphi - \delta$.

Если бы светило кульминировало к северу от зенита Z (то есть точка M оказалась бы между Z и P), то было бы $z = \delta - \varphi$.

Эти две формы позволяют заранее знать зенитное расстояние светила с известным склонением в момент верхней кульминации в местности с известной географической широтой φ .

Описанный в этом параграфе расчет является простейшим примером предвычисления (вычисления наперед) небесных явлений, а астрономия, как известно, славится точностью своих предвычислений.



Рис. 43. Высота светила в верхней кульминации.

Упражнение 5.

1. Прямое восхождение одной звезды 3 ч, другой 5 ч 18 мин. Через сколько времени одна звезда кульминирует после другой?

2. Широта местности 35° . На сколько градусов полюс мира отстоит там от зенита?

3. Широта местности 57° . На каком расстоянии от зенита меридиан пересекается с экватором? Какова там высота высшей точки экватора над горизонтом?

4. Широта Мурманска 69° . Можно ли там видеть над горизонтом звезду Сириус (самую яркую на небе), если ее склонение $\delta = -16^\circ$?

5. Широта Ленинграда 60° . Можно ли там видеть обе кульминации звезды Веги, если ее склонение $+39^\circ$?

§ 26. ВИДИМОЕ ДВИЖЕНИЕ СОЛНЦА ПО ЭКЛИПТИКЕ

1. Годичные изменения полуденной высоты Солнца и вида звездного неба. Каждому хорошо известно, что высота Солнца над горизонтом в полдень, то есть его высота в верхней кульминации, меняется в течение года. Летом Солнце поднимается очень высоко; самое высокое положение оно занимает 22 июня. Этот день (самый длинный) называют днем **летнего солнцестояния**. Каждый следующий день Солнце кульминирует все ниже и ниже. Всего ниже его верхняя кульминация происходит 22 декабря; это день **зимнего солнцестояния**. 22 декабря день бывает самым коротким, потому что в этот день путь Солнца над горизонтом всего короче; оно поздно восходит и рано заходит.

Около 21 марта и 23 сентября высота Солнца в верхней кульминации бывает средней между высотами его в летнем и зимнем солнцестоянии, а день по продолжительности становится равен ночи. Поэтому 21 марта называют днем **весеннего равноденствия**, а 23 сентября — днем **осеннего равноденствия**.

Если высота Солнца в кульминации меняется, значит, меняется и его положение на небесной сфере по отношению к полюсу мира и небесному экватору. Действительно, звезды занимают неизменное положение относительно полюса мира и небесного экватора и кульминируют каждая на определенной, всегда одной и той же высоте над горизонтом. По этой же причине каждая звезда восходит и заходит в определенной, всегда одной и той же точке горизонта. Между тем Солнце заходит, например, летом на северо-западе, зимой — на юго-западе, а в дни равноденствий — в точке запада.

В дни равноденствий Солнце находится на небесном экваторе. В самом деле, в эти дни Солнце восходит в точке востока и заходит в точке запада, а в этих точках и пересекается с горизонтом небесный экватор.

Поскольку летом Солнце в полдень имеет высоту, большую, чем $90^\circ - \varphi$, то есть чем высота, на которой небесный экватор пересекает меридиан, значит, Солнце находится в это время над экватором (в северном полушарии неба). Зимой же Солнце находится в южном полушарии неба (под небесным экватором). Измеряя угломерным инструментом полуденные высоты Солнца, мы увидим, что наибольшее удаление Солнца от небесного экватора к северу составляет $23^\circ 27'$ (22 июня) и таково же наибольшее удаление его к югу от экватора (22 декабря). Иначе говоря, *клонение Солнца изменяется от $+23^\circ 27'$ до $-23^\circ 27'$.*

Однако Солнце перемещается по небесной сфере в течение года не только по отношению к небесному экватору, но и в направлении, обратном суточному вращению небесной сферы. Это его годичное движение, но очень медленное, не надо смешивать с суточным сравнительно быстрым движением по часовой стрелке. *Годичное движение Солнца происходит навстречу его суточному движению.*

Убедиться в этом можно, замечая, какие звезды бывают в верхней кульминации в полночь, то есть какие созвездия находятся на небесной сфере в стороне, противоположной Солнцу. Эти созвездия все время меняются в течение года. Зимой в полночь кульминируют звезды одних созвездий, а летом — других.

Кроме того, можно заметить, что если какое-либо созвездие кульминирует, скажем, через 6 часов после Солнца, то через месяц это же созвездие кульминирует уже через 4 часа, а еще позднее его совсем не будет видно, потому что оно скрывается в лучах Солнца. Значит, Солнце сместилось на небесной сфере к этому созвездию с запада на восток (против часовой стрелки). Через некоторое время указанное созвездие будет все раньше показываться из-за горизонта, предшествуя восходу Солнца.

2. *Эклиптика и зодиак.* Сопоставляя все наблюдения, описанные выше, мы приходим к выводу, что Солнце в течение года перемещается на небесной сфере по большому кругу, плоскость которого наклонена к плоскости небесного экватора на $23^\circ 27'$.

Эклиптикой называется большой круг небесной сферы, по которому в течение года перемещается центр Солнца (рис. 44). В течение года Солнце совершает полный оборот по эклиптике, двигаясь против часовой стрелки. За сутки же Солнце смещается по эклиптике к востоку на $360^\circ : 365$, то есть приблизительно на 1° .

Точки пересечения эклиптики с небесным экватором называются точками весеннего и осеннего равноденствия, соответственно тому, когда в них бывает Солнце.

Точка весеннего равноденствия обозначается знаком Υ , а точка осеннего равноденствия — знаком \cap . Точки солнцестояний на

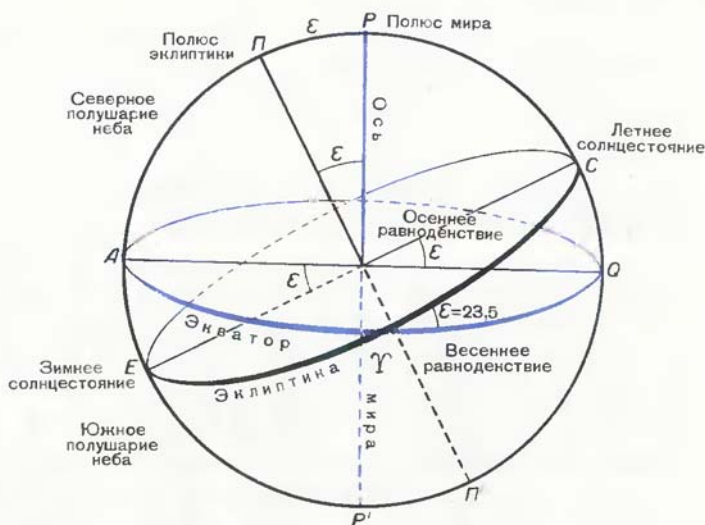


Рис. 44. Эклиптика и экватор.

эклиптике отстоят от точек равноденствия на 90° и больше всего удалены от экватора.

Годичное движение Солнца по эклиптике — явление кажущееся, оно вызвано обращением Земли вокруг Солнца.

При вращении небесной сферы положение эклиптики относительно горизонта все время меняется, поэтому на чертеже небесной сферы с горизонтом и меридианом эклиптику обычно не изображают.

В настоящее время точка весеннего равноденствия находится в созвездии *Рыб*, осеннего — в созвездии *Девы*.

Двенадцать созвездий, через которые проходит эклиптика, образуют пояс *зодиака* и называются *зодиакальными* (*зодиак* — слово греческое, означающее «круг животных»). Вот эти созвездия: *Рыба*, *Овен*, *Телец*, *Близнецы*, *Рак*, *Лев*, *Дева*, *Весы*, *Скорпион*, *Стрелец*, *Козерог*, *Водолей*. Вы можете их найти на карте звездного неба в конце книги.

Около полуночи в южной стороне неба всегда находится то зодиакальное созвездие, которое в данном месяце противоположно Солнцу. Например, в ноябре Солнце находится в созвездии *Скорпиона* и около полуночи кульминируют звезды противоположного ему созвездия *Тельца*. Около полудня кульминирует то зодиакальное созвездие, в котором в это время находится Солнце, но оно может быть видимо в это время лишь в случае полного солнечного затмения.

Упражнение 6.

1. Чему равна (в градусах) полуденная высота Солнца в вашей местности 22 июня, 23 сентября и 22 декабря?

2. Широта Ленинграда 60° , Еревана 40° . Определите (построением) полуденные высоты Солнца в этих городах в летнее и в зимнее солнцестояние и сравните их.

§ 27. ИЗМЕНЕНИЕ СУТОЧНОГО ПУТИ СОЛНЦА НАД ГОРИЗОНТОМ НА РАЗНЫХ ШИРОТАХ

Как меняется в наших широтах суточный путь Солнца относительно горизонта от весны к лету и затем к зиме, говорилось в § 26.

Что касается изменений суточного пути Солнца на разных широтах в течение года, то их можно выяснить, изучая рисунок 43. В точке Q Солнце кульминирует в полдень в дни равноденствия, так как в эти дни оно находится на небесном экваторе. В день летнего солнцестояния оно кульминирует на $23^\circ 27'$ выше, а в день зимнего солнцестояния на $23^\circ 27'$ ниже (дополните чертеж суточными параллелями Солнца в дни солнцестояния). Суточные пути Солнца над горизонтом в средних широтах показаны на рисунке 45, слева.

Определим теперь, при каком значении угла φ , то есть на какой широте, Солнце может иметь верхнюю кульминацию в зените. Из рисунка 43 ясно, что это возможно на широтах от $+23^\circ, 5$ до $-23^\circ, 5$ в те дни, когда склонение Солнца равно широте места (угловому расстоянию точки Q небесного экватора от зенита). После подробного рассмотрения вопроса мы убедимся в следующем.

На земном экваторе Солнце, как и все другие небесные светила, всегда восходит и заходит относительно горизонта не наклонно, а отвесно (рис. 45). Поэтому там круглый год день равен ночи

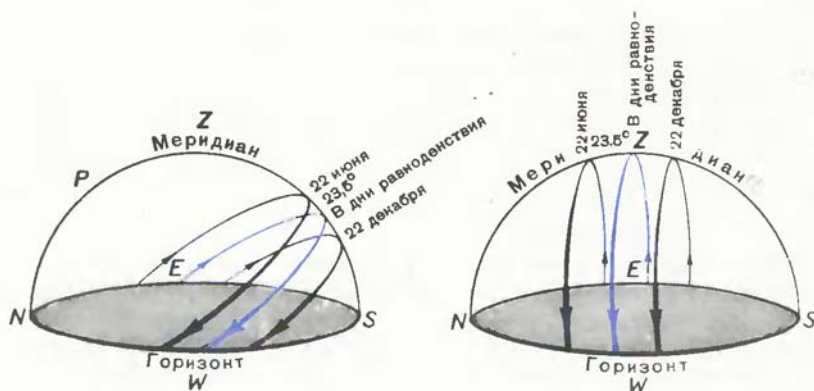


Рис. 45. Движение Солнца над горизонтом в разные времена года для наблюдателя, находящегося в средних широтах (слева) и на экваторе Земли (справа).

(горизонт делит суточный путь Солнца пополам), а сумерки бывают очень короткими. Солнце быстро опускается за горизонт. В полдень Солнце бывает в зените два раза в году — в дни равноденствий, когда его склонение равно 0° .

На Земле есть места, где Солнце только один раз в году бывает в полдень в зените. Это происходит 22 июня на географической широте $+23^\circ 27'$. Эта географическая параллель называется *тропиком Рака*. В полдень 22 декабря Солнце бывает в зените в местах, расположенных на южной параллели $-23^\circ 27'$, называемой *тропиком Козерога*.

Свои названия эти географические параллели получили в древности в связи с тем, что Солнце кульминировало в зените на тропиках в пору прохождения им созвездий Рака и Козерога, где находились в то время точки летнего и зимнего солнцестояний. За несколько тысяч лет, прошедших с той поры, эти точки переместились в соседние созвездия Близнецов и Стрельца. По-гречески *тропик* — поворот. Это название связано с поворотом движения Солнца по отношению к небесному экватору.

На полюсах Земли Солнце, пока оно находится над горизонтом, совпадающим здесь с небесным экватором, ежедневно описывает круги, почти параллельные горизонту. Как мы уже знаем, это продолжается на Северном полюсе Земли полгода, с 21 марта по 23 сентября. Так как с 21 марта по 22 июня Солнце непрерывно поднимается над небесным экватором, переходя из южного полушария неба в северное, мы приходим к следующему заключению.

На Северном полюсе Земли Солнце восходит один раз в году — около 21 марта — и, не заходя в течение полугода, описывает ежедневно полный круг над горизонтом, в то же время поднимаясь на все большую высоту до 22 июня; иначе говоря, Солнце описывает на небе витки очень пологой спирали. С 22 июня по 23 сентября Солнце по такой же спирали постепенно опускается к горизонту и после 23 сентября полгода не показывается над горизонтом. Полгода на полюсе — ночь и полгода — день.

По мере удаления от Северного полюса на юг в году появляется все больше дней, когда Солнце восходит и заходит, но летом все же бывает период, когда много дней подряд оно не заходит, и зимой — ряд дней, когда оно не восходит совсем. Такие явления, в частности нижнюю кульминацию Солнца в полночь, можно наблюдать в СССР в Мурманске и в других пунктах, находящихся севернее северного полярного круга.

Нетрудно убедиться, что на Земле есть такие места, где Солнце только раз в году, именно 22 июня, не заходит, а лишь касается горизонта (в точке севера) в момент своей нижней кульминации (в полночь). 22 декабря, и только в этот день, в этих местах Солнце не восходит, а в полдень лишь касается точки юга, оставаясь под горизонтом. Эти места расположены на Земле на географической параллели $66^\circ 33'$, называемой северным полярным кругом.

На Южном полюсе Земли наблюдаются те же явления, что и на Северном полюсе: только там полярный день длится с 23 сентября по 21 марта, а ночь — с 21 марта по 23 сентября. На южном полярном круге ($66^{\circ}33'$ южной широты) день без восхода Солнца бывает 22 июня, а день без захода Солнца — 22 декабря.

В местностях, расположенных немного южнее северного полярного круга, например в Ленинграде, около 22 июня Солнце ночью опускается под горизонт, но ненадолго и неглубоко. Поэтому его лучи из-под горизонта сильно освещают воздух («белые ночи»).

Из всего сказанного ясно (и это следует твердо запомнить), что время восхода и захода Солнца зависит не только от дня года, но и от географической широты, на которой находится наблюдатель. Поэтому время восхода и захода Солнца, указываемое в обычных календарях, может быть верным только для одной какой-либо широты, а не для всей территории СССР.

§ 28. ОБРАЩЕНИЕ ЗЕМЛИ ВОКРУГ СОЛНЦА И ЕГО СЛЕДСТВИЯ

Кажущееся годичное перемещение Солнца по эклиптике и все связанные с этим явления, описанные в предыдущих параграфах этой главы, вызваны тем, что в действительности Земля движется вокруг Солнца. Свой оборот она завершает за год.

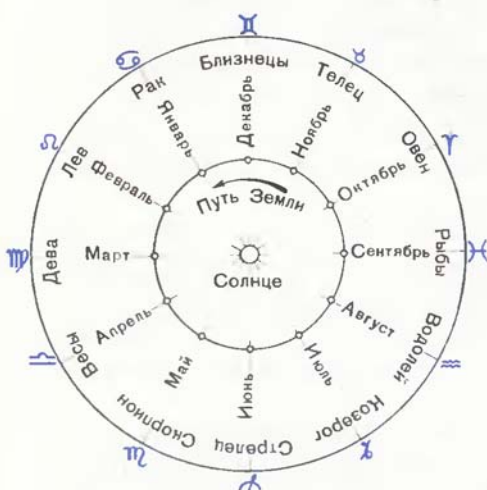


Рис. 46. Движение Солнца по эклиптике через зодиакальные созвездия есть отражение движения Земли вокруг Солнца.

Путь, описываемый Землей вокруг Солнца, называется ее орбитой.

Ось суточного вращения Земли наклонена к плоскости эклиптики на $66^{\circ}33'$, а плоскость экватора наклонена к плоскости эклиптики на угол $90^{\circ} - 66^{\circ}33' = 23^{\circ}27'$. Ось суточного вращения Земли (при движении Земли) остается параллельной самой себе, не меняя наклона к плоскости земной орбиты.

Поскольку мы не чувствуем своего движения вместе с Землей, нам кажется, что мы неподвижны, а Солнце перемещается по эклиптике. Таким образом, движение Солнца по эклиптике есть отражение движения Земли.

Уяснить это можно, рассматривая рисунок 46, на котором в плане изображено движение Земли.

Известно, что от высоты Солнца над горизонтом зависит количество тепла, падающего на данную площадь; чем выше поднимается Солнце над горизонтом, тем жарче оно греет. Разной высотой Солнца над различными местами земного шара объясняется то, что на Земле имеются различные тепловые пояса — жаркий, умеренные и холодные. В связи с этим в каждом году бывают холодные и теплые сезоны, постепенно приходящие на смену один другому. Это явление природы называется сменой времен года.

Причина этих изменений заключается в том, что ось Земли наклонена к плоскости земной орбиты, но не меняет своего направления при обращении Земли вокруг Солнца.

Обратимся к рисунку 47. Справа на рисунке — северный конец земной оси наклонен к Солнцу. Это положение Земли соответствует лету в северном полушарии Земли и зиме в южном полушарии. Солнечные лучи падают на северное полушарие с меньшим наклоном и поэтому сильнее нагревают Землю, подобно тому как днем они сильнее нагревают почву, чем утром, когда лучи Солнца падают более наклонно.

В таком положении северные полярные области много дней подряд освещаются незаходящим Солнцем. В то же время южные полярные области в течение многих суток остаются без света Солнца. Там — долгая полярная ночь.

В средних широтах северного полушария при суточном вращении Земли каждая точка ее поверхности описывает большую часть пути под лучами Солнца, то есть день длиннее ночи.

В южном полушарии Земли обратная картина: на него солнечные лучи падают с большим наклоном; дни короткие, ночи длинные (зима).

Летом угол между направлением к Солнцу и плоскостью экватора бывает наибольшим — $23,5^\circ$. Полуденная высота Солнца в начале лета бывает наибольшая и, например, в Москве достигает почти 58° [по формуле § 25: $23^\circ 27' + (90^\circ - 55^\circ 45')$, где $55^\circ 45'$ — широта Москвы].

Положение Земли в зимнее солнцестояние для северного полушария изображено слева. В этом положении о северном полушарии Земли можно сказать то же, что говорилось о южном полушарии.

Положение Земли в момент весеннего равноденствия на рисунке изображено в нижней части орбиты. При таком положении Земли солнечные лучи падают отвесно на земном экваторе; Солнце находится на небесном экваторе. На средних широтах обоих полушарий Земли солнечные лучи падают под углом, промежуточным между падением их в летний и зимний периоды. На обоих полюсах Земли Солнце видно в плоскости горизонта, так как эта плоскость касательна к земному шару и для полюсов параллельна плоскости экватора.

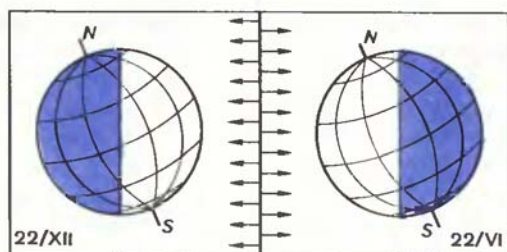
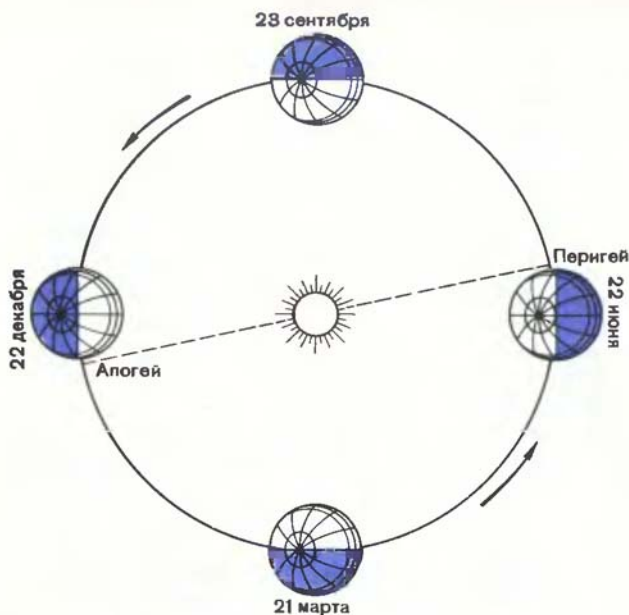


Рис. 47. Схема смены времен года.

Солнце находится чрезвычайно далеко от Земли, а не так, как показано на рисунке. Поэтому лучи его, идущие к поверхности Земли, почти параллельны друг другу. Следовательно, находясь в день равноденствия на небесном экваторе, Солнце в то же время находится в плоскости горизонта для наблюдателей, находящихся на полюсах Земли. Таково же положение Земли по отношению к солнечным лучам и в день осеннего равноденствия.

В дни равноденствий граница дня и ночи проходит через оба полюса Земли и при вращении Земли вокруг оси любая точка Земли описывает одинаковые пути по освещенной и по темной стороне Земли, то есть на всей Земле день должен быть равен ночи.

§ 29. ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ

1. Часовой угол и измерение времени. Для измерения времени мы пользуемся строго периодическими явлениями в природе: суточным вращением Земли вокруг своей оси и ее годичным обращением вокруг Солнца. Вращением Земли объясняется непрерывное изменение в положении светил относительно меридиана наблюдателя. Поэтому по изменению положения светил на небе можно определить величину угла поворота Земли вокруг оси, а по нему — час суток. Для измерения времени воспользуемся понятием часового угла. На рисунке 48 изображены экваториальные координаты и часовой угол t — угол между кругом склонения какой-нибудь точки M и меридианом наблюдателя $NPZS$. В противоположность углу α часовой угол, вследствие вращения небесной сферы, с течением времени меняется равномерно.

Дуга Aq , отсчитываемая по часовой стрелке от южной части меридиана наблюдателя до круга склонения, проходящего через точку M , называется *часовым углом* данной точки. Часовой угол t выражается в единицах времени.

Понятие о часовом угле позволяет точнее сформулировать способ измерения времени: *истинное солнечное время, если считать его от полдня, измеряется часовым углом Солнца*. Определяемое так время (час суток) называется, кроме того, *местным временем*, так как часовой угол Солнца в один и тот же момент для мест, лежащих на разных меридианах, различен. Например, когда Солнце находится на меридиане данного места (и там местный истинный полдень), на меридиане места, лежащего западнее, Солнце еще не достигло меридиана: полдень еще не наступил. Изменением часового угла Солнца измеряется протекший интервал времени.

2. Истинные солнечные сутки. Распределение трудового времени людей связано со сменой дня и ночи, и потому время в обиходе определяют по положению Солнца на небе.

Истинным полднем называется момент верхней кульминации центра солнечного диска. Истинными солнечными сутками называется промежуток времени между двумя верхними кульминациями центра видимого диска Солнца.

Продолжительность истинных солнечных суток меняется в течение года вследствие неравномер-

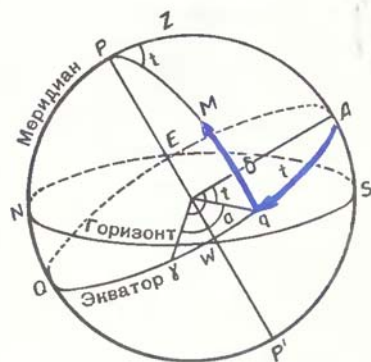


Рис. 48. Часовой угол.

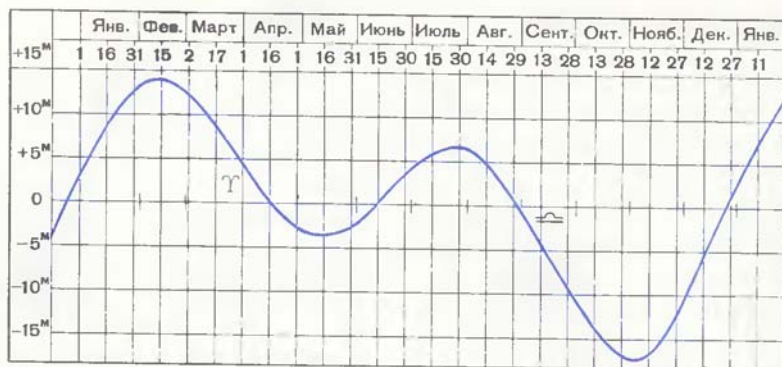


Рис. 49. График изменения уравнения времени.

ного движения Земли по орбите и наклона земного экватора к этой орбите. По указанным причинам продолжительность истинных солнечных суток меняется в течение года очень сложно.

Истинное солнечное время, измеряемое часовым углом Солнца, могут показывать только солнечные часы. Они представляют собой стержень или угольник, тень которого, играющая роль стрелки часов, перемещается по доске — циферблату. На доске начерчены линии, вдоль которых падает тень стержня в определенные часы дня. Возле этих линий надписаны обозначения часов дня. Солнечные часы бывают различных типов, но стержень их всегда должен быть направлен к полюсу мира.

3. Среднее солнечное время и уравнение времени. Неодинаковая продолжительность истинных солнечных суток в разное время года мешает пользоваться истинным солнечным временем. Поэтому на практике пользуются так называемым средним солнечным временем, которое течет совершенно равномерно и соответствует часу средних суток, а **средние сутки** — это **средняя продолжительность истинных суток**.

Разность: **среднее время минус истинное время** — называется **«уравнением времени»**. Иными словами, уравнение времени есть та алгебраическая величина, которую надо прибавить (с ее знаком плюс или минус) к истинному времени, чтобы получить среднее время. Изменение уравнения времени показано на рисунке 49. Наибольшее значение уравнения времени составляет 16'30" (со знаком минус — около 3 ноября).

Для получения среднего времени к показанию солнечных часов, дающих истинное солнечное время, надо прибавить уравнение времени с его знаком на данный день года. Его величину легко отсчитать для любого дня года, пользуясь кривой рисунка 49. Во всех астрономических календарных справочниках приводятся таблицы уравнения времени.

§ 30. СИСТЕМЫ СЧЕТА ВРЕМЕНИ

1. Местный, поясной и декретный счет времени. Счет суток ведется от полуночи. Если пользоваться местным счетом времени, то в местностях, хотя бы немного отличающихся по долготе, приходится время считать несколько по-разному. Это создает много неудобств. Почти во всех странах принят так называемый *поясной счет времени*, состоящий в следующем.

Вся поверхность земного шара разбита меридианами на 24 пояса (рис. 50), так что меридианы — границы каждого пояса — отстоят один от другого на 15° , то есть на 1 час. Следовательно, на краях пояса местное время отличается от местного времени середины пояса на полчаса. **Средний меридиан начального пояса, называемый нулевым, есть гринвичский меридиан.** Следующие к востоку пояса называются первым, вторым и т. д.

Условились внутри каждого пояса ставить часы по местному времени. Например, в Уфе и в Самарканде считают 12 часов дня, когда в Свердловске, лежащем почти в середине IV пояса, по местному времени тоже 12 часов дня. Так как долгота Уфы 3 ч 44 мин, а долгота Самарканда 4 ч 28 мин, то в Уфе поясное время впереди местного на 4 ч — 3 ч 44 мин, то есть на 16 мин, а в Самарканде поясное время оказывается на 4 ч 28 мин — 4 ч, то есть на 28 мин позади местного. Зная долготу места и номер пояса (см. таблицу V в приложении), в котором оно находится, легко установить разность между местным и поясным временем.

В соседнем к востоку поясе на всем его пространстве в тот же момент считают время ровно на час больше. Переезжая границу часового пояса, часы надо переводить ровно на час. Положение минутных стрелок во всех странах, живущих по поясному времени, в один и тот же момент совпадает; отличаются только положения часовых стрелок соответственно поясу.

По разным причинам границы часовых поясов условились проводить иногда не в точности по меридиану, а по естественным рубежам железных дорог, областей и т. п. Например, граница II и III часовых поясов, если ее вести по меридиану с долготой 2 ч 30 мин, как раз пересекла бы Москву. Поэтому эта граница отступает несколько к востоку, включая восточные районы Московской области. На железнодорожном транспорте расписания поездов по всему СССР составляются по московскому времени.

Для более рационального расходования электроэнергии и топлива, идущего на ее выработку, и притом так, чтобы люди не меняли своего привычного распорядка дня, декретом СНК СССР от 16 июня 1930 г. часовые стрелки по всей стране передвинуты на час вперед. Такой счет времени называется *декретным*.

Таким образом, декретное время равно поясному плюс один час. В некоторых областях СССР существуют отклонения от описанного порядка счета времени.

2. **Л и н и я и з м е н е н и я д а т ы.** Необходимо условиться, на каком из земных меридианов начинается новая дата, где, например, впервые на Земле начинается 1 января.

Условились, что каждая новая дата, новое число месяца наступает на линии, проходящей вблизи меридиана 180° от Гринвича, между Азией и Америкой. Таким образом, новый день наступает сначала на Чукотке, потом в Сибири, потом в Европе и позднее всего на Аляске.

На корабле, пересекающем линию изменения даты в восточном направлении, одно и то же число месяца приписывается двум последовательным дням. Например, при пересечении этой линии в пятницу 13 апреля следующий день опять называют пятницей 13 апреля. При пересечении этой линии в западном направлении на корабле один день из счета опускают. Например, день, следующий за субботой 15 мая, называют понедельником 17 мая. Когда такие суда приходят в порт, их счет дат совпадает со счетом жителей порта.

3. **С л у ж б а т о ч н о г о в р е м е н и.** Некоторые виды производства и транспорта требуют знать время с точностью до секунды, а часто и до сотых долей секунды. Например, разведка полезных ископаемых по измерению силы тяжести, составление географических карт, вождение судов в открытом море требуют точнейшей проверки часов и притом по несколько раз в сутки, так как любые часы хоть немного спешат или отстают. Для этой цели в СССР и в других странах организована «служба точного времени». Ее задачей является определение, хранение и передача точного времени.

Точное время определяется на астрономических обсерваториях по наблюдению, например, моментов кульминации звезд. Положение Солнца среди звезд на небесной сфере всегда точно известно, поэтому от момента кульминации звезды можно перейти к часовому углу Солнца. (Определение времени из наблюдений самого Солнца менее точно, а о недостаточной точности солнечных часов и говорить не приходится.)

Служба точного времени состоит в возможно более частой проверке одних и тех же (главных) часов обсерватории и в изучении поведения часов — на сколько эти часы уходят вперед или отстают в течение суток, а также в передаче точного времени.

Для хранения времени, кроме обычных астрономических часов высокой точности, в последние годы стали применять так называемые кварцевые часы, в кварцевом кристалле которых происходят колебания постоянной частоты. Применяют и еще более совершенные — молекулярные часы.

§ 31. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ДОЛГОТЫ

Определение долготы основано на сравнении в данный момент местного времени данного пункта с местным временем на начальном меридиане (или в пункте, долгота которого уже известна), так как разность географических долгот двух пунктов равна разности их местных времен в один и тот же момент. Это видно из рисунка 51. (Угол между меридианами двух пунктов равен разности углов между плоскостями их меридианов и направлением из этих пунктов к Солнцу.)

Таким образом, задача определения географической долготы распадается на две: на определение местного времени в данном пункте и местного времени пункта с известной географической долготой.

Узнать местное время пункта с известной географической долготой можно, принимая по радио сигналы точного местного времени, подаваемые из этого пункта. В момент приема сигнала по радио надо отметить показание своих часов, поставленных по местному времени.

Например, известно, что московская радиостанция дает сигнал точного декретного времени ровно в 19 ч 00 мин. Это будет сигнал по времени II пояса +1 ч, то есть по времени меридиана, имеющего долготу 3 ч 00 мин 00 сек. Пользуясь наблюдениями ночных светил, наблюдатель установил свои часы по местному времени. Московский радиосигнал он услышал, когда его часы показывали 23 ч 49 мин. Он заключает, что долгота его местности:

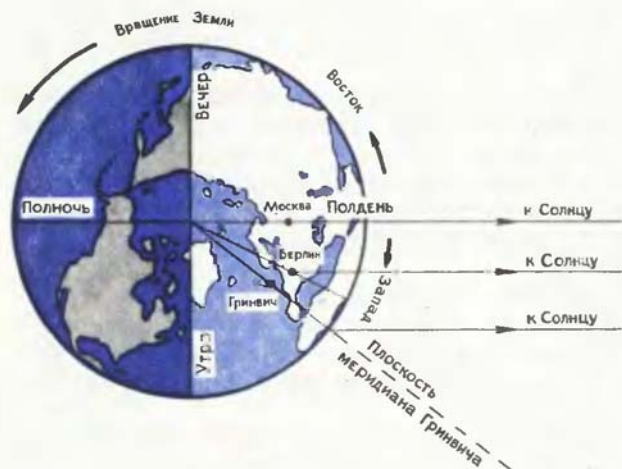


Рис. 51. Разность географических долгот двух мест равна разности местных.

$23 \text{ ч } 49 \text{ мин} - 19 \text{ ч } 00 \text{ мин} = 4 \text{ ч } 49 \text{ мин}$ к востоку от меридиана, имеющего долготу $3 \text{ ч } 00 \text{ мин } 00 \text{ сек}$ от Гринвича. Следовательно, долгота данного пункта относительно Гринвича равна $4 \text{ ч } 49 \text{ мин} + 3 \text{ ч} = 7 \text{ ч } 49 \text{ мин}$.

§ 32. КАЛЕНДАРЬ

1. Старый и новый стиль. Календарем называется система исчисления больших периодов времени. В настоящее время почти все страны пользуются солнечным календарем, то есть календарем, основанным на годичном кругообороте Солнца по эклиптике и потому связанным с периодической сменой времен года.

Во всяком солнечном календаре за основу берется тропический год. Тропическим годом называется промежуток времени между двумя последовательными прохождением центра Солнца через точку весеннего равноденствия.

Тропический год равен $365 \text{ сут } 5 \text{ ч } 48 \text{ мин } 46,1 \text{ сек}$, или $365,2422$ суток. Это создает трудность в построении календаря, так как каждый календарный год для удобства должен заключать в себе целое число суток. В зависимости от того, как осуществляется согласие календаря с тропическим годом, могут быть разные календари.

До Великой Октябрьской социалистической революции в России был принят календарь, называемый старым стилем. В старом стиле для простоты счета принято, что год составляет $365 \text{ сут } 6 \text{ ч}$, то есть $365,25$ суток. Чтобы календарный год содержал всегда целое число суток, было принято 3 года подряд считать по 365 суток, а следующий (четвертый) год — в 366 суток и т. д. Тогда средняя продолжительность года будет равна $365 \text{ сут } 6 \text{ ч}$, то есть принятой продолжительности календарного года.

Лишний день в году вставляется в конце февраля (29 февраля); такой год называется *високосным*. Условились считать високосными (по 366 суток) те годы, номера которых без остатка делятся на 4, например годы 1960, 1964, 1968.

Старый стиль отстает от действительного течения времени, так как считает в среднем год более длинным, чем он есть в действительности (на $11 \text{ мин } 14 \text{ сек}$). За каждые 400 лет (точнее за 384 года) старый стиль отстает на трое суток.

Принятый в СССР (с 14 февраля 1918 г.) и в большинстве стран новый стиль календаря (введенный в некоторых странах еще в 1582 г.) почти свободен от упомянутого недостатка.

В XVI в. старый стиль отстал на 10 суток (за время с начала IV в., когда была фиксирована по старому календарю дата весеннего равноденствия). Чтобы аннулировать это отставание, 5 октября 1582 г. посчитали 15 октября. А чтобы ошибка снова не накопилась, трое лишних суток, накапливающихся в старом календаре за

400 лет, устраняются тем, что три високосных года каждого периода в 400 лет считаются простыми. Условились, что простыми будут те столетние високосные годы старого календаря, число сотен которых без остатка не делится на 4. Таким образом, 1600 г. в обоих календарях был високосным и в XVII в. различие между новым и старым стилем равнялось 10 дням. 1700 г. по новому стилю был простой, а не високосный, и потому различие между этими календарями достигло 11 суток. После 1800 г. различие достигло 12 суток, после 1900 г. — 13 суток; после 2000 г. оно будет все еще 13 суток до 2100 г.

Новый стиль тоже не совершенно точен, но в нем ошибка в одни сутки накапливается только за 3000 лет. Практического значения такая ошибка, естественно, не имеет.

2. **Происхождение месяца и недели.** В древности в странах, более связанных с охотой и со скотоводством, чем с земледелием, был принят календарь, построенный на смене лунных фаз (период 29,5 суток). В нашем солнечном календаре двенадцатая часть года сохранила название месяца, но она никакого отношения к Луне уже не имеет: со сменой лунных фаз наши календарные месяцы, имеющие разную продолжительность (от 28 до 31 дня), никак не связаны.

Семидневная неделя возникла тысячи лет назад в связи с верованием во влияние планет на судьбу людей. Каждой из пяти планет, известных тогда, а также Солнцу и Луне посвящались отдельные дни недели в определенном порядке.

3. **Календарная эра.** Календарной эрой называется начало счета лет. Римляне долго вели счет лет от предполагаемого года основания своей столицы — города Рима.

Полторы тысячи лет назад монахами было предложено вести счет лет от так называемого «рождества Христова». Дата этого мифического события, конечно, не могла быть установлена, и «определили» ее произвольно. Однако постепенно эта эра от рождества Христова распространилась по многим странам и в настоящее время является почти общепринятой; мы ее обычно называем нашей или новой эрой (н. э.). В СССР ее временно сохранили для удобства: у всех народов принята одна и та же эра.

Упражнение 7.

1. Какое местное время впереди и на сколько: куйбышевское или свердловское (см. приложение V)? Томское или иркутское?

2. Пользуясь приложением V, определите для каждого из тех же городов, какое там время впереди: местное или поясное и на сколько? Декретное или местное и на сколько?

3. Определите местное время в Риге, когда в Чите по декретному времени полдень.

4. В Харькове часы, идущие по местному времени, показывают 7 ч 19 мин. Какое там сейчас декретное время? То же во Львове, Горьком, Красноярске.

5. Сойдутся ли по возвращении в счете дат два путешественника, одновременно выехавшие из Москвы 1 мая один на запад, другой на восток и проезжающие по 15° по долготе за сутки?

6. Часы, идущие по местному времени, показывали 23 ч 13 мин, когда по радио раздались сигналы, указывающие, что в Гринвиче полдень. Чему равна долгота местности?

7. По радио услышали из Москвы сигнал, подаваемый в 19 ч (по декретному времени в Москве), в то время как часы, идущие по местному времени, показывали 19 ч 43 мин. Какова долгота местности от Гринвича?

§ 33. АСТРОНОМИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ В МОРЕПЛАВАНИИ И АВИАЦИИ

Для морских судов и самолетов, находящихся в движении, определение географических координат представляет насущную и повседневную задачу, решаемую зачастую много раз за сутки. Качка пароходов и самолетов не позволяет пользоваться инструментом, установленным по уровню (например, теодолитом). Для измерения высоты светил, необходимой для определения широты и долготы, в этих условиях пользуются секстантом (рис. 52).

Секстантом называется прибор для измерения угловых расстояний светил от горизонта, удерживаемый в руках при наблюдении.

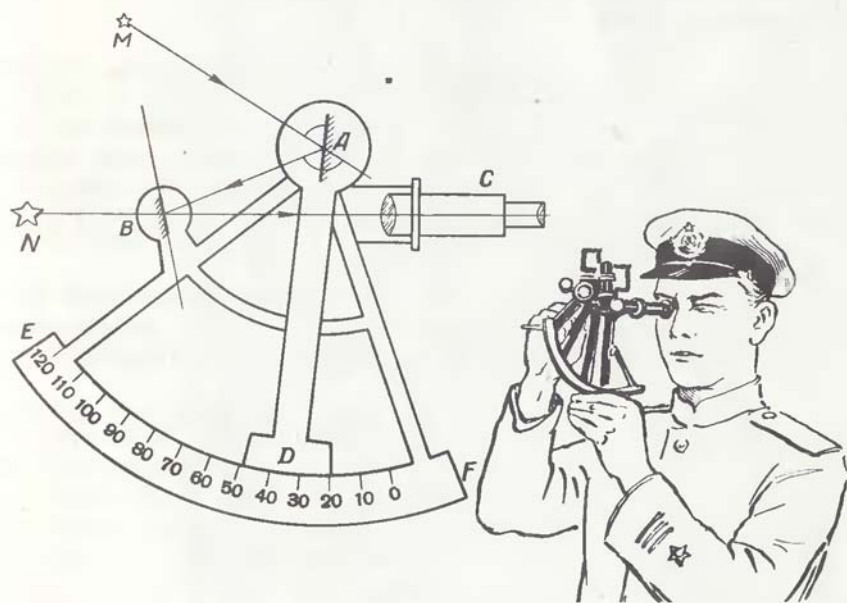


Рис. 52. Секстант и наблюдение с ним.

Он состоит из сектора окружности, имеющего угол 60° . На секторе укреплены труба и два зеркала: неподвижное и вращающееся. При помощи рукоятки прибор удерживается в нужном положении.

В горизонтальную трубу наблюдатель видит горизонт. Вращая линейку с зеркалом, добиваются, чтобы луч от светила, отразившись от вращающегося зеркала, упал на неподвижное зеркало, а от него отразился в глаз наблюдателя. Тогда изображение светила будет видно на линии горизонта. Соответствующий отсчет указателя на дуге сектора покажет высоту светила над горизонтом в момент наблюдения.

Для облегчения вождения судов и самолетов в СССР издаются специальные справочники (астрономические ежегодники, астрономические календари), содержащие необходимые сведения о небесных светилах, относящиеся к данному году.

Географические карты, столь важные для транспорта, для экономики, в военном деле и т. д., составляются на основании геодезических измерений. В основе последних лежат астрономические определения широт и долгот опорных пунктов. В СССР астрономо-геодезические работы поставлены очень широко.

§ 34. АСТРОНОМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ НЕБЕСНЫХ СВЕТИЛ

1. **Телескопы и фотография.** Телескопы предназначены для наблюдения и изучения небесных светил. В телескопе-рефракторе (рис. 53) система выпуклых линз (объектив), а в телескопе-рефлекторе (рис. 54) вогнутое зеркало дают изображения светил в некоторой плоскости, называемой *фокальной*. Это изображение рассматривается в окуляр. Количество света, собираемое объективом или зеркалом, пропорционально их площади.

Советский ученый Д. П. Максудов изобрел менисковый телескоп, соединяющий достоинства рефракторов и рефлекторов. По его системе устроены, в частности, некоторые телескопы, выпускаемые для школы.

Для изучения физической природы небесных светил применяются различные телескопы. В один из них светила наблюдают непосредственно глазом, при помощи других светила фотографируют. Все большие телескопы после установки на выбранную звезду при помощи часового механизма приводятся во вращение вокруг оси, направленной к полюсу мира. Поэтому наблюдатель, несмотря на суточное вращение неба, видит светило неизменно в поле зрения своего телескопа, или же изображения звезд, даваемые телескопом, остаются все время на одних и тех же местах фотографической пластинки.

Сейчас фотография почти вытеснила непосредственные наблюдения глазом. Применение длительных экспозиций позволяет получать на фотографии более слабые звезды, чем видимые глазом в тот же телескоп. Получаемые фотографии небесных светил документально запечатлевают их состояние в момент съемки. Фото-снимки, непрерывно пополняющие хранилища, изучаются в лабораториях, где все измерения, сделанные по фотографиям, можно проверить и в любое время повторить. Измерение фотографий, расчеты по ним и изучение полученных результатов занимают у астрономов значительно больше времени, чем сами наблюдения.

Многие телескопы снабжаются вспомогательными приборами для изучения свойств света, испускаемого небесными светилами.

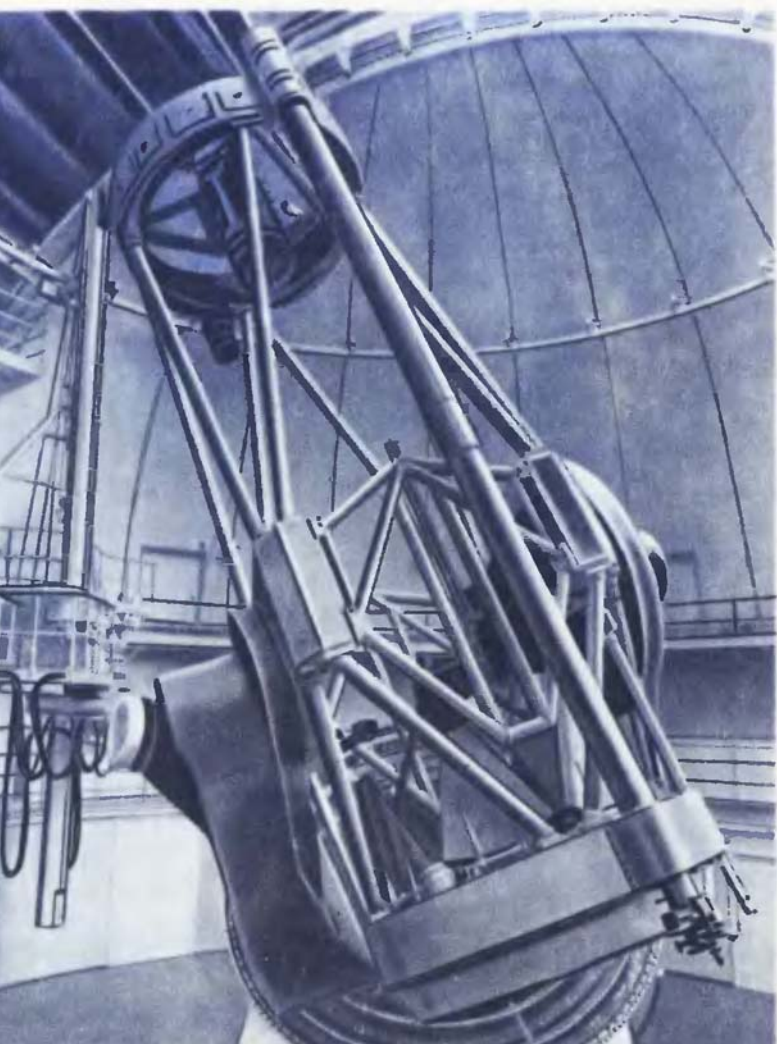
Рис. 53. Двойной рефрактор для рассматривания и для фотографирования небесных светил. Два телескопа заключены в общий кожух.



Не надо думать, что стремление к постройке больших телескопов вызвано желанием рассматривать небесные светила с большим увеличением. Большое увеличение телескопа искажает вид светила из-за колебания воздуха, так что постоянное волнение воздуха ставит предел практически применимому увеличению. При наблюдениях в телескоп редко используются увеличения свыше 500 раз, хотя большие телескопы могут увеличивать в тысячи раз.

Зато большие телескопы позволяют видеть более слабые, а значит, и более далекие от нас светила, позволяют проникать глубже в бездны мирового пространства.

Рис. 54. Рефлектор Крымской обсерватории с зеркалом диаметром 2,6 м.



2. Спектральный анализ. В середине прошлого столетия был открыт спектральный анализ. Он основан на том, что лучи разного цвета, из которых состоит свет того или иного источника, при переходе из одной среды в другую, например из воздуха в стекло, преломляются по-разному. С тех пор этот метод анализа света совершенствуется и получает разнообразнейшие применения. Ему мы обязаны большинством наших сведений о физической природе и химическом составе небесных тел.

Спектральный анализ производится при помощи прибора, называемого *спектроскопом* (рис. 55). Спектроскоп состоит из одной или нескольких стеклянных призм и двух трубок. Одна из них (на рисунке — левая), называемая коллиматором, имеет на переднем конце узкую щель, через которую проходит свет изучаемого светила. На другом ее конце находится объектив, в фокусе которого и помещена щель. Поэтому лучи света от щели, являющейся как бы источником света для спектроскопа, выходят параллельным пучком и падают на призму все под одинаковым углом. В этом и состоит назначение коллиматора.

В призме сложный свет разлагается на свои составные части. Лучи разных цветов расходятся, так как преломляются призмой по-разному. После преломления лучи поступают в зрительную трубу. Если вместо окуляра в фокусе зрительной трубы поместить фотографическую пластинку, мы получим фотографию составных частей изучаемого света, называемую *спектрограммой*. В этом случае прибор называется *спектрографом*.

Обнаружено, что раскаленные твердые и жидкие тела, а также раскаленные, сильно наэлектризованные (ионизированные) газы дают так называемый сплошной спектр в виде радужной полоски (см. рис. 87). В таком спектре последовательно переходят друг в друга цвета красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий и фиолетовый. Белый солнечный свет состоит из всех цветов радуги. Как известно, свет распространяется в виде волн, и каждый цвет спектра имеет свою длину волны. Точнее,

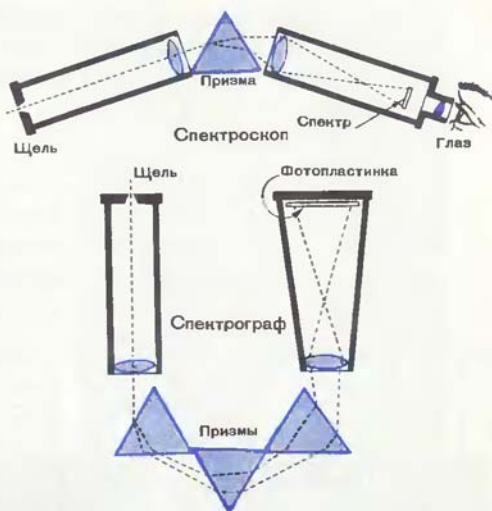


Рис. 55. Схема устройства спектроскопа и спектрографа.

каждой точке спектра соответствует своя длина волны (она одинакова лишь для точек, лежащих на линии, перпендикулярной к протяжению спектра). Два соседних участка спектра, допустим желтые, по цвету на глаз не отличимые друг от друга, имеют разные длины волн.

Газы и пары, когда они находятся в разреженном состоянии и светятся при сильном нагревании или под действием электрического разряда, дают линейчатый спектр, состоящий из ярких цветных линий на темном фоне. Расположение линий в таком спектре зависит от химического состава данного газа. Один и тот же газ, находясь в более или менее одинаковых условиях свечения, дает

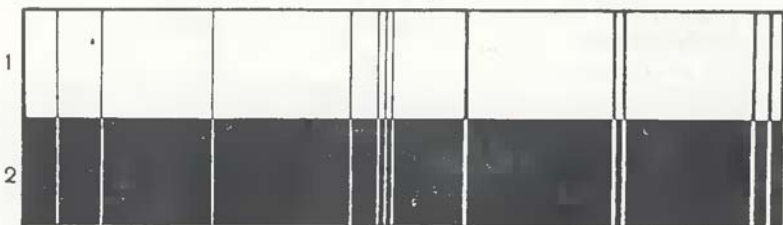


Рис. 56. Различные виды спектров:

1 — линейчатый спектр поглощения, 2 — линейчатый спектр излучения

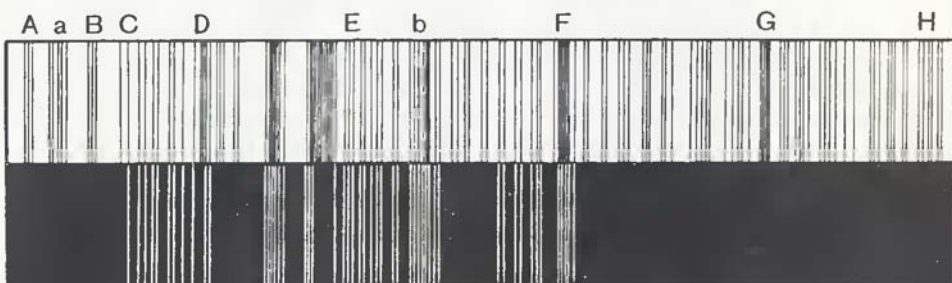


Рис. 57. Сравнение спектра Солнца (вверху) со спектром железа.

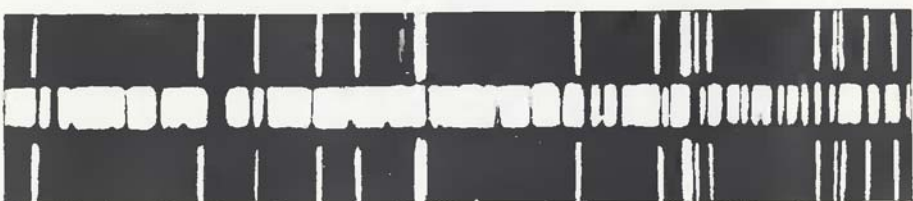


Рис. 58. Смещение линий в спектре звезды (среднем), движущейся по лучу зрения.

Вверху и внизу — лабораторные спектры сравнения.

в спектре одни и те же линии. Таким образом, по линиям спектра можно определить химический состав светящегося газа.

Если перед источником света, дающим сплошной спектр, поместить пары или газы с более низкой температурой, они поглотят часть света источника. В этом случае в спектроскопе будет виден спектр поглощения: сплошной спектр, перерезанный темными линиями. При этом темные линии находятся в тех же местах спектра, где находятся яркие линии, даваемые этими газами или парами, когда они светятся.

3. **О п р е д е л е н и е** х и м и ч е с к о г о с о с т а в а, с к о р о с т е й и т е м п е р а т у р ы н е б е с н ы х с в е т и л.

Спектральным анализом можно определить химический состав либо самосветящихся газов, либо газов, поглощающих свет источника, дающего сплошной спектр, отчего в сплошном спектре появляются темные линии. Такое явление происходит в атмосферах, окружающих небесные тела, подобные Солнцу и звездам. Спектры звезд и Солнца сплошные, перерезанные темными линиями. Сопоставляя эти линии с линиями спектров известных нам химических элементов (рис. 57, 87), мы узнаем химический состав наружных, менее горячих слоев Солнца и звезд. На этих светилах найдены только те химические элементы, которые есть и на Земле, а это подтверждает материальное единство мира и опровергает лжеучение о непознаваемости природы.

Луна и планеты светят отраженным светом Солнца, и потому их химический состав при помощи спектрального анализа определить нельзя. Но прежде чем от поверхности планеты отразится солнечный свет, он пронизывает ее атмосферу, а отразившись, по дороге к нам пронизывает ее еще раз. В атмосфере планеты солнечный свет поглощается, и потому в спектрах планет появляются добавочные темные линии (по сравнению со спектром Солнца). Это позволяет определить состав атмосфер планет.

Скорости движения небесных светил относительно Земли по лучу зрения (к нам или от нас) определяются при помощи спектрального анализа на основании принципа Допплера — Физо. Принцип Допплера — Физо состоит в том, что при сближении источника света и наблюдателя все линии спектра смещаются к его фиолетовому концу, а при взаимном удалении наблюдателя и



А. А. Белопольский.



источника света линии его спектра смещаются к красному концу. Величина смещения спектральных линий зависит от скорости движения и может быть измерена (рис. 58). Справедливость всего этого была впервые доказана в лабораторных условиях академиком А. А. Белопольским (1854—1934) в Пулковской обсерватории (рис. 59).

Скорость движения светил по направлению, перпендикулярному к лучу зрения, можно определить, зная видимую угловую скорость перемещения светила по небесной сфере и его расстояние от нас.

Температура самосветящихся небесных тел, таких, как Солнце и звезды, определяется по распределению яркости вдоль их непрерывного спектра. Самосветящееся тело с наименьшей температурой имеет красный цвет, потому что красные лучи в его спектре всего ярче. Более нагретое тело испускает желтый цвет, потому что наиболее яркое место в его спектре приходится на желтый цвет. Еще более раскаленное тело имеет белый цвет, потому что яркость цветов в его спектре такова, что при смешении они дадут белый цвет. У еще более нагретого тела наиболее яркой является голубая часть спектра, отчего и его цвет кажется голубоватым. Теория излучения света, проверенная опытами, показывает, что распределение яркости вдоль сплошного спектра зависит от температуры тела. Изучив распределение яркости в спектрах Солнца и звезд, мы можем с достаточной точностью определить их температуру.

Температура планет и Луны (светящих отраженным солнечным светом) определяется при помощи термозлемента. В астрономии в соединении с телескопами применяются столь чувстви-



Рис. 59. Пулковская обсерватория.

тельные термоэлементы, что они могут уловить тепло свечи, горячей на расстоянии многих километров. Такой термоэлемент помещают в фокусе объектива телескопа. Ничтожное тепловое излучение планеты все же нагревает термоэлемент, и в нем возникает слабый электрический ток, который измеряется чувствительным гальванометром. Зная силу тока, можно определить количество тепла, дошедшего от планеты до Земли, а зная расстояние планеты от Земли, можно по этим данным высчитать температуру планеты.

4. Понятие о радиоастрономии. За последнее время при помощи приборов, называемых радиотелескопами, которые представляют собой особого вида антенны, стало возможным принимать радиоволны, излучаемые небесными светилами. Антенны радиотелескопов бывают в форме вогнутых металлических (сплошных или решетчатых) зеркал или в форме огромных рам, на которых рядами укреплены металлические стержни. От зеркала телескопа радиоволны отражаются и собираются в фокус, где помещается приемник радиоизлучения. В параллельных друг другу стержнях (диполях) антенн космические радиоволны возбуждают колебательные процессы.



Рис. 60. Большой радиотелескоп с металлическим зеркалом.

Для радиоволн поверхность зеркал должна быть точней, чем поверхность зеркала оптического телескопа. Поэтому зеркало телескопа можно изготовить большего размера. Радиотелескопы с зеркалом достигают десятков метров в диаметре. Устраивают и неподвижные радиотелескопы, которым тогда можно придать еще большие размеры — до сотен метров, причем «зеркало» изготовляется из цемента прямо в земле. Радиотелескопы улавливают излучение некоторых небесных тел, которые находятся, по-видимому, еще дальше, чем самые далекие от нас светила, доступные для обнаружения оптическими телескопами. При помощи приборов-радаров можно направлять радиосигналы на ближайшие к нам небесные тела и принимать отраженные от них радиоволны. По времени прохождения радиоволны до тела и обратно можно определить расстояние до него. Так было определено расстояние до Луны и до ближайших планет. Наблюдения с радиотелескопами и радаром являются новым методом изучения небесных светил — *радиоастрономией*.

Мы видим, что современная наука обладает рядом мощных способов изучения Вселенной. Эти способы позволяют уверенно изучать физическую природу небесных тел, их движение, химический состав и температуру. Таким образом, современные данные о небесных телах являются не простыми предположениями, а достоверными результатами измерений и применения законов, многократно проверенных на опыте.

5. Советские астрономические обсерватории. В СССР наиболее крупные обсерватории имеются в Пулковке, в Крыму, в Москве, в Абастумани (Грузия), в Бюракане (Армения), в Алма-Ате, а также в других городах. В Крыму находится самый крупный в Европе телескоп с зеркалом 2,6 м в диаметре. Пулковская обсерватория, основанная в 1839 г. В. Я. Струве, в XIX в. была признана за рубежом «астрономической столицей мира», так как она была прекрасно оборудована и славилась целенаправленностью и исключительной точностью своих научных работ. Туда приезжали совершенствоваться ученые разных стран.

В обсерваториях, кроме телескопов для изучения природы небесных светил, имеются инструменты для точного определения их положения и движения на небе и для проверки часов.



Ф ИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

ЛУНА

§ 35. ДВИЖЕНИЕ И ФАЗЫ ЛУНЫ

Луна — единственное небесное тело, которое обращается вокруг Земли, если не считать искусственных спутников Земли, созданных человеком за последние годы.

Луна непрерывно перемещается по звездному небу и по отношению к какой-нибудь звезде за сутки смещается навстречу суточному вращению неба приблизительно на 13° , а через $27\frac{1}{3}$ суток возвращается к тем же звездам, описав по небесной сфере полный круг. Поэтому промежуток времени, в течение которого Луна совершает полный оборот вокруг Земли по отношению к звездам, называется звездным (или сидерическим) месяцем; он составляет $27\frac{1}{3}$ суток.

При своем движении Луна нередко на время загораживает от нас звезды и планеты. Значит, Луна к нам ближе, чем звезды и планеты. Видимое движение Луны по небесной сфере происходит вблизи эклиптики, но плоскость лунной орбиты немного наклонена к ней (на 5°). Точки пересечения лунной орбиты с плоскостью эклиптики называются *узлами лунной орбиты*.

Среднее расстояние Луны от Земли составляет 384 400 км, или приблизительно 30 земных диаметров.

Изменение вида Луны — смена ее фаз — происходит от того, что Луна занимает различные положения относительно Земли и освещающего ее Солнца.

Луна — это темное шарообразное тело. Когда Луна находится между Землей и Солнцем, обращенное к нам ее полушарие не освещается Солнцем, и мы Луны не видим. Эта фаза Луны называется *новолунием*. Когда Земля находится между Солнцем и Луной, все

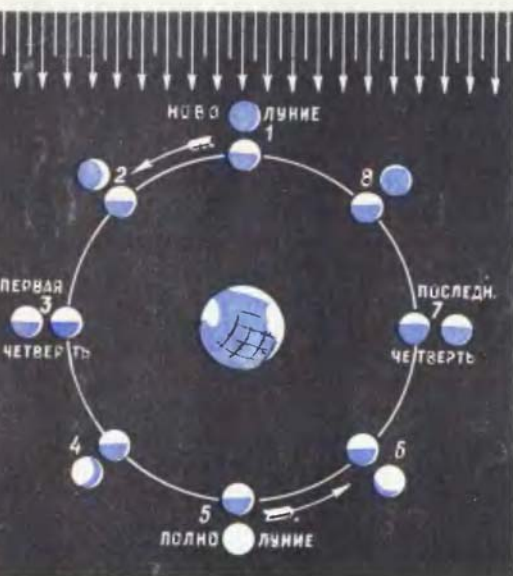


Рис. 61. Схема, поясняющая смену фаз Луны.

обращенное к нам полушарие Луны ярко освещено Солнцем. Эта фаза называется *полнолунием*. В промежуточных положениях мы видим те или иные части освещенного боку полушария Луны: полукруг (первая четверть и последняя четверть), более или менее узкий серп и др. Рисунок 61 показывает связь лунных фаз с положением Луны на ее орбите: солнечные лучи падают сверху, в плоскости чертежа.

Верхняя кульминация Луны происходит при полнолунии — в полночь — около 6 ч (по местному времени). Этим можно пользоваться для приближенной ориентировки на местности или для грубой оценки времени ночью.

Промежуток времени между двумя последовательными одинаковыми фазами Луны называется *синодическим месяцем*; он равен 29,5 суток.

Синодический месяц больше сидерического месяца, так как одинаковые фазы Луны наступают при одинаковых положениях Луны относительно Солнца и Земли. На рисунке 62 Луна в точке L изображена в положении новолуния — между Землей T и Солнцем S . За время полного оборота Луны вокруг Земли Земля с Лунной успеет пройти $\frac{1}{13}$ часть своей орбиты относительно Солнца и окажется в точке T_1 . Луна, двигаясь в направлении, указанном стрелкой, окажется в положении L_1 , которое, как мы видим, не будет еще соответствовать новолунию. Чтобы прийти в положение новолуния L'_1 , Луне надо повернуться на орбите еще на угол $L_1, T_1 L'_1$, на что требуется около двух суток.

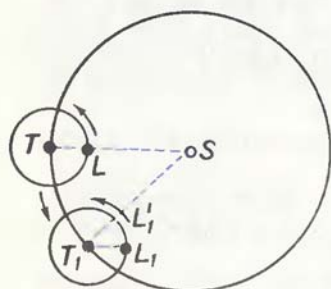


Рис. 62. Синодический месяц длиннее звездного месяца.

Земля, освещаемая Солнцем, при наблюдении с Луны тоже должна менять фазы и с тем же периодом, но фазы их обратны друг другу: когда мы видим новолуние, с Луны видно «полноземлие» и т. д.

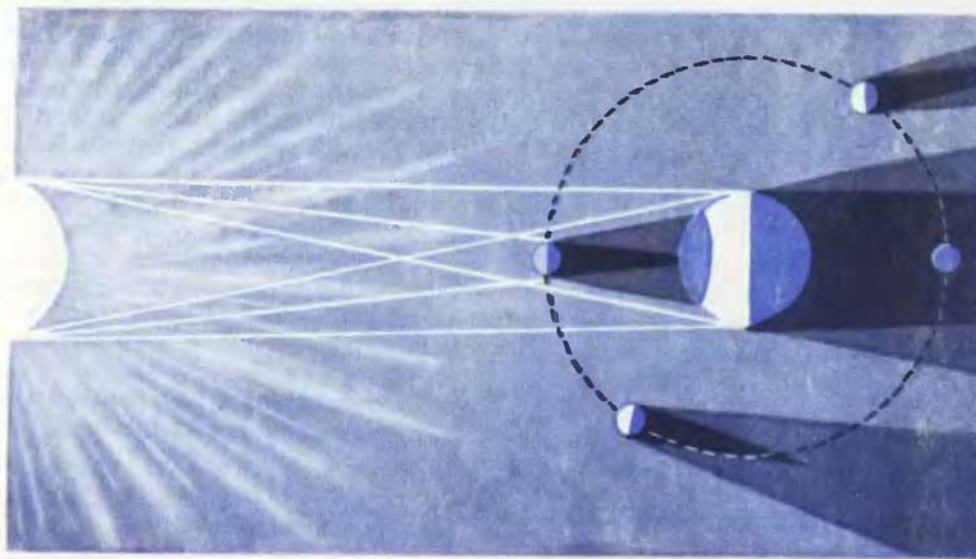
Поверхность Земли больше поверхности Луны в 14 раз. Кроме того, земная поверхность отражает солнечные лучи в семь раз лучше, чем лунная. Поэтому в новолуние Луна освещается Землей значительно сильнее, чем в полнолуние Земля освещается Луной. Этим объясняется явление «пепельного света»: так называется слабое голубовато-зеленое свечение не освещенной Солнцем части лунного диска незадолго до новолуния или вскоре после него, когда Луна видна как узкий серп. В это время Земля ярко освещает лунную поверхность.

§ 36. ЗАТМЕНИЯ СОЛНЦА И ЛУНЫ

1. Причины затмений. Если бы плоскость лунной орбиты совпадала с плоскостью эклиптики, то ежемесячно происходили бы затмения Солнца и Луны. В каждое новолуние Луна оказывалась бы как раз на прямой линии между Землей и Солнцем и загораживала бы его своим непрозрачным телом. Вследствие этого всякий раз наблюдалось бы явление, которое мы называем *солнечным затмением*. Совершенно так же в каждое полнолуние Луна попадала бы в тень, отбрасываемую Землей в сторону, противоположную Солнцу, то есть происходило бы лунное затмение (рис. 63). Но лунная орбита наклонена к эклиптике, поэтому в новолуние и в полнолуние Луна чаще всего проходит выше или ниже эклиптики и затмений не происходит (рис. 64).

Затмения наступают только тогда, когда новолуние или полнолуние случается вблизи одного из двух узлов лунной орбиты, то есть вблизи точек пересечения лунной орбиты с плоскостью эклип-

Рис. 63. Схема затмений Луны и Солнца.



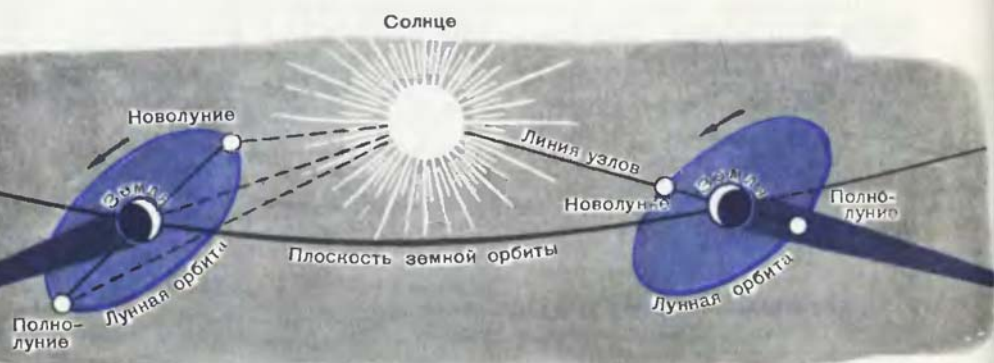


Рис. 64. Орбита Луны и ее узлы.

тики (рис. 64). Иными словами, Солнце и Луна должны одновременно находиться вблизи узлов лунной орбиты.

Так как этих узлов два, а Солнце проходит полный круг по эллиптике в течение года, то ежегодно бывают два периода (разделенных промежутком в полгода), когда могут происходить затмения. Местоположение узлов лунной орбиты постепенно меняется, поэтому время наступления затмений ежегодно смещается на более ранние даты. Более точное рассмотрение вопроса показывает, что ежегодно должно происходить не менее двух и не более пяти солнечных затмений. С другой стороны, в году не может быть более трех лунных затмений, но их может и не быть вовсе. Чаще всего в году бывает два солнечных и два лунных затмения.

Но иногда бывают годы, когда происходит семь затмений. И еще в древности было замечено, что по истечении восемнадцати лет десяти дней затмения повторяются. Так, например, если в каком-то году было семь затмений (которые все в одном и том же месте Земли, конечно, не были видны), то через восемнадцать лет опять наступит год, в котором произойдет семь затмений. При этом каждое из них будет на 10 дней позднее, чем это было восемнадцать лет назад.

2. Л у н н ы е з а т м е н и я. Земля отбрасывает тень в форме конуса в сторону, противоположную Солнцу. Если полнолуние происходит достаточно близко от узла лунной орбиты, то Луна при этой фазе частично или полностью погружается в земную тень, почему и происходит лунное затмение — частное или полное.

Лунное затмение бывает видимо одновременно на всем полушарии Земли, обращенном во время затмения к Луне.

Так как диаметр тени Земли на расстоянии Луны примерно в 2,5 раза больше диаметра Луны, то полное лунное затмение может

длиться до 1 ч 04 мин, а все затмение от начала до конца — свыше трех часов.

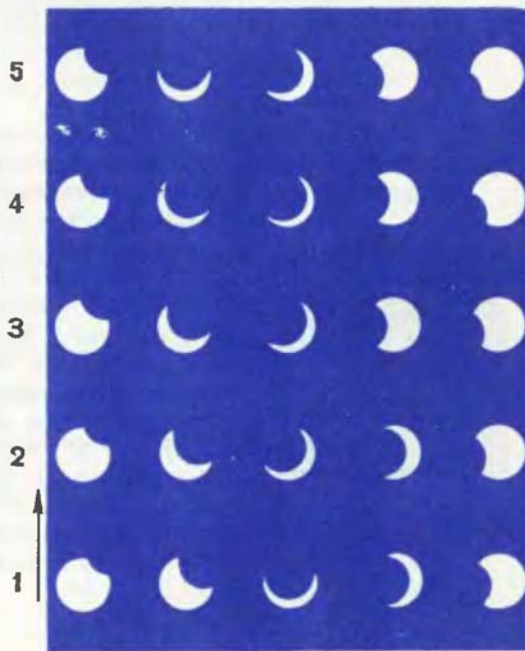
Во время затмений Луна обычно не исчезает совершенно, а видна, хотя и слабо. При этом она приобретает красновато-бурый цвет. Красный цвет Луны во время затмения бывает причиной суеверных толкований, будто это явление предвещает войну или другие ужасные события. Красный цвет Луны при затмении объясняется тем, что солнечные лучи, преломляясь в атмосфере, окружающей Землю, попадают внутрь конуса земной тени. Однако из всех цветов радуги, составляющих белый солнечный свет, атмосфера сильно задерживает голубые и соседние с ними лучи (вспомните спектр), а пропускает внутрь этого конуса преимущественно красные лучи, которые она поглощает слабее. Эти лучи и освещают Луну во время затмения.

3. Солнечные затмения. Луна меньше Земли, поэтому поперечник отбрасываемого Луной конуса тени и подавно меньше поперечника Земли. Тень Луны не может одновременно покрывать не только всю Землю, но даже и значительную ее часть. Поэтому полное затмение Солнца наблюдается только внутри того сравнительно небольшого пятна, которое лунная тень образует на поверхности Земли. Это теневое пятно обычно не достигает даже 300 км в диаметре, чаще всего бывая гораздо меньше. Вне этого пятна в области, куда падает лунная полутень радиусом до 400 км, наблюдается частное затмение, то есть Луной закрывается только часть солнечного диска (рис. 65). В остальных местах Земли, вне тени и полутени, затмения Солнца не происходит.

Так как Земля вращается вокруг оси, а Луна движется вокруг Земли, тень Луны перемещается по поверхности Земли и полное солнечное затмение наблюдается последовательно в разных местах в различных местах земной поверхности.

Вследствие эллиптичности лунной и земной орбит видимый угловой диаметр Луны бывает то больше, то меньше солнечного, то равен ему. В первом случае полное затмение Солнца длится некоторое время (не свыше 7 мин 30 сек), в третьем —

Рис. 65. Последовательность фаз частного затмения Солнца (снизу вверх из ряда в ряд).



только одно мгновение, а во втором случае Луна вообще не закрывает Солнца целиком, оставляя видимым яркое кольцо вокруг темного диска Луны — происходит кольцеобразное затмение (рис. 66).

Солнечное затмение протекает так. Сперва на западном (правом) крае диска Солнца появляется маленькая черная выемка. Постепенно она растет, и Солнце все больше и больше закрывается Луной. Так проходит около часа.

До наступления полного затмения солнечный свет ослабевает постепенно, а потому и не очень заметно. С наступлением полного затмения картина сразу меняется: становится довольно темно и на небе становятся видны наиболее яркие звезды и планеты. Вокруг Солнца в телескоп видны яркие выступы из солнечной атмосферы (протуберанцы) в виде небольших розоватых язычков. Вокруг затмившегося Солнца вспыхивает сияние — солнечная корона, представляющая собой наружные части солнечной атмосферы. После окончания полного затмения из-за правого края Луны появляется узкий солнечный серпик, испускающий яркий свет, и сразу исчезают корона, протуберанцы и звезды. Серпик постепенно растет, и Луна сходит с солнечного диска приблизительно в течение одного часа.

Полные затмения Солнца наблюдаются в каком-либо пункте в среднем один раз приблизительно в 300 лет. В СССР полное затмение Солнца во многих областях в последний раз было видимо в 1961 г. Следующее полное затмение Солнца, хорошо видимое во многих областях СССР, произойдет только в XXI в.

Во время затмений удастся наблюдать такие явления, какие в другое время увидеть невозможно. Поэтому для наблюдения их в полосу полного затмения (рис. 67) снаряжаются специальные экспедиции.

Примерная картина полного солнечного затмения показана на странице 112.

Было время, когда люди очень боялись затмений, считая их дурным предзнаменованием и выражением божьего гнева. Такие суеверия поддерживались служителями культа.

Зная теорию движения Луны, ученые заранее с точностью до десятой доли секунды вычисляют время наступления каждого затмения. Небольшие отклонения в наступлении фаз затмения от вычислений ведут к дальнейшему уточнению теории движения Луны. Моменты затмений и условия их видимости сообщаются на каждый год в школьном астрономическом календаре.

Даты и условия видимости затмений вычислены учеными на много лет вперед и назад. Последнее необходимо и для определения времени исторических событий, совпавших с датой какого-либо затмения.



Рис. 66. Кольцеобразное затмение Солнца.

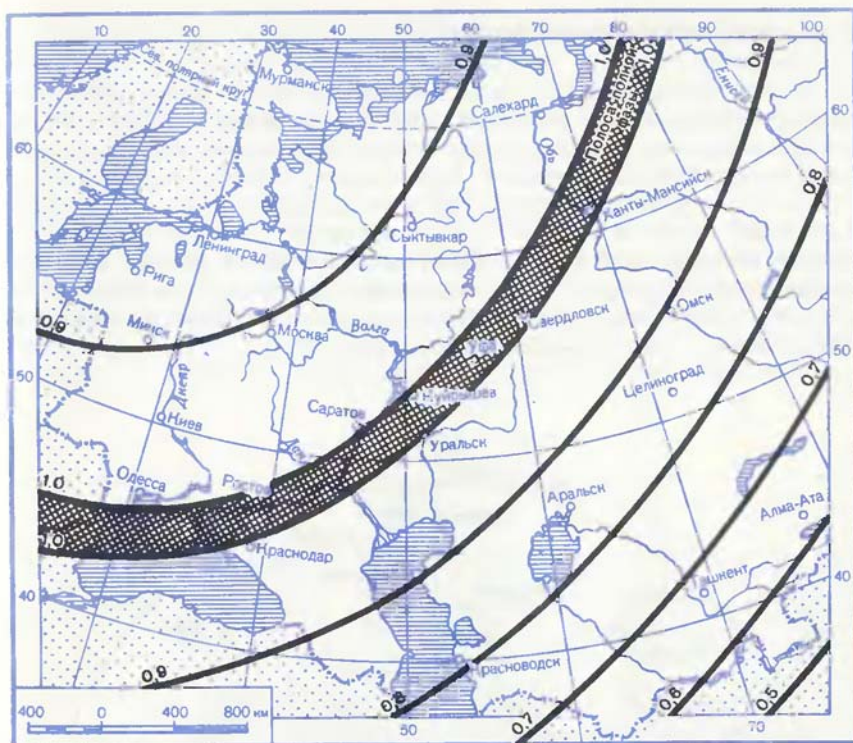


Рис. 67. Карта условий видимости солнечного затмения 15 февраля 1961 г. Заштрихована полоса, где затмение наблюдалось как полное. Параллельные ей линии соединяют места, где затмение наблюдалось как частное с указанной фазой.

Упражнение 8.

1. Луна в фазе первой четверти видна у горизонта. Который час (приблизительно)? В какой стороне горизонта находится Луна?
2. Сегодня Луна взошла в полночь. Когда приблизительно она взойдет завтра?
3. Луна около полнолуния. Какой в это время кажется Земля при наблюдении ее с Луны?
4. Серп Луны обращен выпуклостью направо и находится у горизонта. В какую сторону горизонта вы смотрите?
5. Вчера было полнолуние. Может ли быть через неделю затмение Солнца?
6. Послезавтра будет солнечное затмение. Будет ли сегодня «лунная ночь»?
7. Почему лунные затмения могут быть невидимы в данной местности?
8. Можно ли с Северного полюса Земли наблюдать солнечное затмение 15 ноября?
9. Можно ли с Северного полюса Земли наблюдать лунные затмения, происходящие в июне и в ноябре?

§ 37. ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ЛУНЫ

1. Вращение Луны вокруг оси. Луна всегда обращена к Земле одной стороной. На первый взгляд представляется, что если это так, значит, она не вращается вокруг оси. Нетрудно понять ошибочность такого заключения: обходя какой-нибудь предмет (например, стул) кругом и не вращаясь при этом, то есть глядя все время в одну сторону, например на классную доску, мы последовательно будем обращать к предмету разные стороны своего тела. Наоборот, чтобы все время видеть стул, надо во время оборота вокруг него поворачиваться относительно окружающей обстановки, то есть вращаться вокруг оси.



Рис. 68. Карта обращенного к Земле полушария Луны.

Период вращения Луны вокруг оси равняется периоду ее обращения вокруг Земли. Вращаясь вокруг оси, Луна попеременно обращает к Солнцу разные свои стороны. Следовательно, на Луне происходит смена дня и ночи, но солнечные сутки на Луне равны периоду смены лунных фаз, то есть синодическому месяцу (иначе — обороту Луны относительно Солнца). Таким образом, день на Луне длится почти 15 земных суток; столько же длится ночь.

2. Строение лунной поверхности. Невооруженным глазом на диске Луны видны темные пятна, которые в XVII в. были названы «морями» (рис. 68). Это название сохранилось и до настоящего времени, хотя уже давно установлено, что на Луне воды нет. Лунные «морья» представляют собой низменные области, которые по сравнению с возвышенными областями,

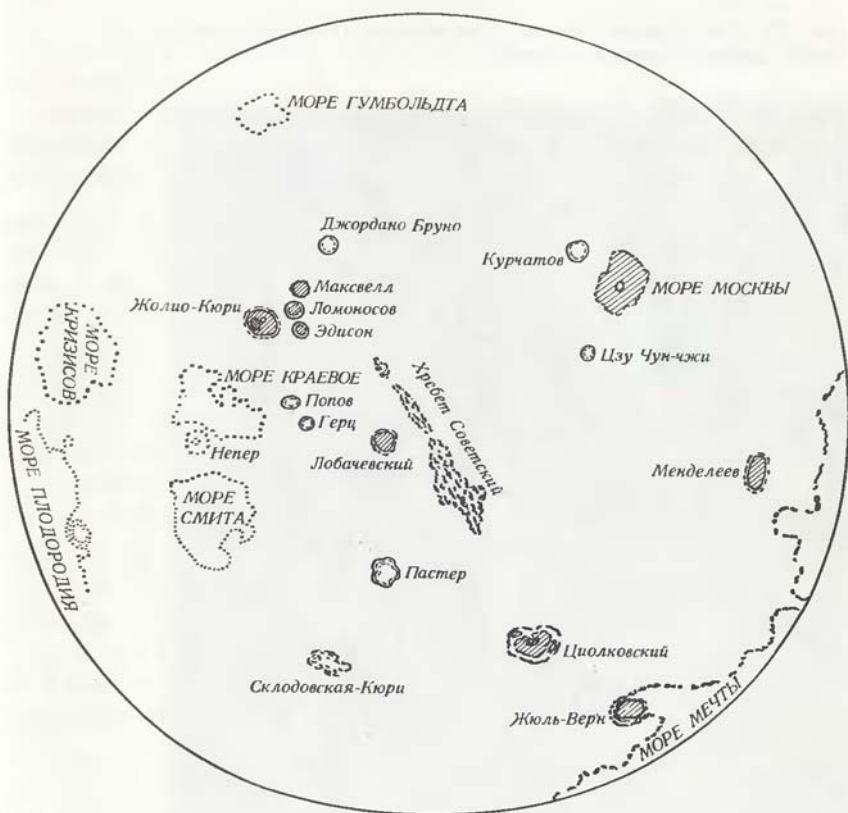


Рис. 69. Карта обратной стороны Луны, составленная по снимкам с третьей советской космической ракеты.

покрытыми многочисленными неровностями, отражают меньше света и кажутся более темными (рис. 70).

В телескоп бросается в глаза, что поверхность Луны крайне неровная, изборождена горами и горными цепями и как бы изрыта круглыми углублениями всевозможных размеров. На краях лунного диска они кажутся продолговатыми, но это — следствие перспективы: мы смотрим на них не сверху, а сбоку. Это кольцеобразные горы. Благодаря некоторому сходству их с кратерами земных вулканов им было дано название кратеров. Более крупные из них называют *цирками* за их круглую форму. Диаметры некоторых цирков превышают 200 км. Дно цирков довольно ровное, но горные валы, окружающие эти равнины в виде колец, имеют очень сложное строение. Высота горных валов достигает нескольких километров.

Рис. 70. Фотография участка лунной поверхности в области Моря Дождей (темная впадина).



В 1959 г. третья советская космическая ракета впервые сфотографировала невидимое с Земли полушарие Луны. По этим фотографиям советские ученые составили карту этого полушария Луны. Природа его в общем сходна с природой уже известного нам полушария, но впадин — «морей» — на нем гораздо меньше. Среди названий, данных советскими учеными обнаруженным здесь образованиям, мы встречаем *море Москвы, кратеры Циолковского и Ломоносова, хребт Советский*.

В 1965 г. советская автоматическая станция «Зонд-3» досняла обратную сторону Луны с очень хорошей четкостью; американские станции засняли части видимого полушария Луны с близкого расстояния.

Лунные цирки и кратеры не сходны с кратерами земных вулканов. Соотношения высоты горы и размера самого кратерного углубления у тех и других совершенно различны (рис. 71).

В то время как кратеры земных вулканов представляют собой небольшие по диаметру воронкообразные углубления в конусовидных горах, лунные цирки имеют очень небольшую глубину в сравнении с их диаметрами и своей формой напоминают скорее мелкие тарелки.

Крупные цирки и кратеры Луны имеют вулканическое происхождение, а мелкие образованы ударами метеоритов.

Освещаемые Солнцем горы, особенно лежащие на лунном диске у границы дневного и ночного полушария Луны, отбрасывают тени, по длине которых можно определить высоту гор. В полнолуние земные наблюдатели смотрят на Луну с той же стороны, с которой на нее светит Солнце; поэтому тени у лунных гор в полнолуние не наблюдаются, что мешает изучать в это время в телескоп рельеф лунной поверхности.

В некоторых местах на поверхности Луны видны громадные горные цепи и длинные трещины, пронизывающие ее кору.

При наблюдениях Луны в полнолуние выделяются светлые лучи, радиально расходящиеся от некоторых лунных цирков. Самые длинные лучи идут от цирка Тихо (в южном полушарии Луны).

3. Физические условия на Луне очень своеобразны и резко отличны от земных. Сила тяжести на Луне в шесть раз меньше, чем на Земле. Это обстоятельство послужило причиной того, что Луна не могла удержать частицы газов и водяного пара, составлявших когда-то ее атмосферу. Поэтому Луна практически лишена атмосферы и в ее «морях» нет ни капли воды.



Рис. 71. Сравнение профилей лунных цирков и земных вулканов.

Отсутствие на Луне атмосферы доказывается несколькими явлениями. Одно из них заключается в том, что, когда Луна закрывает звезды, они, приближаясь к лунному краю, гаснут не постепенно, а скрываются за Луной сразу. Если бы на Луне была атмосфера, звезды гасли бы постепенно: по мере приближения к краю Луны свет ослабевал бы вследствие поглощения лунной атмосферой. Затем, граница дня и ночи на Луне очень резкая, а не размытая, как было бы, если бы на этой границе существовали сумерки, вызываемые рассеянием солнечного света в верхних слоях атмосферы.

Отсутствие у Луны атмосферы вызывает следующие явления: тени лунных гор черные и резкие; на Луне нет ни зари, ни сумерек и никаких явлений погоды; небо там кажется совершенно черным, и на нем можно одновременно видеть Солнце, Землю и звезды. На Луне никогда не бывает дождя, и мы никогда не видим над ее поверхностью облаков или тумана.

Отсутствие атмосферы, смягчающей колебания температуры, и большая продолжительность дня и ночи вызывает на Луне резкие смены жары и холода. В течение 354-часового лунного дня поверхность Луны накаляется до $+120^{\circ}$, затем в течение 354-часовой ночи охлаждается до -160° . Нет никакого основания предполагать, что физические условия на невидимой нами стороне Луны заметно отличаются от условий на обращенном к нам ее полушарии. При существующих на Луне условиях органическая жизнь там невозможна.

ПЛАНЕТЫ И СПУТНИКИ

§ 38. ОБЩИЙ ОБЗОР СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

В солнечную систему, кроме Солнца, входят обращающиеся вокруг него малые и большие планеты с их спутниками, кометы и бесчисленные мелкие метеорные тела.

По расстоянию от Солнца большие планеты расположены в следующем порядке: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун и Плутон. Меркурий почти в три раза ближе к Солнцу, чем Земля, а Плутон в 40 раз дальше от него, чем Земля (рис. 72). Самая маленькая из этих планет — Меркурий, а самая большая — Юпитер. Сравнительные размеры планет и Солнца показаны на рисунке 73.

Между орбитами Марса и Юпитера вокруг Солнца обращается множество малых планет — *астероидов*. Каждый год астрономы открывают новые астероиды; сейчас их известно уже более полутора тысяч.

Все большие планеты и подавляющее большинство малых обращаются вокруг Солнца по орбитам, мало отличающимся от окружностей. Большинство же комет и метеорных тел обращается

вокруг Солнца по вытянутым эллипсам. В афелии многие из них уходят от Солнца далеко за орбиту Плутона. Поэтому принятие за размер солнечной системы диаметра орбиты Плутона (80 астрономических единиц) является условным.

Большие планеты делят на две группы: планеты типа Земли и планеты-гиганты. Планеты типа Земли — это Меркурий, Венера, Земля и Марс. Все они значительно меньше планет-гигантов, их средняя плотность значительно больше плотности воды; они окружены сравнительно разреженными атмосферами и близки к Солнцу. Спутников у них мало или нет совсем. Возможно, что и Плутон, далекий от Солнца и еще мало изученный, принадлежит к планетам типа Земли.

Планеты-гиганты — Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун — очень далеки от Солнца. Все они имеют среднюю плотность, близкую к плотности воды, окружены толстыми облачными атмосферами, совершенно скрывающими от нас их поверхность, быстро вращаются вокруг оси и имеют много спутников. Атмосферы планет тем

Рис. 72. План солнечной системы.

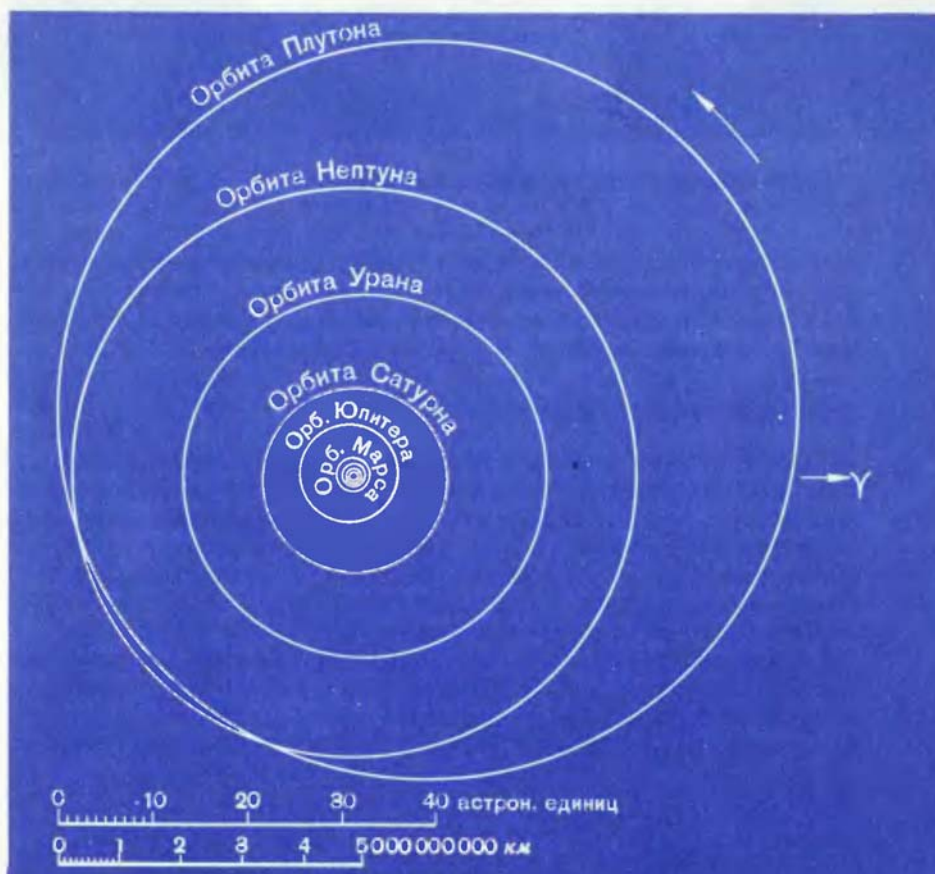




Рис. 73. Сравнительные размеры Солнца и планет.

плотнее, чем больше сила тяжести, удерживающая газы от рассеивания в мировое пространство.

Подробнее числовые данные о планетах приведены в приложении VI в конце книги.

§ 39. МЕРКУРИЙ И ВЕНЕРА

Орбиты этих планет лежат внутри орбиты Земли, и потому их, особенно Меркурий, нельзя видеть вдали от Солнца. По этой же причине они меняют вид (фазы), подобно Луне. Все это затрудняет их изучение (см. § 26, 28 и рис. 22). Поэтому о Меркурии и Венере мы знаем сравнительно мало. Очень интересно следить в телескоп, хотя бы небольшой, за тем, как меняется вид Венеры по мере ее перемещения относительно Солнца.

Меркурий обращен к Солнцу всегда одной и той же стороной. Поэтому, а также вследствие близости к Солнцу, на обращенном к нему полушарии Меркурия температура выше, чем температура плавления свинца (327°). Здесь вечный день. На противополо-

ложном полушарии Меркурия царит вечная ночь. Атмосфера у Меркурия крайне разреженная.

Венера почти такого же размера, как Земля. Существование у Венеры плотной атмосферы было открыто в 1761 г. М. В. Ломоносовым. Открытие атмосферы у планеты явилось важным подтверждением сходства планет с Землей и дало научное обоснование гипотезе о возможности жизни не только на Земле, но и на других планетах.

Атмосфера Венеры заполнена сплошными белыми облаками, скрывающими ее поверхность. Вот почему вид этой поверхности неизвестен. Период вращения Венеры, определявшийся при помощи радиометодов, оказывается равным (по отношению к звездам) 225 земным суткам, причем ее вращение обратное. Поэтому солнечные сутки на Венере составляют около 84 земных суток.

В атмосфере Венеры много углекислого газа, имеются и водяные пары, а наличие кислорода подвергается сомнению. Возможность жизни на Венере, где гораздо жарче (около $+300^{\circ}\text{C}$), чем на Земле, маловероятна. Расстояние до Венеры, определенное астрономически, было подтверждено измерением времени, за которое радиосигнал дошел до Венеры и отразился от нее обратно к Земле. Передача радиосигнала на такое далекое расстояние — величайшее достижение науки и техники.

§ 40. МАРС И ВОЗМОЖНОСТЬ ЖИЗНИ НА ДРУГИХ ПЛАНЕТАХ

После Венеры из больших планет Марс ближе всего подходит к Земле. Это бывает при его противостоянии, повторяющемся через каждые 780 суток. Так как расстояния Земли и Марса от Солнца несколько меняются при их движении по эллиптическим орбитам, каждые 15—17 лет повторяются так называемые «великие противостояния» (например, 1956, 1971 гг.), когда Марс сближается с Землей на наименьшее расстояние, в 56 млн. км. Это почти втрое меньше расстояния от Земли до Солнца. Вблизи времени противостояния, особенно великого, Марс можно изучать с наибольшим удобством.

Марс больше Меркурия, но примерно вдвое меньше Земли (по диаметру). У Марса есть два крошечных спутника, из которых больший имеет в диаметре около 15 км.

По темным пятнам, видимым на Марсе, установлено, что период его вращения вокруг оси (его солнечные сутки) составляет 24 ч 40 мин. Значит, смена дня и ночи там происходит почти так же, как на Земле. Ось вращения Марса наклонена к плоскости его орбиты почти так же, как ось Земли наклонена к плоскости земной орбиты. Поэтому на Марсе, как и на Земле, происходит смена времен года, которые длятся почти вдвое дольше, чем земные времена года, так как год Марса, то есть период его обращения вокруг Солнца, почти

вдвое больше земного года. Сходство природы Марса с земной природой дополняется тем, что он тоже окружен атмосферой. Находясь от Солнца лишь в 1,5 раза дальше Земли, Марс получает солнечного тепла и света в 2,25 раза меньше, чем Земля. Атмосфера Марса гораздо разреженнее земного воздуха над вершинами высочайших гор. Ввиду всего этого климат Марса гораздо суровее земного. В самых жарких местах Марса температура, по-видимому, не поднимается выше 25° тепла и уже к заходу Солнца падает намного ниже нуля, а к утру доходит до минус 40° . Хотя в атмосфере Марса изредка наблюдаются облака и туманы, воды и водяных паров, а также кислорода, необходимого для дыхания земных животных, там меньше 0,1% от их содержания в атмосфере Земли.

В телескоп на Марсе лучше всего видны белые пятна, покрывающие полюсы Марса (рис. 75). Эти «полярные шапки» растут в размерах, когда на соответствующем полушарии Марса наступает зима, но дробятся по краям и уменьшаются весной (рис. 74). По всем признакам они являются слоем инея или тонкой ледяной корочкой, над которой стоит туман. Несомненно, что воды на Марсе крайне мало. Большая часть поверхности Марса имеет оранжевый цвет, отчего для невооруженного глаза Марс кажется красноватым. Эта почти ровная поверхность является, по-видимому, песчаной пустыней. Иногда на Марсе наблюдаются длительные пылевые бури — поверхность Марса заволакивается желтой пеленой.

Составлены карты темных пятен на поверхности Марса. Замечательно периодическое изменение окраски этих темных пятен. Осенью и зимой они приобретают бурый оттенок.

Доказательства в пользу того, что темные пятна на Марсе — изменности, покрытые растительностью, которая меняет свою окраску со сменой времен года, по мере развития науки теряют свою убедительность. Поскольку для земных растений климат Марса был бы непереносимо суров и поскольку некоторые свойства зеленых пятен на Марсе не похожи на свойства наиболее распространенных земных растений, развитой растительности на Марсе быть не может.

Дальнейшее изучение Марса окончательно разрешит этот научный спор. Будущие исследования выяснят природу и так называемых каналов Марса. Каналами называли

Рис. 74. Вид Марса в телескоп
(вверху — белая полярная шапка)



едва видимые тонкие, длинные и ровные темные линии, перерезывающие поверхность Марса. Некоторые ученые в прошлом считали, что, поскольку каналы кажутся поразительно правильными образованиями, им можно приписать искусственное происхождение.

В настоящее время крупнейшие из каналов сфотографированы. Исследование этих фотографий и наблюдения в крупнейшие телескопы показали, что каналы — естественные образования — может быть, подобие канав, окаймленных растительностью, которым глаз, как и всяким плохо видимым деталям, невольно приписывает правильную форму.

В 1965 г. американская автоматическая станция сфотографировала участки поверхности Марса с близкого расстояния. Оказалось, что на Марсе много кратеров таких же, как на Луне.

По данным науки, жизнь (по крайней мере в сколько-нибудь развитой форме) на планетах, более далеких от Солнца, чем Марс, невозможна. Независимо от того, будет ли доказано существование жизни на Венере и на Марсе, материалистическая философия утверждает, что жизнь возникает с неизбежностью на всякой планете, когда на ней в процессе развития наступают условия, благоприятные для возникновения жизни. Жизнь есть высшая форма развития материи. Для своего возникновения и развития она требует определенных условий, например наличия воды и известных границ температуры, чтобы белок не свертывался и был возможен обмен веществ. Для дыхания растений нужна углекислота, а для дыхания животных — кислород, который выделяют растения. В бесконечной Вселенной бесконечно много звезд, то есть солнц, вокруг которых должны обращаться планеты. На множестве планет среди бесчисленного их количества во Вселенной рано или поздно должны возникать условия, при которых, как и на Земле, появляется и развивается жизнь.

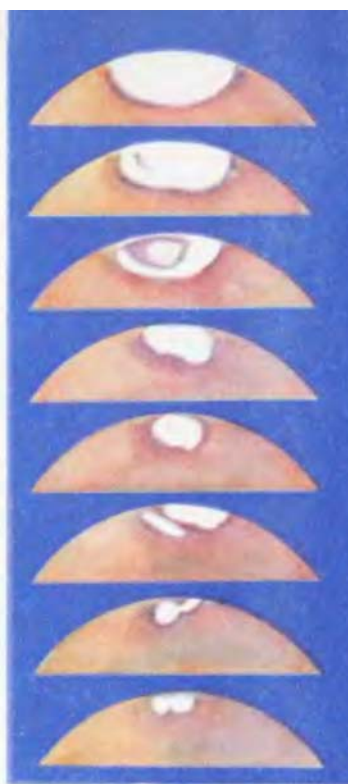


Рис. 75. Таяние полярной шапки Марса.

§ 41. ПЛАНЕТЫ-ГИГАНТЫ

Из четырех гигантских планет — Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун — наибольшим является Юпитер. Юпитер больше Земли по диаметру в 11 раз. За ним по размеру следует Сатурн. Планеты-

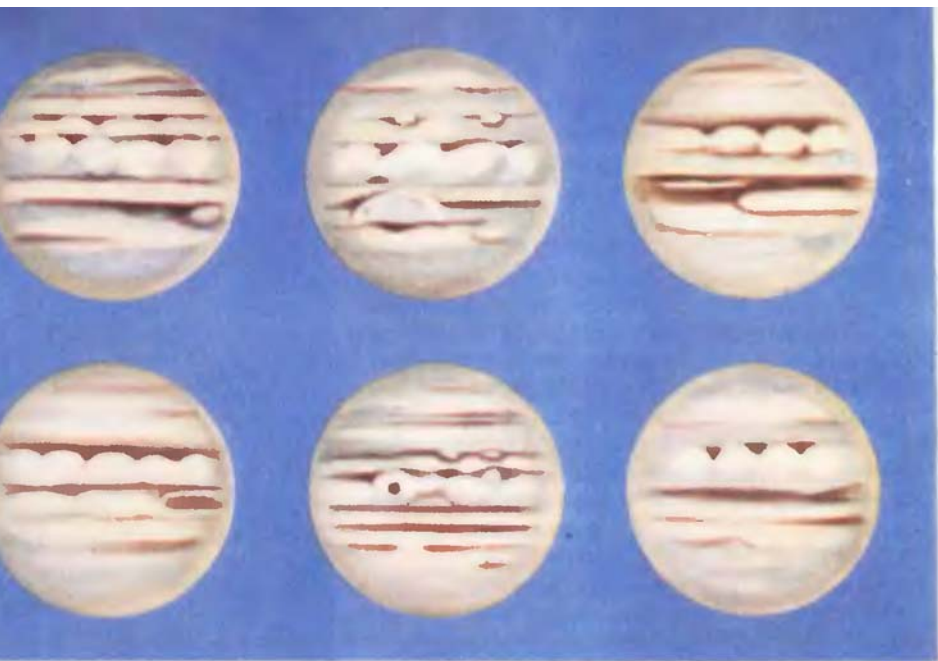


Рис. 76. Вид Юпитера в телескоп и изменения в облаках, его окутывающих.

гиганты быстро вращаются вокруг оси: наименьший период вращения у Юпитера — менее 10 ч, наибольший у Нептуна — около 16 ч. Однако видимые поверхности этих планет, образованные непрозрачными облаками в их обширных атмосферах, вращаются с разной угловой скоростью. Экваториальные области вращаются несколько быстрее, чем более далекие от экватора. (Твердое тело так вращаться не может: все его точки вращаются с одинаковой угловой скоростью.)

Быстрое вращение вызвало сжатие планет-гигантов вдоль оси вращения, гораздо более сильное, чем у Земли. В телескоп сжатие хорошо заметно у Юпитера и у Сатурна.

Ось вращения у разных планет различно наклонена к плоскости их орбит. У Юпитера ось почти перпендикулярна к его орбите, и потому на Юпитере нет смены времен года. У Сатурна наклон оси близок к наклону земной оси; у Урана ось вращения близка к плоскости его орбиты, и он вращается как бы «лежа на боку» (поэтому на нем происходит резкая смена времен года). Как выглядит скрытая облаками поверхность планет-гигантов — неизвестно. В их атмосферах видны только облачные полосы, растянувшиеся параллельно их экватору вследствие вращения планет. Атмосферы планет-гигантов состоят преимущественно из аммиака и метана. В состав этих газов входит водород. По расчетам, водород должен быть главной составной частью этих планет в целом, осо-

бенно Юпитера. Во внутренних областях планет вещество сжато до плотности, во много раз превышающей плотность воды. Поверхность планет-гигантов состоит, вероятно, из льда и замерзших газов, так как измерения температуры атмосфер дают для Юпитера 138° ниже нуля и еще меньше для планет, более далеких от Солнца.

Среднюю плотность планеты мы получаем, разделив ее массу на объем. Но видимый объем таких планет определяется объемом, заключенным внутри облачных слоев их крайне толстых атмосфер. Масса же планет заключена главным образом в их плотном сжатом ядре, лежащем под поверхностью льда. Поэтому-то мы и получаем для планет-гигантов средние плотности, близкие к плотности воды, отчего раньше ошибочно думали, что эти планеты жидкие (наименьшую среднюю плотность $\sim 0,7$ имеет Сатурн).

На самом же деле эти планеты, как было сказано выше, имеют плотное, тяжелое ядро с твердой замерзшей поверхностью, окру-

Рис. 77. Различное расположение спутников Юпитера.

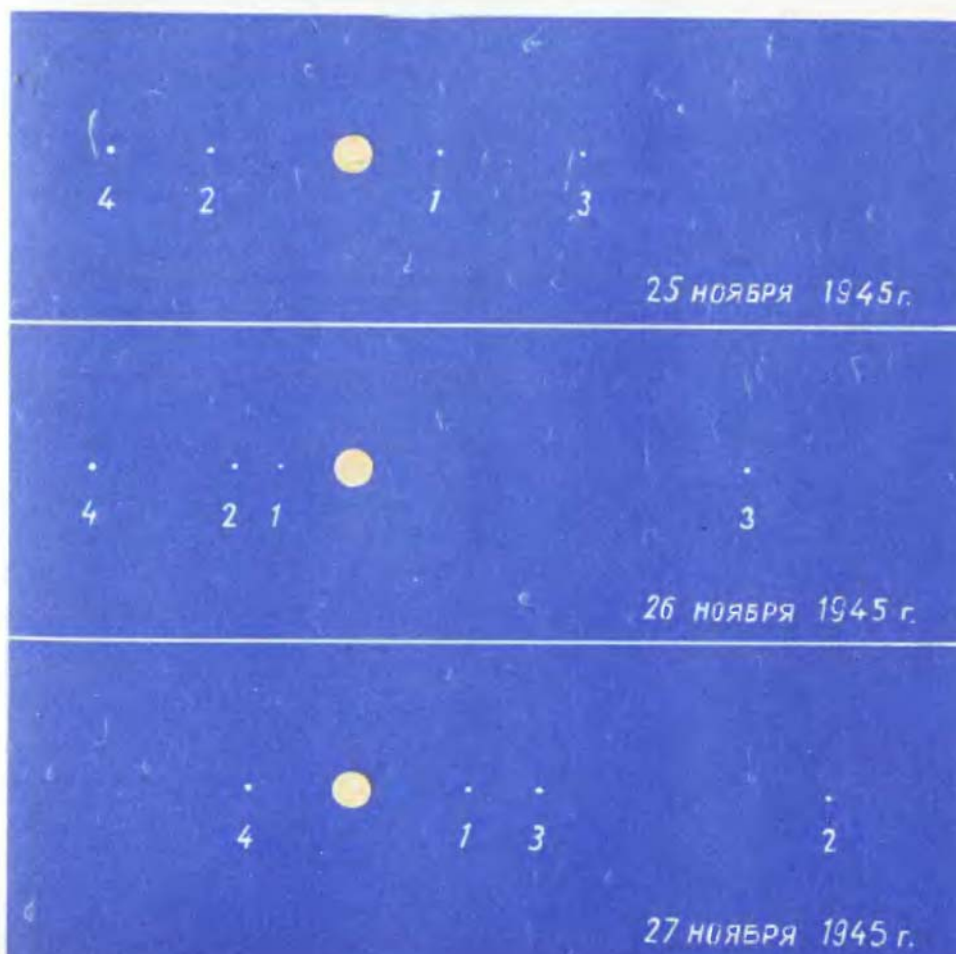




Рис. 78. Вид Сатурна в телескоп.

В небольшой телескоп на Юпитере видны полосы облаков (рис. 76). На других планетах полосы видны хуже.

Сатурн — единственная планета в солнечной системе, обладающая замечательной особенностью — кольцом (рис. 78). Это кольцо очень тонкое (толщина его около 15 км) и располагается в плоскости экватора планеты. Кольцо Сатурна видно только в телескоп. При изменении взаимного расположения Земли и Сатурна с его кольцом вид последнего меняется (рис. 79). Кольцо, когда оно повернуто к нам ребром, видно только в сильнейшие телескопы.

Рис. 79. Изменения вида кольца Сатурна.



Русский астроном А. А. Белопольский в 1895 г. доказал, что кольцо Сатурна не сплошное, а состоит из множества частиц, обращающихся вокруг Сатурна независимо друг от друга по законам Кеплера, наподобие маленьких спутников. Они так близки друг к другу, что издали сливаются в одну светящуюся поверхность. Между их орбитами в некоторых местах есть более широкие промежутки, отчего получается как бы ряд concentрических колец.

У Юпитера известно 12 спутников, у Сатурна — 9, у Урана — 5 и у Нептуна — 2. Некоторые из них обращаются вокруг своих планет в сторону, противоположную той, в которую планеты вращаются вокруг своей оси. Четыре главных спутника Юпитера, открытые еще Галилеем, хорошо видны даже в небольшой телескоп. Интересно следить за обращением вокруг Юпитера этих спутников, которые вследствие своего обращения по-разному располагаются вблизи него, как показывает рисунок 77. Главный спутник Сатурна *Титан* и первый спутник Нептуна *Тритон*, в отличие от других спутников планет, имеют атмосферу того же состава, что и планеты-гиганты.

женной слои замерзших газов и весьма обширной и сравнительно плотной непрозрачной атмосферой.

Очень низкая температура атмосфер планет-гигантов показывает, что тепло они почти целиком получают от Солнца, от которого находятся очень далеко, а из их недр к поверхности тепло почти не доходит.

§ 42. МАЛЫЕ ПЛАНЕТЫ — АСТЕРОИДЫ

Самая большая из малых планет — Церера (открыта в 1801 г.) — имеет диаметр около 800 км; остальные меньше: диаметр большинства несколько километров. Такую маленькую планету можно было бы поместить на территории большого парка (рис. 81). Невооруженным глазом малые планеты найти на небе нельзя. Так как сила притяжения у астероидов мала, то атмосфер у них нет.

Орбиты большинства астероидов расположены между орбитами Марса и Юпитера. Однако орбиты некоторых астероидов очень вытянуты, и такие астероиды, обращаясь вокруг Солнца, пересекают орбиту Марса, подходя к Земле ближе, чем Марс (рис. 80). Орбиты некоторых астероидов пересекают даже орбиты Земли, Венеры и Меркурия.

В настоящее время известно уже более 1600 астероидов, и ежегодно обнаруживают новые, более мелкие астероиды.

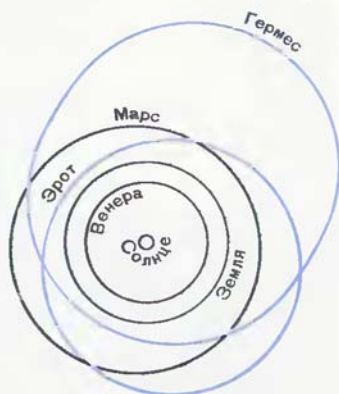


Рис. 80. Орбиты малых планет Эроса и Гермеса.

Рис. 81. Размеры одного из наименьших астероидов.



КОМЕТЫ, МЕТЕОРЫ, МЕТЕОРИТЫ

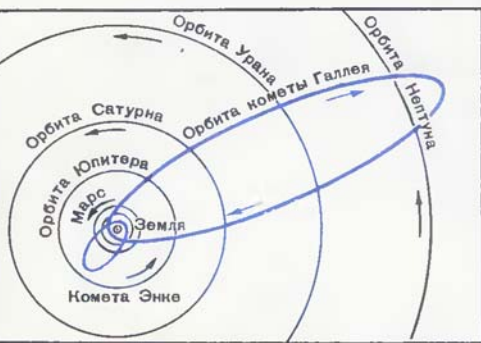
§ 43. КОМЕТЫ, ИХ ДВИЖЕНИЕ И ПРИРОДА

Слово «комета» в переводе с древнегреческого означает «косматая звезда». Слабые кометы, часто различимые лишь в телескоп, имеют вид круглого или продолговатого светящегося туманного



Рис. 82. Фотография слабой кометы. При фотографировании фотокамера следовала за кометой, поэтому изображения звезд растянулись в светлые линии

Рис. 83. Орбиты комет Галлея и Энке.



пятнышка, в котором заметно более яркое сгущение, называемое *ядром* кометы (рис. 82). Так выглядят все кометы, когда они находятся далеко от Солнца. С приближением к Солнцу комета становится ярче, ее туманная оболочка вытягивается в сторону, противоположную Солнцу, иногда образуя светлую полосу — *хвост*. В таком случае туманная оболочка вокруг ядра называется *головой* кометы. Яркие кометы хорошо видны невооруженным глазом. Хвост больших комет в виде светлой прямой или изогнутой полосы растягивается почти на половину небосвода.

С древнейших времен внезапное появление на небе кометы с хвостом внушало невежественным людям суеверный страх. Они считали появление кометы предзнаменованием войны, эпидемии или других бедствий. Религиозные люди называли кометы «вестниками божьего гнева». Астрономия выяснила физическую природу комет и законы их движения, не оставив места суевериям, связанным с их появлением.

Кометы являются членами солнечной системы. Они обращаются вокруг Солнца по очень вытянутым эллипсам. Периоды их обращения вокруг Солнца различны — от нескольких лет до десятка тысяч лет и даже

больше. Вдали от Земли и от Солнца комета для нас невидима и, лишь приближаясь к ним, становится доступной для наблюдения. Периодическое возвращение к Солнцу и к Земле одной кометы впервые обнаружил английский ученый Галлей в XVII в. Он установил, что эта комета движется, подобно планетам, по закону тяготения и приближается к Солнцу примерно через каждые 76 лет. Галлей вычислил путь этой кометы в пространстве и предсказал год ее следующего появления для земных наблюдателей. Его предсказание блестяще оправдалось, так как комета вернулась около указанного Галлеем срока. Эта комета получила название кометы Галлея. В последний раз ее видели в 1910 г.; в следующий раз она будет видна в 1985—1986 гг. (рис. 83).



Ф. А. Бредихин.

На фоне звездного неба кометы перемещаются постепенно изо дня в день, как планеты, и видны в течение нескольких недель или месяцев. Наблюдая постепенное перемещение каждой кометы на фоне звездного неба, астрономы вычисляют форму, размеры, положение орбиты в пространстве, а также период обращения кометы. На основании этого они предсказывают время следующего появления наблюдавшейся кометы и ее будущий видимый путь по небу. Те кометы, которые, имея длинный период обращения, в последний раз приближались к Земле и к Солнцу до начала научных наблюдений за кометами, появляются для нас неожиданно, но на будущее время их движение становится известным.

Афелии большинства комет с коротким периодом обращения расположены вблизи орбиты Юпитера, а афелии комет с очень длинными периодами лежат далеко за пределами орбиты Плутона. В перигелии же кометы, которые доступны наблюдению, огибают Солнце вблизи орбиты Земли, а иногда еще ближе к нему.

В настоящее время астрономы открывают и наблюдают ежегодно по нескольку комет, видимых преимущественно лишь в телескоп. Немало комет открыто советскими учеными.

Знаменитый русский ученый Ф. А. Бредихин исследовал форму кометных хвостов, всегда направленных прочь от Солнца. Он установил, что из ядра кометы все время выбрасываются мелкие частицы. На них действует сила отталкивания, направленная от Солнца, поэтому эти частицы удаляются от Солнца и от ядра,



Рис. 84. Хвост кометы растет с приближением ее к Солнцу и всегда направлен прочь от него.

ние света мало по сравнению с силой тяжести, но сравнимо с ней и даже больше силы тяжести для очень мелких частиц — мельчайших пылинок и газовых молекул, из которых состоят хвосты комет. В образовании газовых хвостов комет, несомненно, играют роль и электромагнитные силы, на что с гениальной прозорливостью указывал еще М. В. Ломоносов и что находит подтверждение в работах ученых последнего времени.

Изучение комет показало, что крупные твердые частицы находятся только в ядре кометы, где они, по-видимому, сцементированы замерзшими газами. Ядро кометы холодное и светит отраженным солнечным светом. По-видимому, оно все состоит из смеси замерзших газов и пылинок. Массы и диаметры кометных ядер меньше, чем массы и диаметры мелких астероидов. Под действием солнечного тепла из ядра выделяется разреженный газ, образующий оболочку, а если его много, то голову и хвост кометы. Иногда ядро выбрасывает из себя в хвост и мелкую пыль.

Хвост кометы иногда имеет длину, сравнимую с расстоянием от Земли до Солнца, а голова кометы часто больше Солнца, но и голова и хвост состоят из крайне разреженного вещества. Поэтому, если комета заденет Землю (что уже бывало), то никакой опасности для Земли это не представит, хотя в состав головы кометы входят пары углерода и циан, а в составе ее хвоста есть окись углерода (угарный газ). Благодаря значительной разреженности кометных газов их примесь к земной атмосфере неощутима. Холод-

образуя поток частиц, наблюдаемый нами в форме хвоста кометы (рис. 84). Бредихин доказал, что в хвостах почти прямой формы сила отталкивания превышает притяжение этих частиц к Солнцу в десятки раз и больше. В хвостах, изогнутых наподобие сабли, отталкивание и тяготение, действующие на частицы, выброшенные ядром, в среднем равны друг другу. Бредихин объяснил и многие другие явления, наблюдаемые в кометах.

Известный русский физик П. Н. Лебедев (1866—1912) указал, что, возможно, частицы кометного хвоста отталкиваются давлением солнечного света. Лебедев своими опытами доказал существование давления света. Для крупных тел давле-

ное (не тепловое) свечение газов в кометах целиком вызывается лучами Солнца.

Комет в солнечной системе множество — так же много, «как рыб в океане», — говорил Кеплер.

§ 44. МЕТЕОРЫ, ИЛИ «ПАДАЮЩИЕ ЗВЕЗДЫ», И ИХ СВЯЗЬ С КОМЕТАМИ

Явление «падающей звезды» — метеора — вызывает у некоторых людей разные суеверные представления. Наука установила, что явление «падающей звезды» вызывается падением песчинки или мелкого камешка, называемого метеорным телом, который влетает в атмосферу Земли из межпланетного пространства. Метеорные тела влетают со скоростями нескольких десятков километров в секунду. Воздух тормозит их движение. Энергия движения метеоров переходит в тепло. От нагревания и столкновения с молекулами воздуха песчинка нагревается и испаряется, оставляя за собой светящийся след. Это явление и создает иллюзию падающей звезды. Испаряются

Рис. 85. Дождь метеоров и перспективное схождение их путей к радианту.



метеоры преимущественно на высоте 80—170 км над поверхностью Земли.

Ежегодно в некоторые дни, например 10—12 августа, наблюдается много метеоров. В такие дни можно заметить, что метеоры вылетают из одного места неба, называемого *радиантом*. Радиант занимает определенное положение среди созвездий и участвует вместе с ними в суточном вращении звездного неба. Это доказывает, что метеоры прилетают из межпланетного пространства и движутся по параллельным направлениям.

Действительно, в кажущемся суточном вращении звездного неба не участвуют предметы, связанные с Землей. Расхождение видимых путей метеоров из одного места на небе — явление перспективное. Подобно этому, параллельные друг другу рельсы железной дороги вдали кажутся сливающимися, а вблизи — расходящимися (рис. 85).

Орбиты многих метеорных частиц в пространстве совпадают с орбитами некоторых комет. Еще яснее связь метеоров с кометами выяснилась из следующего.

В 1846 г. было замечено, что комета, открытая чешским любителем астрономии Бизлой, разделилась на две части, двигавшиеся друг за другом.

Подобный распад комет наблюдался и позднее. Но в 1872 г. части кометы Бизлы при их возвращении к Солнцу уже не удалось увидеть. По вычислениям, в ноябре ядро кометы должно было пройти близко от Земли или даже столкнуться с ней. В эти дни ноября 1872 г. наблюдался необычно обильный дождь метеоров. Орбиты этих метеорных тел оказались близкими к орбите распавшейся на части и затем исчезнувшей кометы. Стало ясно, что твердое ядро кометы распалось на рой песчинок, рассеявшихся по прежней орбите и столкнувшихся с Землей. Из этого видно, что если Земля и столкнется с самим ядром кометы (что случается крайне редко), то для Земли это не опасно: будет наблюдаться только дождь метеоров и, может быть, падение на Землю некоторых наиболее крупных кусков ядра. Кометы оказываются хрупкими и сравнительно недолговечными небесными телами.

§ 45. БОЛИДЫ И МЕТЕОРИТЫ

Иногда наблюдается полет по небу яркого огненного шара, оставляющего дымовой или огненный след. Такой летящий огненный шар называется *болидом*. Его не следует смешивать с медленно и низко летящей шаровой молнией. Суеверные люди принимали такие огненные шары за летающих «змиев» и драконов.

Болид вызывается вторжением из межпланетного пространства в земную атмосферу крупного камня, приходящего в состояние свечения по той же причине, что и маленькое метеорное тело. Однако такой камень не успевает испариться, так как он крупнее.

Очень часто полет болида заканчивается громоподобным ударом и выпадением на Землю *метеорита*. Метеоритом называется камень или кусок железа внеземного происхождения, упавший на Землю. Метеориты похожи на земные камни, но некоторые из них состоят из железа (рис. 86), другие — из смеси железной и каменной массы. Упавший с неба камень — метеорит — нередко связывали с религиозными суевериями. Например, один из метеоритов, называемый «черным камнем», объявлен священным для мусульман, и верующие ходят в Мекку ему поклоняться. Черная корочка на поверхности метеорита получается вследствие его оплавления при полете. При падении на Землю метеорита его тонкая корочка успевает охладиться, так как в конце пути вследствие торможения воздухом он уже теряет свою большую скорость.



Рис. 86. Железный метеорит Богуславка.

В нашей стране метеориты являются собственностью государства и подлежат передаче в научные учреждения, где созданы богатые коллекции метеоритов. Самые крупные из цельных метеоритов весят десятки тонн. Иногда метеориты в полете сильно дробятся и разлетаются на несколько кусков или даже выпадает каменный дождь.

Один из особенно крупных метеоритов, Тунгусский, упал в 1908 г. в сибирской тайге и при падении повалил лес на большом пространстве вокруг. Так как он летел с огромной скоростью, очень сильно сжимая перед собой воздух, то сильно раздробился и испарился, как бы взорвался. Поэтому значительных остатков его найти не удалось.

Другой метеорит (Сихотэ-Алинский) упал в 1947 г. на Дальнем Востоке. Он также раздробился при падении, но его осколки уцелели и более крупные из них сделали воронки, как от падения снарядов.

Изучение метеоритов показало, что в их состав входят химические элементы, известные на Земле. Метеориты являются, по видимому, осколками других небесных тел. Химический анализ их доказывает материальное единство Вселенной, опровергает религиозные вымыслы о различии Земли и неба. Метеориты — небесные камни — принципиально ничем не отличаются от ряда земных горных пород, ничего чудесного и противоестественного в них нет.

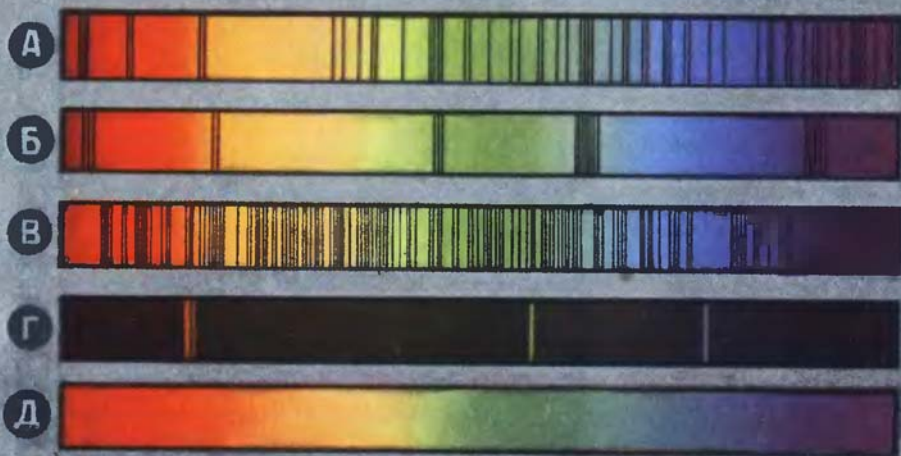


Рис. 87. Различные виды спектров:

А — спектр Солнца; Б — спектр Сириуса; В — спектр Орiona; Г — спектр водорода;
Д — сплошной спектр. В в е р х у — Солнце с пятнами и протуберанцами.

§ 46. СОЛНЦЕ. ВИД ЕГО В ТЕЛЕСКОП И ВРАЩЕНИЕ

Солнце — центральное тело в солнечной системе. Его масса больше массы всех планет, взятых вместе, в 750 раз и больше массы Земли в 332 тыс. раз. Его диаметр в 109 раз больше земного диаметра: внутри него могла бы поместиться вся орбита Луны (рис.73). Огромный солнечный шар кажется нам небольшим (его угловой диаметр $0,5^\circ$), так как он отстоит от нас почти на 150 000 000 км, что в сто с лишним раз больше диаметра Солнца.

Солнце — единственное самосветящееся небесное тело солнечной системы, источник тепла и света для всех планет, источник жизни на Земле. В самом деле, без солнечного тепла и света жизнь на Земле была бы невозможна. Кроме того, нагревание Солнцем воздуха и воды и превращение ее в пар обуславливает круговорот воды и воздуха на Земле. Течение рек, энергия которых используется на гидроэлектростанциях, дожди и другие подоб-

Рис. 88. Изменения в группе солнечных пятен за одни сутки.
Черный кружок изображает в том же масштабе земной шар.





ные явления происходят вследствие притока на Землю солнечной энергии. Большая часть солнечной энергии, минуя планеты, рассеивается в мировом пространстве. Каменный уголь (окаменевшие остатки растений) тоже хранит в себе запасы солнечной энергии, скрытой в недрах Земли, так как эти растения использовали солнечную энергию для своего роста. Наблюдения в телескоп и другие методы научного исследования позволили выяснить истинную природу Солнца, которое раньше обожествлялось невежественными людьми.

При наблюдении Солнца в телескоп необходимо спроектировать изображение Солнца на экран или же смотреть в окуляр через темное стекло, иначе можно испортить зрение.

В телескоп на Солнце часто можно видеть темные пятна, нередко расположенные группами (рис. 88). По их видимому перемещению по диску Солнца можно убедиться, что Солнце вращается вокруг своей оси, но не как твердое тело: чем дальше от экватора, тем больше период вращения. На экваторе Солнца один оборот по отношению к звездам совершается за 25 суток, а вблизи полюсов больше чем за 30 суток. Поскольку Земля движется по орбите в ту же сторону, в которую вращается Солнце, для земного наблюдателя периоды вращения разных зон Солнца представляются более длительными, например на экваторе 27 суток.

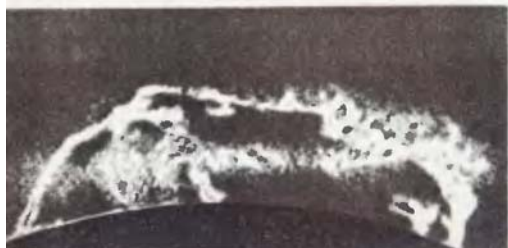
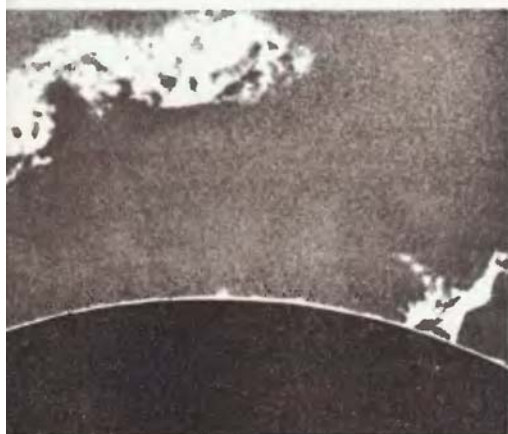
Из описанного характера вращения Солнца следует, что оно должно быть жидким или газообразным, а не твердым. Средняя плотность Солнца равна $1,4 \text{ г/см}^3$, что немногим больше плотности воды. Однако высокая температура поверхности Солнца (6000°) и данные спектрального анализа говорят о том, что Солнце состоит из газов. Высокая средняя плотность Солнца объясняется огромным сжатием солнечных недр, где, несмотря на высокую плотность, находится газ, а не твердое или жидкое вещество. Однако внешние слои Солнца разреженнее, чем воздух у поверхности Земли, а в центральных областях газы во много раз плотнее, чем вода. Изменение плотности и температуры внутри Солнца ученые установили теоретическими расчетами, применяя законы физики и зная из наблюдений условия на его поверхности, его массу и объем. Так, согласно расчетам, в недрах Солнца температура достигает 13 млн. градусов. Видимая поверхность Солнца называется фотосферой (от греческого слова *фотос*, что означает «свет»).

Фотосфера в телескоп кажется зернистой. Отдельные «зернышки» — гранулы, из которых состоит фотосфера Солнца, — являются облаками раскаленных газов. Гранулы все время возникают и распадаются. Темные пятна — более холодные участки солнечной поверхности. Их часто окружают светлые пятнышки, которые называют факелами за их сходство по форме с пламенем факела. Факелы лучше видны у краев Солнца.

Атмосфера Солнца при обычных условиях невидима, так как ее свечение слишком слабо по сравнению с фоном дневного неба, на который она проектируется. Во время солнечных затмений Луна загораживает яркую фотосферу, солнечные лучи больше не освещают воздух, фон неба темнеет и атмосфера Солнца, окружающая его, становится видима даже невооруженным глазом. При помощи особых приборов атмосферу Солнца за последнее время стало

возможно изучать и вне затмения (лучше всего с гор, где воздух чище и небо днем темнее).

Рис. 89. Изменение протуберанца за четыре часа (снизу вверх).



Атмосфера Солнца состоит из трех слоев, которые резко не разграничены. Самый близкий к фотосфере и самый плотный, но очень тонкий слой называется *хромосферой* (по-гречески *хромос* означает «цвет»). Хромосфера имеет красноватый оттенок. Третий, самый обширный и разреженный слой атмосферы Солнца называется солнечной короной. Он представляется нам в виде лучистого сияния с перламутровым оттенком. Время от времени из хромосферы выбрасываются вверх облака или фонтаны раскаленного газа, называемые протуберанцами (рис. 89). Выброшенные вверх газы протуберанца через некоторое время оседают вниз и часто лишь во время этого нисходящего движения приобретают яркое свечение. Некоторые протуберанцы поднимаются на высоту, большую, чем на радиус Солнца. В явлениях на Солнце большую роль играют вертикальные движения газов, в частности турбуленция, а также магнитные силы. Вследствие этого протуберанцы очень часто возникают как уплотнения вещества в солнечной короне и затем двигаются не вверх, а вниз к поверхности Солнца. Обращающий слой и хромосфера состоят из разрежен-

ного газа, более холодного, чем фотосфера (их температура составляет около 5000°). Поэтому хромосфера и обра- щающий слой поглощают из света фотосферы, проходящего через них, свет только с определенными длинами волн и вызывают появление в спектре Солнца темных линий. На краю Солнца, где за обра- щающим слоем и хромосферой нет источника света, дающего непрерывный спектр, мы наблюдаем их собственный спектр, состоящий из ярких линий. Эти линии находятся в тех же местах спектра обра- щающего слоя, где и темные линии при поглощении света в непрерывном спектре фотосферы. Темные линии в спектре называются *фраунгоферовыми* по имени немецкого ученого Фраунгофера, обнаружившего их. В спектре самого обра- щающего слоя, наблюдаемом во время полного солнечного затмения, они обра- щаются из темных в яркие: отсюда этот слой и получил свое название. Хромосфера, более разреженная, чем обра- щающий слой, содержит не все химические элементы, входящие в состав последнего, а лишь более легкие или более легко увлекаемые вверх при процессах, происходящих на Солнце. Это главным образом водород, гелий и кальций.

Таким образом, устанавливая химический состав Солнца по ярким линиям спектра разных слоев его атмосферы либо по темным линиям общего спектра Солнца, мы узнаем химический состав именно атмосферы Солнца, а не его недр, так как темные линии вызваны поглощением света газами атмосферы. До настоящего времени среди газов и паров солнечной атмосферы обнаружено около $\frac{2}{3}$ известных на Земле химических элементов. Среди атомов этих элементов более 80% по числу составляют атомы легчайшего из газов — водорода, около 18% — атомы гелия, а атомов всех остальных элементов сравнительно очень мало. Не обнаруженные еще на Солнце химические элементы на Земле встречаются также в очень малых количествах, а элементов, неизвестных на Земле, на Солнце не обнаружено. Все это еще раз доказывает материальное единство Земли и других небесных тел, общность законов физики и химии во Вселенной.

В 1868 г. в спектре Солнца обнаружили желтую линию, которая тогда не была еще найдена в спектрах земных веществ. Ее приписали особому солнечному веществу, которое назвали *гелием*

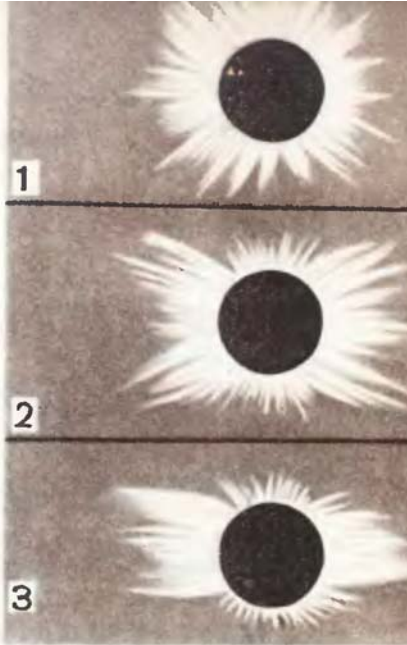


Рис. 90. Солнечная корона:
1) когда пятен на Солнце много; 2) в промежуточную эпоху; 3) когда пятен мало.

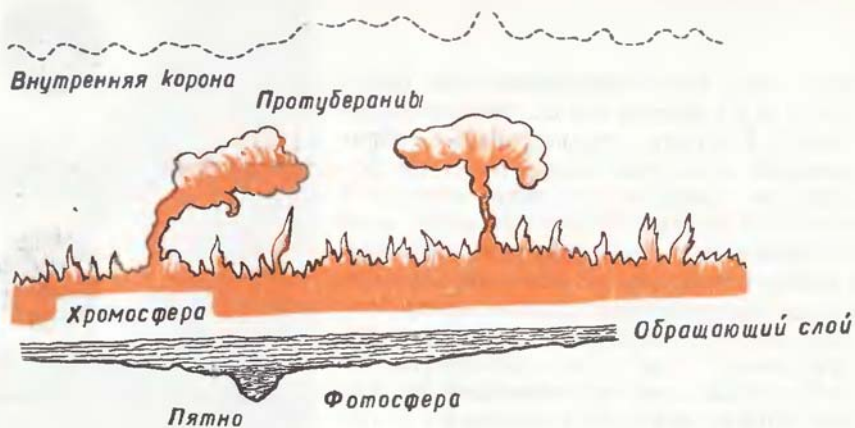


Рис. 91. Строение солнечной атмосферы (схема).

(по-гречески *гелий* — «солнечный»). Позднее гелий был открыт и на Земле.

Солнечная корона (рис. 90) состоит в основном из наэлектризованного газа и электронов, отражающих свет Солнца. Спектр газов во внутренних частях короны, состоящий из ярких линий, очень долго не поддавался расшифровке. Лишь недавно выяснилось, что это спектр известных уже нам элементов, главным образом железа, никеля и кальция, атомы которых лишены многих электронов и светятся в особых условиях, которые существуют в солнечной короне и не встречаются в природных условиях на Земле.

Разгадка линий спектра гелия и солнечной короны является примером того, что рано или поздно наука находит объяснение явлениям, сколь бы загадочными и неразрешимыми они ни казались сначала.

Части Солнца — фотосфера, обращаящий слой и хромосфера (рис. 91) — настолько раскалены, что состоят лишь из *атомов химических элементов*. Только в области солнечных пятен, где температура понижена до 4500° , атомы могут вступать в простейшие *химические соединения* — в двухатомные молекулы (циан, окись углерода, окись титана и др.).

При более высоких температурах даже простейшие молекулы вследствие частных и сильных соударений распадаются на составные части — на атомы.

В плоскости земной орбиты Солнце окружено еще тонким слоем пылинок, отражающих солнечный свет. В результате этого мы видим с Земли после захода Солнца и перед его восходом отходящий от него по небу вдоль эклиптики длинный светящийся конус, называемый *зодиакальным светом*. Он виден лучше всего в тропических странах, где эклиптика пересекается с горизонтом под большим углом.

§ 48. ИЗЛУЧЕНИЕ ЭНЕРГИИ СОЛНЦЕМ И ПЕРИОДИЧНОСТЬ СОЛНЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

1. Излучение Солнца и солнечная постоянная. Земной шар перехватывает ничтожную часть всей энергии, излучаемой Солнцем. Зная размер Земли и ее расстояние от Солнца, можно подсчитать, какова ее доля. Она составляет 1 : 2 000 000. Измерив же количество солнечной энергии, падающей на Землю, можно подсчитать и полную энергию излучения Солнца.

Солнечной постоянной называется количество солнечной энергии, падающей за одну минуту на 1 см^2 земной поверхности, перпендикулярной к солнечным лучам при среднем расстоянии от Земли до Солнца. При измерении солнечной постоянной учитывается частичное поглощение солнечного излучения в земной атмосфере. Солнечная постоянная составляет 1,94 калории в минуту на 1 см^2 и устанавливается измерением нагревания воды за определенное время в особом зачерненном сосуде, подвергнутом нагреванию солнечными лучами.

Зная величину солнечной постоянной, расстояние до Солнца и его размер, можно подсчитать температуру поверхности Солнца. Результат находится в согласии с другими способами ее определения. Эти данные показывают, что энергия Солнца так велика, что если Солнце окружить слоем льда толщиной 14 м, то излучаемое им тепло могло бы растопить всю эту ледяную кору за одну минуту.

2. Солнечная деятельность и пятна. Темные пятна чаще всего наблюдаются к северу и к югу от солнечного экватора. Они появляются и через несколько дней или недель, реже — через несколько месяцев, распадаются. Пятна — это участки фотосферы, где газы охлаждены до 4500° и кажутся темными лишь по контрасту с более горячей и оттого более яркой окружающей поверхностью. Здесь газы совершают медленное и сложное движение, находясь в сильном магнитном поле, которое временами возникает в областях, где появляются пятна.

Пятна часто встречаются парами. Оказывается, в таких парах в одном полушарии Солнца переднее (по вращению Солнца) пятно имеет магнетизм одной полярности (например, южной), а другое — противоположной полярности. В другом полушарии Солнца распределение полярности магнетизма во всех парах пятен противоположное. Так длится около 11 лет, после чего полярность в парах пятен двух полушарий Солнца меняется.

С 11-летним периодом меняется также число пятен и величина площади, занятой ими, а также число наблюдаемых протуберанцев и многие другие явления на Солнце, например форма солнечной короны. В среднем через каждые 11 лет число пятен, площадь, занятая пятнами, и число протуберанцев достигают максимума,

и так же чередуются их минимумы. Полярность пятен меняется в год минимума.

Солнечные пятна, часто появляющиеся группами, по площади нередко гораздо больше, чем площадь сечения земного шара (рис. 88). Вблизи пятен чаще всего появляются истечения горячих газов из более глубоких слоев Солнца. В таких активных областях — областях сильных горизонтальных и вертикальных течений газов в магнитном поле — время от времени возникают так называемые хромосферные вспышки. Это небольшие области, в которых под действием магнитных сил быстро возникает огромное сжатие газов. Вследствие этого температура газа быстро повышается, и он временно излучает гораздо больше энергии, в том числе света. При этом возникает и усиленный поток невидимых глазом ультрафиолетовых лучей, а также потоки мельчайших частиц, с большой скоростью покидающих Солнце.

Испускаемые Солнцем лучи и покинувшие его быстро летящие частицы оказывают заметное влияние на некоторые явления в земной атмосфере. Так, с усилением солнечной деятельности увеличивается на Земле число магнитных бурь (довольно быстрых и значительных колебаний стрелки компаса), число полярных сияний, уменьшается прием радиопередач.

3. **П о л я р н ы е с и я н и я.** Полярные сияния в виде колеблющихся светлых, часто цветных лучей или полос в северном полушарии бывают видны ночью в северной стороне неба тем лучше и чаще, чем дальше от экватора Земли находится наблюдатель. Но иногда они бывают видны даже на широте Северной Африки. В южном полушарии Земли такие же полярные сияния видны в южной стороне неба.

Наука выяснила, что в соответствии с гениальным предвидением М. В. Ломоносова полярные сияния представляют собой холодное электрическое свечение земной атмосферы на высотах в сотни километров над Землей. Природа этого свечения сходна с природой свечения разреженного газа в газосветных трубках под действием электрического тока в газе. В высоких слоях земной атмосферы разреженный воздух светится от бомбардировки его мельчайшими частицами, которые выбрасываются из активных областей Солнца. Магнитное поле земного шара отклоняет эти частицы, когда они приближаются к Земле, так что эти частицы попадают в нашу атмосферу преимущественно вблизи магнитных полюсов Земли. Вот почему полярные сияния происходят чаще всего именно там. Частицы, выбрасываемые Солнцем и бомбардирующие нашу атмосферу, меняют ее электропроводность и другие свойства, от которых зависят сила и частота радиоприема.

Само Солнце и его корона испускают радиоволны. Мощность этого излучения сильно колеблется.

Влияние изменений солнечного излучения на ряд явлений на Земле весьма многосторонне, но изучено пока недостаточно.

4. Значение излучения Солнца и источники его энергии. Все сказанное выше подтверждает взаимосвязь явлений во Вселенной. Изучение Солнца необходимо и для практических целей — для более точного предсказания погоды, влияющей на все народное хозяйство, для борьбы с помехами при радиопередачах и т. д. Поэтому в СССР широко поставлено изучение солнечных явлений и их воздействия на Землю. Такова одна из практических сторон астрономии.

К сожалению, мы не знаем причин еще многих явлений на Солнце, в частности причин периодичности в его деятельности. Но человек научился предвидеть наступление некоторых явлений. Теперь уже даются полезные указания о необходимых изменениях в радиопередаче на коротких волнах для улучшения радиосвязи.

Источником энергии Солнца и звезд являются так называемые ядерные реакции в недрах Солнца и звезд. Эти реакции возможны лишь при температурах в десятки миллионов градусов. Они приводят к тому, что водород постепенно превращается в гелий, причем выделяется огромное количество энергии. Запасов водорода на Солнце хватит еще на много миллиардов лет. С тех пор как на Земле возникла жизнь, излучение энергии Солнца заметно не изменилось. Поэтому вопрос об исчерпании источников солнечной энергии не имеет для человечества ни малейшего практического значения.

Большое практическое значение имеет другое — более полное использование солнечной энергии, получаемой Землей. В этом направлении достигнуто еще очень мало, хотя за последние годы построен ряд установок с большими зеркалами, концентрирующими солнечное тепло для нагревания воды, например для паровых машин и даже для плавильных печей, в которых достигается температура до 3000° . Построены также опреснители, сушилки и тому подобные установки, использующие солнечную энергию. Аккумулировать солнечную энергию можно и другими путями, превращая ее в энергию электрохимическую. Такого рода использование солнечной энергии применяется на советских искусственных спутниках Земли и на космических ракетах.



ЗВЕЗДЫ И ЗВЕЗДНЫЕ СИСТЕМЫ. СТРОЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ

§ 49. ГОДИЧНЫЙ ПАРАЛЛАКС И РАССТОЯНИЯ ДО ЗВЕЗД

В § 19 было объяснено, что такое годичный параллакс и как его измеряют. Если годичный параллакс звезды установлен путем точных и кропотливых измерений, то расстояние D до звезды определяется из формулы:

$$D = \frac{a}{\sin p},$$

где a — радиус земной орбиты. Ввиду малости угла p , выражая его в секундах дуги, можно написать:

$$D = \frac{a}{p'' \sin 1''}.$$

Если a принять за единицу, то, зная, что $\sin 1'' = \frac{1}{206265}$,

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

Расстояния до звезд ввиду их громадности обычно выражают в световых годах или в парсеках.

Световой год есть расстояние, проходимое лучом света в течение года. Чтобы выразить его в километрах, надо скорость света умножить на число секунд в году.

Парсек есть расстояние, соответствующее годичному параллаксу в одну секунду дуги; это — расстояние, на котором отрезок прямой, соединяющий Землю с Солнцем, виден под углом в $1''$.

Расстояние D до звезды в парсеках обратно величине ее годичного параллакса p , выраженного в секундах дуги:

$$D = \frac{1}{p''}.$$

Например, если параллакс ближайшей звезды $0'',75 = \frac{3}{4}$ секунды дуги, то расстояние до нее составляет $\frac{4}{3}$ парсека.

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

Свет от ближайшей к нам яркой звезды (α Центавра) идет более четырех лет, а от других звезд еще дальше.

Чтобы представить себе громадность этого расстояния, вообразим, что с Земли к этой звезде вылетел реактивный самолет со скоростью 1000 км/ч. Этот самолет долетит до звезды только через 4,5 млн. лет.

Остальные звезды находятся от нас (или, что то же, от Солнца) еще дальше. До большинства звезд расстояния неизвестны — они так велики, что их параллаксы слишком малы и не поддаются измерению описанным способом. Основываясь на измерениях параллаксов близких звезд, теперь разработали другие способы определения расстояния до звезд.

§ 50. СВЕТИМОСТЬ И ДВИЖЕНИЕ ЗВЕЗД И СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Каждая звезда является огромным раскаленным и потому самосветящимся газовым шаром, подобным нашему Солнцу. Но в строении и вообще в физическом состоянии звезд наблюдаются многочисленные различия. Нагляднее всего эти различия выступают при сравнении звезд с Солнцем.

Светимостью называется отношение истинной силы света звезды к силе света Солнца.

Пусть, например, путем измерения установлено, что некоторая звезда отстоит от нас в миллион (10^6) раз дальше, чем Солнце, и что ее видимый блеск в миллион миллионов раз (10^{12}) меньше солнечного (это будет звезда примерно $3\frac{1}{2}$ -й звездной величины). Если бы мы поместили эту звезду на расстоянии, равном расстоянию от нас до Солнца, то она стала бы нам казаться в $(10^6)^2$ раз более яркой, то есть оказалась бы такой же яркой, как Солнце. Следовательно, данная звезда в действительности имеет такую же силу света, как Солнце; ее светимость равна единице. Подобным же образом можно рассчитать светимости других звезд.

Светимости звезд чрезвычайно различны. Наибольшей светимостью среди известных звезд обладает звезда S Золотой Рыбы. Она видна как звездочка 8-й величины, но в действительности приблизительно в миллион раз ярче нашего Солнца. Звезды с наименьшей светимостью светят в сотни тысяч раз слабее Солнца. Наше Солнце по своей светимости является средней звездой — не очень яркой, но и не очень слабой.

Взаимные положения звезд на небе представляются совершенно неизменными даже на протяжении многих веков. *В действительности же все звезды, в том числе и наше Солнце, движутся, и притом*

с огромными скоростями — в десятки и сотни километров в секунду. Но вследствие чрезвычайно больших расстояний до звезд изменение их положений, видимое с Земли, происходит очень медленно.

Обнаружить и изучить движение звезд можно двумя путями: при помощи спектрального анализа и при помощи измерения смещений звезд на небесной сфере.

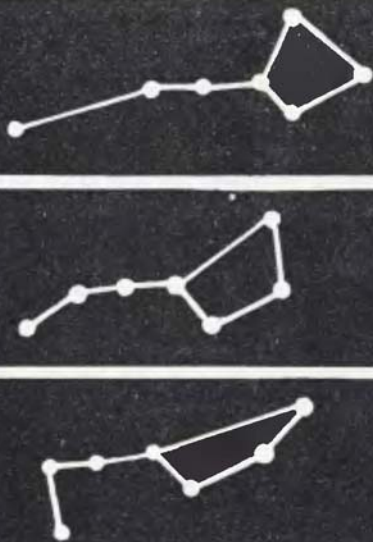
Когда звезда движется к нам или от нас, это обнаруживается по смещению линий в ее спектре (см. § 34). Эта скорость определяется в километрах в секунду непосредственно по величине смещения линий в спектре.

Та часть скорости движения звезды, которая направлена перпендикулярно к линии, по которой мы смотрим на звезду, спектральным анализом не обнаруживается, так как при этом движении звезда к нам не приближается и не удаляется от нас. Эту составляющую скорости можно определить по смещению звезды на небесной сфере. Измеряется она в секундах дуги в год, но если расстояние до звезды известно, то ее можно выразить и в километрах в секунду.

Заметить перемещение звезд на небесной сфере можно путем сравнения фотографий под микроскопом. С течением времени перемещение звезд должно стать заметным и для невооруженного глаза. Например, поскольку семь звезд ковша Большой Медведицы движутся с неодинаковой скоростью по одному и тому же направлению, они через несколько десятков тысячелетий заметно сместятся одна по отношению к другой. Поэтому очертание ковша

Рис. 92. Изменения в положении 7 ярких звезд Б. Медведицы вследствие их собственных движений:

вверху — 50 тысяч лет назад, в середине — в настоящее время, внизу — через 50 тысяч лет.



Большой Медведицы со временем нарушается, как это показано на рисунке 92.

По отношению к соседним звездам наша солнечная система движется в направлении к созвездиям Лиры и Геркулеса со скоростью 20 км/сек (рис. 93).

Напомним, что в созвездиях звезды лишь видимо близки друг к другу, но в действительности они находятся на громадных и очень различных расстояниях как от нас, так и одна от другой. Поэтому нельзя даже ставить вопрос о том, «когда мы долетим до этих созвездий».

По мере нашего приближения к звездам созвездий Лиры и Геркулеса они словно расступаются перед нами. Очертания этих созвездий в далеком будущем совершенно изменятся, и соседями Солнца станут другие звезды, но расстояние до них по-прежнему останется чрезвычайно большим.

О столкновении Солнца с какой-либо звездой не может быть и речи ввиду огромности расстояний между ними. Столкновение звезд так же маловероятно, как столкновение двух пылинок, плавающих в разных концах большого театрального зала.

§ 51. ТЕМПЕРАТУРА И РАЗМЕРЫ ЗВЕЗД

Легко заметить, что звезды имеют различные цвета — одни белые, другие желтые, третьи красные и т. п. Белый цвет имеют, например, Сириус и Вега, желтый — Капелла, красный — Бетельгейзе и Антарес. Звезды различных цветов имеют различные спектры и различные температуры. Подобно накаливаемому куску железа, *белые звезды более горячие, а красные — менее.*

Различия в спектрах звезд заключаются в разном распределении яркости вдоль непрерывного спектра и в том, что положение и интенсивность темных линий на фоне этого непрерывного спектра различны.

Характер спектров звезд определяется главным образом температурами их атмосфер, потому что спектры атомов всякого химического элемента меняются при сильном изменении температуры.

Температуры звезд измеряются способами, описанными в § 34. Установлено, что наиболее горячими являются голубые, затем



Рис 93. Движение Земли и Солнца в пространстве относительно звезд.

белые звезды. Температура их поверхностей составляет от 10 000 до 30 000° С, но иногда встречаются и более горячие звезды с температурой до 100 000° С. Желтые звезды холоднее: температура их поверхностей около 6000° С. Наименее раскалены красные звезды: температура их поверхностей всего 3000° С, а иногда даже 2000° С и менее. В недрах звезд, как и в недрах Солнца, температура доходит до многих миллионов градусов.

Сравнивая Солнце по спектру и по температуре со звездами, мы приходим к заключению, что Солнце является желтой звездой средней температуры (6000° С).

Кроме различия в температурах по спектрам звезд, обнаруживают и некоторые различия в их химическом составе, который у всех звезд в общем сходен и близок к химическому составу Солнца и Земли. Изучая звездные спектры, мы обнаруживаем на звездах те же химические элементы, которые нам известны на Земле и на Солнце. Это подтверждает материальное единство вещества, из которого состоят Земля и другие небесные тела, и опровергает религиозные утверждения о различии между земным и небесным.

Наука располагает сейчас несколькими способами определения размеров звезд. Одни из них мы поясним на таком примере.

Известно, что количество энергии, испускаемое квадратным сантиметром поверхности, растет с ее температурой. Полное излучение звезды равно количеству энергии, излучаемой одним квадратным сантиметром поверхности, умноженному на величину ее поверхности. Поэтому если какая-нибудь звезда имеет ту же температуру и светимость, как наше Солнце, то мы можем утверждать, что и размер поверхности (а следовательно, и диаметр) у звезды тот же, что и у Солнца.

Если при той же температуре, что у Солнца, светимость звезды в 16 раз больше, значит, ее поверхность в 16 раз, а диаметр в 4 раза больше, чем у Солнца. Подобным же образом можно определить диаметры других звезд, вводя поправку на отличие их температуры от температуры Солнца. Полученные результаты проверяются другими способами и согласуются друг с другом.

Звездами-гигантами называются звезды большой светимости, а звездами-карликами — звезды малой светимости. Однако и по размерам мы встречаем среди звезд и гигантов, и карликов (рис. 94).

К красным звездам-гигантам принадлежат Бетельгейзе и Антарес. Диаметр первой из них примерно в 400, а второй в 300 раз больше диаметра Солнца. Внутри звезды Бетельгейзе могли бы уместиться орбиты всех планет солнечной системы до Марса включительно. Газ, из которого состоят красные звезды-гиганты, очень разрежен; его плотность в тысячи раз меньше плотности комнатного воздуха.

Красные звезды-карлики глазом не видны. Одна из них, очень близкая к нам звезда (№ 60 по каталогу Крюгера), в 2,5 раза меньше Солнца по диаметру. Газы, из которых она состоит, сжаты так

сильно, что их средняя плотность в 4,5 раза больше плотности воды и втрое больше плотности Солнца.

Чем меньше размеры звезд, тем в большем числе они встречаются в мировом пространстве; огромные же красные звезды-гиганты попадают очень редко. По своим размерам Солнце является рядовой звездой, не особенно большой, но и не очень маленькой.

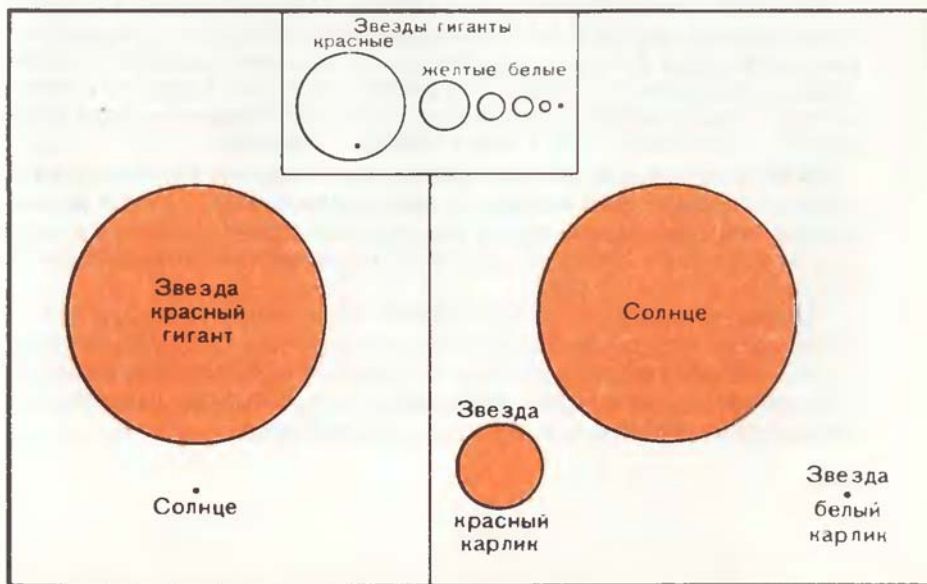
Существуют звезды, которые по светимости принадлежат к звездам-карликам, имеют белый цвет и высокую температуру. По размерам белые звезды-карлики являются наименьшими из звезд (иногда даже меньше Земли). Примером белого карлика является спутник Сириуса. Эта слабая звезда обращается около Сириуса подобно планете, однако ее масса почти равна массе Солнца, и она (звезда) излучает собственный свет.

Средняя плотность белых звезд-карликов необычно высока: она в тысячи раз превосходит плотность воды. Плотность одной белой звезды-карлика так велика, что, если бы ее веществом наполнить наперсток, он смог бы уравновесить паровоз (плотность $5 \cdot 10^7 \text{ г/см}^3$).

На Земле мы не знаем веществ, которые имели бы такую чудовищную плотность. Между тем белые карлики состоят из атомов тех же самых химических элементов, что и Земля. Решить эту загадку можно, исходя из строения атомов вещества и физических условий внутри звезд.

Атомы химических элементов — сложные системы, состоящие из ядер с обращающимися вокруг них электронами. Почти вся масса атома сосредоточена в его ядре, а размер атома определяется

Рис. 94. Сравнительные размеры Солнца, звезд-гигантов и звезд-карликов.



размерами орбиты электрона, наиболее далекого от ядра. Эти размеры атомов определяют предел, до которого могут быть сближены атомы действием давления. В недрах белых звезд-карликов господствуют чудовищно высокие температуры и давления. Под действием высокой температуры быстро носящиеся атомы сталкиваются, электроны отрываются от своих атомов, и от последних остаются только их ядра, размеры которых очень малы по сравнению с размерами орбит электронов. Поэтому под действием огромных давлений уменьшенные в размерах атомы могут быть сближены гораздо сильнее, в результате чего получается чрезвычайно плотное вещество. На Земле нет ни столь высоких температур, ни столь высоких давлений, которые могли бы привести вещество в такое состояние.

На примере изучения белых звезд-карликов мы видим, как обогащает астрономия наши знания о строении вещества.

Большинство звезд подчиняется важной закономерности — чем больше их масса, тем больше и их светимость. Эта связь отражает физические условия, при которых могут устойчиво существовать звезды.

Массы звезд-гигантов больше, чем массы звезд-карликов, но различия эти не так велики, как различия в светимости. Массы тяжелых звезд раз в 10 больше массы Солнца. Крайне редки звезды с массами в несколько десятков масс Солнца. Следовательно, по своей массе Солнце тоже является средней звездой.

Мы видим, что с точки зрения всех физических признаков — цвета, спектра, размеров, температуры и массы — Солнце является рядовой звездой, ничем особым не выдающейся.

§ 52. ДВОЙНЫЕ И ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЕЗДЫ

Часто две звезды образуют систему. Они обращаются вокруг общего центра масс под действием взаимного тяготения. Такие звезды называются *физически двойными*. Для невооруженного глаза такие звезды обычно сливаются вместе, и мы их видим как одну звезду. Только в телескоп, а иногда лишь спектральным анализом можно установить, что данная звезда — двойная.

Иногда случается, что две звезды, находящиеся далеко одна от другой, не связанные взаимным тяготением, видимы почти по одному и тому же направлению, так что для невооруженного глаза сливаются в одну звезду. Такие звезды называются *оптически двойными*.

Физически двойные звезды обращаются вокруг центра масс с различными периодами и на разных расстояниях (рис. 95). Вообще говоря, чем ближе звезды одна к другой, тем короче периоды их обращений. (У некоторых звезд периоды обращения измеряются несколькими часами, у других — столетиями.)

Часто из двух звезд одна бывает желтая или красная, а другая — белая или голубоватая. Рассматривать их в телескоп очень интересно.

Представьте себе, как должно меняться освещение на планетах, обращающихся около таких двойных звезд, когда над горизонтом восходит то красное, то голубое солнце, то оба солнца вместе!

Множество двойных звезд было открыто и измерено первым директором Пулковской обсерватории В. Я. Струве и его сыном О. В. Струве.

Иногда встречаются системы, состоящие не из двух, а из трех или даже четырех звезд. Это так называемые *кратные* звезды.

Иногда две звезды при взаимном обращении подходят так близко друг к другу, что даже в самый сильный телескоп их нельзя видеть раздельно. В этом случае на помощь приходит спектральный анализ. Спектры двойных звезд накладываются друг на друга. А так как разница в скоростях этих звезд велика, то линии их спектров смещаются в противоположные стороны и спектральные линии как бы раздвигаются. Величина их смещения периодически меняется, так как, обращаясь по орбите, каждая звезда то приближается к нам, то удаляется. Звезды, двойственность которых обнаруживается лишь спектральным анализом, называются *спектрально-двойными*.

В некоторых случаях, когда плоскость орбиты двойной звезды близка к лучу зрения, одна звезда периодически загораживает собой другую. Поэтому наблюдаемый нами суммарный блеск такой системы двух звезд периодически изменяется.

Звезды, видимый суммарный блеск которых периодически меняется вследствие того, что они двойные и одна из звезд временно загораживает другую, называются *затменно-двойными* или *затменно-переменными* звездами. Типичной звездой такого рода является Альголь (β Персея). Изменения блеска Альголя, типичные для подобных звезд, представлены кривой (рис. 96). С началом

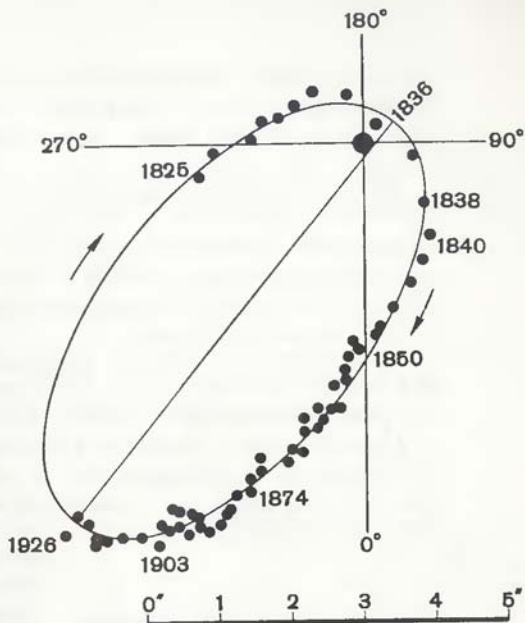


Рис. 95. Орбита спутника двойной звезды (γ Девы) относительно главной звезды.

Точки отмечают измеренные положения спутника в соответствующие годы. Их разброс вызван погрешностями измерений.

затмения блеск начинает быстро падать, достигает минимума в середине затмения и потом снова возрастает. Доказано, что звезды вращаются вокруг своих осей, подобно Солнцу, и иногда гораздо быстрее, чем оно.

Итак, бывают звезды, изменение суммарного блеска которых является кажущимся и вызывается геометрической причиной — затмениями. Количество энергии, излучаемой этими звездами, в действительности не меняется. Наряду с этим существуют звезды, энергия излучения которых колеблется. Такие звезды называются физически переменными.

Существует несколько различных типов физически переменных звезд, отличающихся как кривыми изменения блеска, так и другими физическими признаками.

Прежде всего, физически переменные звезды разделяются на *периодические* и *неправильные*. У первых изменения блеска происходят непрерывно, по определенному закону и строго периодически. Для них можно заранее предсказать, какую звездную величину они будут иметь в определенный момент. У вторых эти изменения происходят неправильно, без всякого периода, и самые колебания блеска бывают то сильнее, то слабее, без всякого закона.

Кривые изменения блеска некоторых звезд представлены на рисунке 97. Причины изменения блеска неправильных переменных звезд еще мало изучены.

Периоды изменения блеска некоторых периодических переменных звезд составляют всего около часа, а у других доходят до года и больше. Причина изменения блеска состоит в периодической пульсации, то есть в расширениях и сжатиях звезды, сопровождаемых изменениями температуры.

У многих физически переменных звезд (типа цефеид) светимость связана с периодом и характером изменения блеска, и ее можно определить, узнав из наблюдений период изменения блеска. Сравнивая эту светимость с видимым блеском такой переменной звезды, мы определяем расстояние до нее. Так были определены



Рис. 96. Система затменно-двойной звезды Альголь и кривая изменения ее видимого блеска.

расстояния до далеких звездных систем, в состав которых входят переменные звезды типа цефеид. Так как эти звезды имеют большую светимость и видны издали, их иногда называют «маяками Вселенной».

Иногда наблюдалось, что в каком-либо месте неба вдруг вспыхивала звезда, которой там прежде не видели, и потом, ослабевая, снова исчезала из вида. Такие звезды называли *новыми*. Позднее выяснилось, что в действительности такие звезды не новые: они существовали и раньше как очень слабые звезды, но по какой-то причине быстро усиливались в блеске в десятки тысяч раз. *Новыми звездами называются такие, которые внезапно становятся более яркими и затем постепенно возвращаются к прежнему блеску.* Например, новая звезда в созвездии Орла до и после вспышки была 10,5 звездной величины, но в течение нескольких дней в 1918 г. она сияла, как звезда 1-й величины.

Всестороннее изучение новых звезд показало, что причиной увеличения их блеска является внезапное вздутие их поверхности. Звезда по размеру того же порядка, что и Солнце, в течение нескольких часов вздувается, как пузырь, и ее диаметр становится больше диаметра земной орбиты. Причиной вздутия являются какие-то взрывы, происходящие внутри звезды. Наше Солнце взорваться таким образом не может, потому что взрываются лишь очень горячие звезды определенных типов, к которым Солнце не принадлежит.

Когда звезда становится всего ярче, вздутая атмосфера звезды от нее отделяется; стремительно расширяясь, газы атмосферы несутся во все стороны от звезды со скоростью нескольких сотен километров в секунду, образуя туманную оболочку, и в конце концов рассеиваются в мировом пространстве. Газовые туманности, образованные при вспышке наиболее яркими новыми звездами, являются самым мощным источником радиоизлучения в нашей звездной системе.

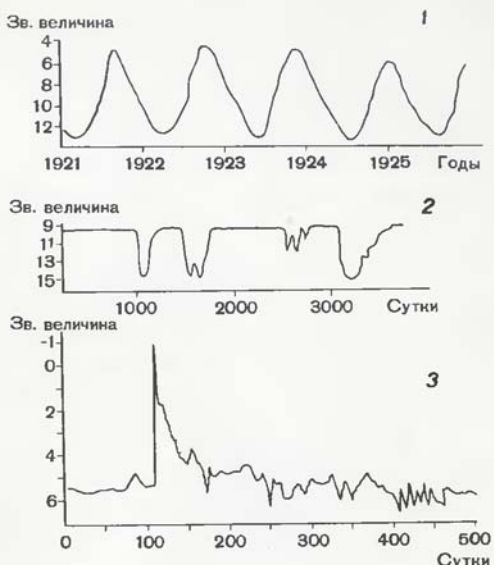


Рис. 97. Кривые изменения блеска различных типов физически переменных и новых звезд: 1 — периодическая (α Лебеда); 2 — неправильная (SU Тельца); 3 — новая.

ЗВЕЗДНЫЕ СИСТЕМЫ И ДИФФУЗНАЯ МАТЕРИЯ

§ 53. ЗВЕЗДНЫЕ СКОПЛЕНИЯ. МЛЕЧНЫЙ ПУТЬ И ГАЛАКТИКА

В некоторых местах неба в телескоп, а кое-где даже и простым глазом можно разглядеть тесные группы звезд, или звездные скопления. Они бывают двух типов: рассеянные и шаровые.

В рассеянных звездных скоплениях несколько десятков или сотен звезд в беспорядке разбросаны на маленьком участке неба. Все эти звезды действительно близки одна к другой в пространстве и связаны взаимным тяготением.

Шаровые звездные скопления содержат сотни тысяч звезд, сгущающихся к центру скопления, имеющего форму шара. Звезды этих скоплений связаны взаимным тяготением, и, чем ближе к центру скопления, тем ближе одна к другой расположены там звезды. Размеры шаровых скоплений во много раз больше размеров рассеянных звездных скоплений, но так как шаровые скопления от нас гораздо дальше, то строение их можно различить лишь в сильный телескоп.

Типичным рассеянным звездным скоплением являются Плеяды в созвездии Тельца, называемые у нас в народе Стожарами (рис. 98). Невооруженным глазом в этом скоплении видно шесть звезд, в бинокль — несколько десятков, а в телескоп — все поле зрения усыпано звездами.

Типичное шаровое звездное скопление находится в созвездии Геркулеса, но в бинокль или в слабый телескоп оно выглядит,



Рис. 98. Рассеянное звездное скопление — Плеяды.



Рис. 99. Шаровое звездное скопление в Геркулесе.



Рис. 100. Часть Млечного Пути, видимая невооруженным глазом.

как туманная звезда. Лишь в сильный телескоп видно, что это — плотное шаровое скопление, состоящее из сотен тысяч звезд (рис.99). Поперечник такого звездного скопления составляет около сотни парсеков, тогда как диаметры рассеянных звездных скоплений, например Плеяд, измеряются всего лишь несколькими парсеками.

Название Млечного Пути носит светлая серебристая полоса, видимая на звездном небе в безоблачную темную ночь. Млечный Путь опоясывает все небо, как гигантский обруч. В одних местах он шире, в других — уже, в одних — слабее, в других — ярче (рис. 100).

В телескоп, а в особенности на фотоснимках, видно, что Млечный Путь состоит из громадного скопища чрезвычайно слабых звезд (рис. 101). Это показывает, что протяжение нашей звездной системы больше в ту сторону, где видно больше слабых звезд, то есть более далеких, и где они расположены в большем числе, то есть в плоскости Млечного Пути. Из того, что средняя линия Млечного Пути расположена почти в точности вдоль большого круга небесной сферы, мы заключаем, что вся наша звездная система вытянута в плоскости Млечного Пути и мы находимся вблизи этой плоскости.

Изучение распределения звезд в пространстве показало, что вся совокупность звезд, видимых в созвездиях и входящих в Млечный Путь, образует единую гигантскую звездную систему, называемую Галактикой. В общей сложности Галактику образует более сотни миллиардов звезд, одной из которых является наше Солнце. Общим расположением большинства звезд Галактика напоминает форму линзы или чечевицы. Вокруг этой линзы расположены более редко звезды, образующие сферическую систему.

Рисунок 102 показывает, как выглядела бы Галактика при рассмотрении ее с разных сторон наблюдателем из мирового пространства.

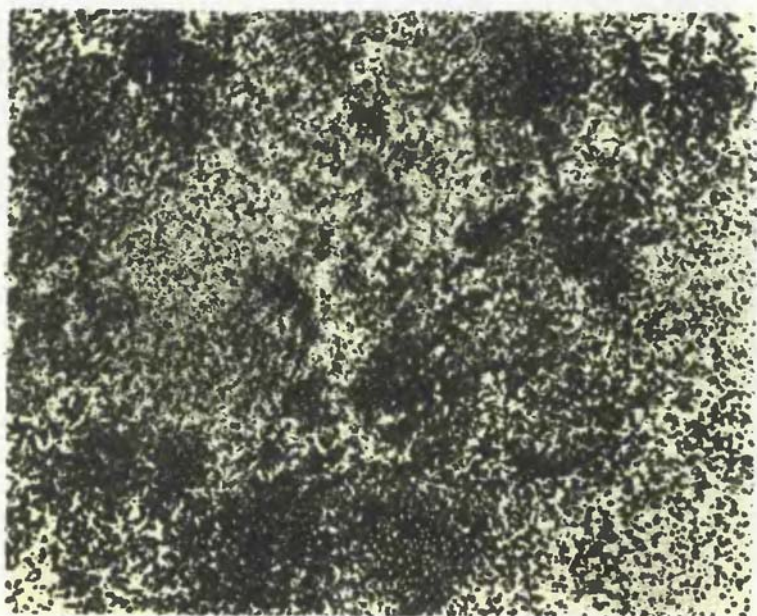


Рис. 101. Фотография участка Млечного Пути.

Звезды Галактики сгущаются к плоскости ее симметрии и к ее центру. Во всей массе этих звезд существуют, однако, гигантские сгущения, как бы облака, состоящие из звезд, а внутри этих облаков есть более мелкие сгущения — это звездные скопления.

Из сравнения нашей Галактики с другими звездными системами, которые будут описаны в следующем параграфе, надо предполагать, что она имеет, кроме того, спиральное строение (рис. 102). Это подтверждается и прямыми измерениями в нашей Галактике. Наша солнечная система расположена внутри Галактики, вблизи

ее плоскости. Поэтому, когда мы смотрим в любую сторону в этой плоскости, наш взор пронизывает небольшую толщу пространства, заполненного звездами, по наибольшему протяжению Галактики. Наш взор встречает здесь множество далеких звезд, которые кажутся поэтому очень слабыми и сливаются для невооруженного глаза в сплошную туманную полосу — Млечный Путь.

Солнечная система находится не в центре Галактики, расположенном в направлении созвездия Стрельца. От нас до центра около 8000 парсеков, а поперечник Галактики составляет почти 30 000 парсеков, то есть свет от одного ее края до другого идет почти 100 000 лет; однако определенных, резких краев у Галактики нет.

Вся Галактика вращается вокруг оси, перпендикулярной к ее плоскости, которая называется поэтому плоскостью галактического экватора. Она вращается около центра всей этой звездной системы.

Солнечная система также участвует в этом общем движении и, двигаясь по своей орбите со скоростью, немного большей 200 км/сек, завершает одно обращение вокруг центра Галактики приблизительно за 200 млн. лет.

Движение же солнечной системы со скоростью 20 км/сек есть ее движение по отношению к звездам того звездного облака, в состав которого она входит. Все сведения о Галактике ежегодно уточняются.



Рис. 102. Схема строения Галактики. Крестиком отмечено положение солнечной системы.

§ 54. ДРУГИЕ ЗВЕЗДНЫЕ СИСТЕМЫ — ГАЛАКТИКИ

Установлено, что наша Галактика — не единственная звездная система. Существует множество других подобных ей звездных систем, называемых галактиками. Спиральная галактика в созвездии Андромеды (рис. 103) для невооруженного глаза и даже в телескоп представляется в виде туманного пятна. Фотографии, сделанные при помощи сильных телескопов, обнаруживают, что в действительности это огромное скопление звезд. Так как эту галактику мы видим под некоторым углом к ее оси, то она имеет продолговатую форму. Другая подобная галактика в созвездии Гончих Псов (рис. 104) расположена к нам «фасадом», и ее спиральные ветви мы видим в неискаженной форме. Некоторые галактики мы видим с ребра, и поэтому они (также спирального строения) имеют

вид веретена (рис. 105). Подобный вид имела бы и наша Галактика, рассматриваемая под разными углами с большого расстояния. Некоторые галактики имеют шаровую или неправильную форму. Наша Галактика принадлежит к наиболее крупным звездным



Рис. 103. Спиральная галактика в созвездии Андромеды.

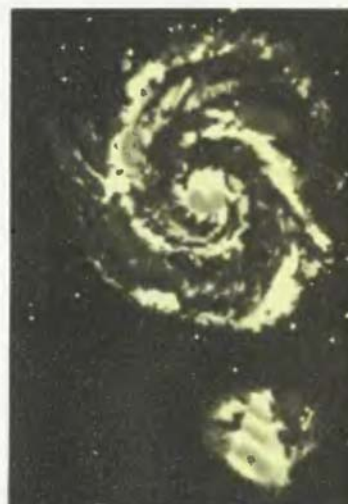


Рис. 104. Спиральная галактика в созвездии Гончих Псов.

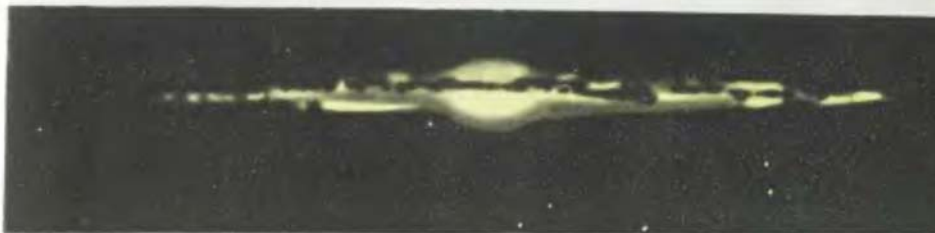


Рис. 105. Спиральная галактика, видимая с ребра.

системам. Все галактики вращаются вокруг своих осей, подобно нашей Галактике.

Галактика в Андромеде — одна из ближайших к нам галактик, отстоит от нас примерно на миллион световых лет. Самые далекие из галактик, фотографируемых сейчас при помощи величайшего в мире 5-метрового телескопа, находятся от нас на расстояниях до нескольких миллиардов световых лет. В этот телескоп доступно наблюдению более миллиарда галактик. Большинство их объединено в группы или в большие скопления, содержащие сотни и даже тысячи отдельных галактик.

§ 55. ДИФФУЗНАЯ МАТЕРИЯ

Кроме туманных пятен, оказывающихся в действительности далекими звездными системами, на небе можно видеть слабо светящиеся туманные пятна — туманности, которые состоят из крайне разреженного, как говорят, диффузного вещества.

Такие светлые туманности по своему виду делятся на диффузные (размытые, клочковатой формы) и планетарные туманности (маленькие, округлой формы).

В центре планетарных туманностей (рис. 106) всегда находится слабая звездочка, а сама туманность имеет вид кружка или колечка. Примером таких планетарных туманностей является туманность в созвездии Лиры. Планетарные туманности никакого отношения к планетам не имеют и свое название получили от того, что в телескоп напоминают планетарные диски.



Рис. 106. Планетарная туманность.

Примером диффузной туманности является туманность в созвездии Ориона (рис. 107), хорошо видимая в сильный бинокль. Лучше всего их строение обнаруживается на фотографиях. При ярком свете Луны туманности, конечно, не видны.

Спектральным анализом обнаружено, что некоторые светлые туманности (в том числе все планетарные) состоят из крайне разреженного холодного газа. Этот газ светится под действием света наиболее горячих звезд, которые этот газ окружают. До некоторой степени это свечение подобно свечению газа в вакуумной трубке под действием электрического разряда.

Другие светлые туманности состоят из скоплений пыли, светящей отраженным светом какой-либо близкой к ним звезды, обладающей достаточно большой светимостью. Существуют туманности, состоящие из смеси пыли и газов, среди которых преобладают водород, кислород, гелий и азот.

Размеры планетарных туманностей редко превосходят один парсек, а размеры диффузных доходят до сотни парсеков. Как те, так и другие входят в состав нашей Галактики и других галактик, отчего они получили общее название — галактические туманности.

Рис. 107. Диффузная газовая туманность в созвездии Ориона.





Рис. 108. Темная пылевая туманность в созвездии Змееносца, экранирующая далекие звезды.

Наряду со светлыми туманностями в полосе Млечного Пути наблюдаются темные туманности в виде черных пятен на светлом фоне Млечного Пути (рис. 108). В южном полушарии неба два особенно черных пятна в Млечном Пути получили даже название «угольных мешков».

Исследования показали, что темные туманности — это гигантские облака мельчайшей пыли, загораживающие от нас свет далеких звезд. На их фоне лучше видны только те звезды, которые находятся к нам ближе, чем облако, а свет звезд, расположенных за ними, очень ослаблен. Большая часть темных туманностей скучивается в экваториальной плоскости Галактики. Поглощением света такими туманностями объясняются темные полосы, видимые

нами в экваториальной плоскости галактик, наблюдаемых с ребра и имеющих поэтому веретенообразный вид (рис. 105).

Пылевые облака (темные туманности) выглядят, как светлые туманности, когда их освещает близкая к ним яркая звезда.

Пространство между планетами, звездами, туманностями и галактиками не абсолютно пустое — оно заполнено диффузной материей. В нем носятся метеорные тела и частицы, пылинки, молекулы, отдельные атомы и электроны.

Плотность этой диффузной среды чрезвычайно низка — она в 10^{24} раз меньше плотности воды, тогда как плотность газовых и пылевых туманностей раз в сто или в тысячу больше, чем у этой среды. Однако и такой плотности мы еще не можем достигнуть при разрежении воздуха под колпаком наших лучших воздушных насосов.

Как ни мала плотность межзвездной диффузной среды, эта среда заметно поглощает свет очень далеких звезд. Она ослабляет их блеск и делает их цвет более красным.

В 1847 г. известный астроном, директор Пулковской обсерватории В. Я. Струве установил факт поглощения света в межзвездном пространстве, но это открытие стало общепризнанным лишь в XX в.

Астрономам постоянно приходится считаться с тем, что в мировом пространстве свет частично поглощается, и учитывать это поглощение при изучении далеких звезд.

Межзвездная среда, как и туманности, сгущается в плоскости Галактики. Газовые туманности и межзвездный газ испускают радиоволны, изучение которых помогает нам узнать их природу и установить местоположение даже там, где они не светятся.

§ 56. БЕСКОНЕЧНОСТЬ ВСЕЛЕННОЙ

Сторонники религиозных взглядов обычно утверждают, что наша Вселенная конечна и ограничена. Это утверждение ведет к признанию того, что за пределами материального мира есть область иного мира — мира нематериального, сверхчувственного и якобы непознаваемого. В этом противопоставлении двух миров заключается основа всякого религиозного, идеалистического мировоззрения.

Передовая материалистическая наука исходит из глубокого убеждения в том, что мир един, что единство его заключается в материальности всего существующего и что вследствие этого он вполне доступен познанию. В мире нет ничего непознаваемого, сверхъестественного.

Новые научные открытия всякий раз подтверждают эти основные положения.

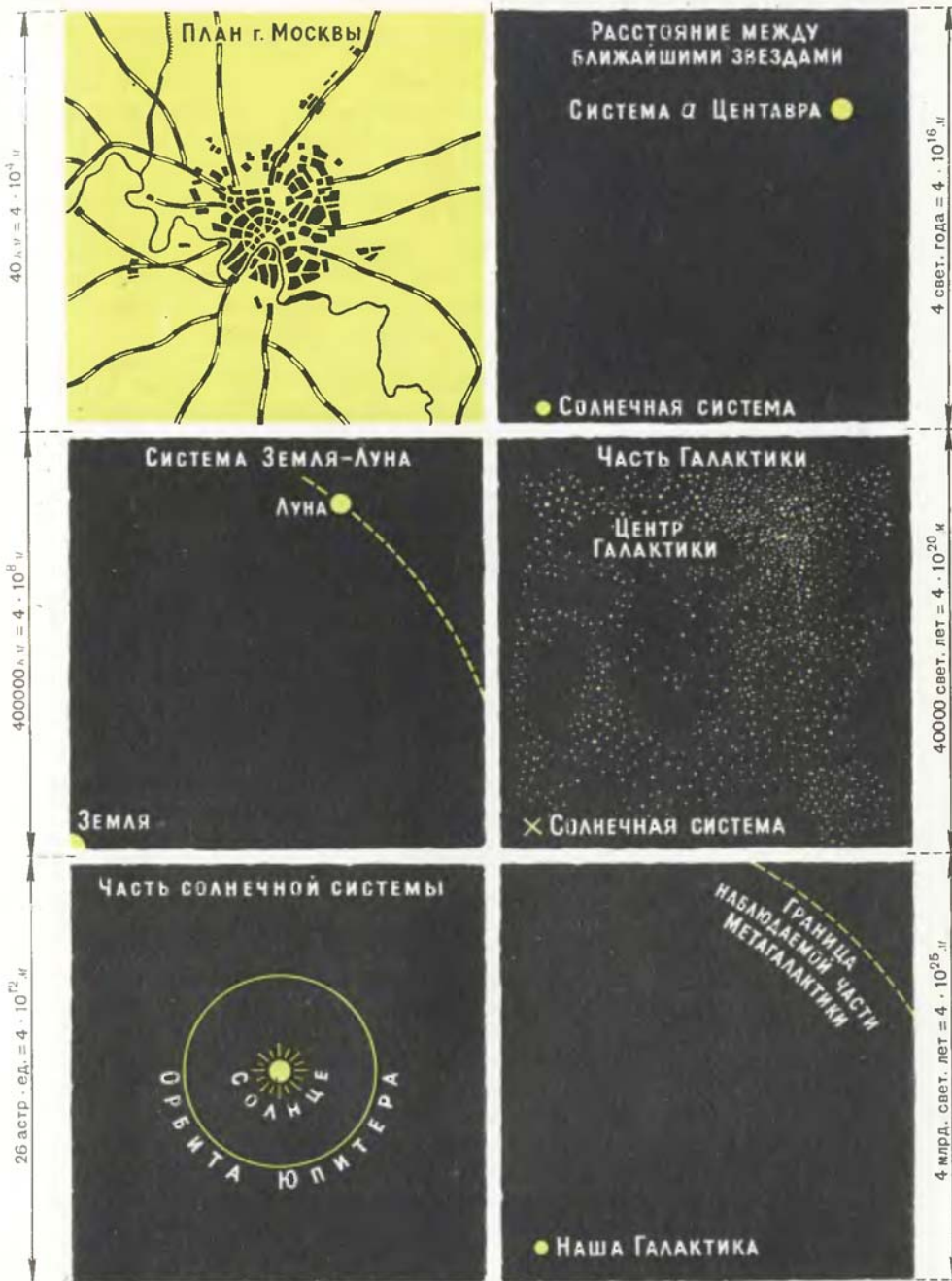


Рис. 109. Масштабы Вселенной

Было время, когда все светила считали расположенными на небесных сферах на одинаковом расстоянии от Земли. Потом установили, что даже до Солнца расстояние составляет 150 млн. км. Это расстояние приняли за астрономическую единицу длины. Позднее определили расстояние и до ближайших звезд и ввели новую, еще большую единицу — парсек. Некоторые исследователи предполагали, что Млечный Путь исчерпывает собой всю Вселенную, но было, наконец, установлено, что спиральные туманные пятнышки — это другие звездные системы, расположенные на расстояниях в сотни тысяч и в миллионы парсеков. Это побудило ввести еще большие единицы расстояний — килопарсек, равный тысяче парсеков, и мегапарсек — миллион парсеков.

По мере усовершенствования телескопов и методов исследования открываются все более и более далекие от нас миры и мы убеждаемся, что Вселенная не имеет границ, что она бесконечна. В какую бы сторону мы ни двигались, мы никогда не дошли бы до ее конца и встречали бы все новые и новые миры, находящиеся в состоянии непрерывного движения и изменения.



Происхождение и развитие небесных тел

§ 57. ПОСТАНОВКА ВОПРОСА О ПРОИСХОЖДЕНИИ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ И ИХ ВОЗРАСТЕ

Происхождением Земли и небесных светил человечество интересуется с первых ступеней своей сознательной жизни. С этим вопросом люди в древности обращались к жрецам — служителям культа, которые, как верующим казалось, постигли все тайны бытия. Однако жрецы, как и народ, не располагали тогда никакими научными данными о происхождении небесных светил. С другой стороны, жрецы насаждали религию, почтение к богам и к своей касте. Поэтому они не могли подобный вопрос оставить без ответа. Жрецы распространяли легенды о том, что бог или боги (в зависимости от религии данного народа) сотворили, создали мир по своему желанию.

Одной из таких легенд является рассказ о сотворении мира богом в шесть дней. Он приводится в Библии — священной книге иудеев и христиан — и записан будто бы со слов бога, но в действительности этот рассказ заимствован древними евреями у вавилонских жрецов. Там, например, говорится, что сначала бог «создал свет» и «отделил его от тьмы», а потом, лишь на четвертый день, создал Солнце, Луну и звезды. Это грубое заблуждение основано на незнании древними народами простой истины, что всякий свет должен иметь источник. До образования Солнца и других светил никакого света вообще не могло быть, не могло быть и дней, которыми в легенде измеряется продолжительность творения мира. Эти легенды вообще противоречат основным данным науки. Их ошибочность прежде всего в том, что мир якобы был создан, и притом из ничего.

Из опыта хорошо известно, что из ничего ничто возникнуть не может, что материя вечна, не создается и не уничтожается и что возможны лишь переходы материи из одного вида и состояния в другие. Точно так же не уничтожается и движение материи, вечна присущая ей энергия. Энергия существует извечно и лишь меняет свои виды и форму. Закон сохранения вещества, открытый Ломоносовым, и закон сохранения энергии лежат в основе научных заключений о происхождении миров.

Религиозные легенды, божественные откровения о сотворении мира богом не подлежали критике и задерживали развитие науки. Они и сейчас играют глубоко реакционную роль.

Ссылка на сотворение мира богом вообще ничего не объясняет и лишь заменяет одно непонятное другим, еще более непонятным. С другой стороны, зная, что материя и ее движение не уничтожаются, мы вообще не должны ставить вопрос о происхождении мира в целом. Такой вопрос лишен смысла. Можно ставить вопрос только о происхождении отдельных небесных тел: Земли, Солнца, звездных систем, потому что вещество, из которого они состоят, и движения, которым они подвержены, должны были существовать и раньше, но в другой форме. Возникнув, всякое небесное тело, как и все в природе, не остается таким неизменно, а развивается, видоизменяется. Таким образом, происхождение, образование небесных тел и их развитие тесно связаны между собой.

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

Возрастом небесных тел мы называем время, протекшее с момента их образования до настоящего момента. Это время очень велико, и в сравнении с ним человеческая жизнь и возраст науки на Земле — лишь краткий миг. Об этом можно догадаться уже по медленному, хотя и непреложному изменению поверхности нашей Земли.

Возраст Земли определяют различными методами. Самый точный из них состоит в следующем.

Известно, что атомы радиоактивных химических элементов, распадаясь самопроизвольно, превращаются в атомы других химических элементов. Например, некоторое количество урана с течением времени превращается в определенное, заранее известное количество свинца. Из отношения количества свинца к количеству урана, находящихся в радиоактивной горной породе, можно определить, сколько времени продолжается распад данного урана в этой горной породе, то есть сколько ей лет.

Определение возраста разных горных пород показало, что самые древние из них образовались несколько миллиардов лет назад. Таков, очевидно, возраст земной коры. Возраст Земли (с момента ее образования) как небесного тела должен быть больше возраста ее коры. Изучение окаменелых растений в земной коре по-

казывает, что за сотни миллионов лет излучение Солнца существенно не изменилось, то есть что оно остается и теперь таким же горячим. Значит, возраст Солнца превышает возраст Земли.

Возраст нашей звездной системы — Галактики, несомненно, больше, чем возраст Солнца, а значит, и Земли.

Со всеми этими данными необходимо считаться, когда мы хотим представить себе происхождение и развитие отдельных небесных тел и их систем.

§ 58. ПРОИСХОЖДЕНИЕ ПЛАНЕТНЫХ СИСТЕМ

Выяснение происхождения солнечной системы, то есть образования планет, и в частности Земли, связано с большими трудностями. Основная трудность заключается в том, что мы не знаем пока других подобных систем, хотя они и должны существовать. Действительно, если бы мы наблюдали другие солнечные системы, то, вероятно, среди них оказались бы системы, находящиеся на разных ступенях своего развития. Сравнивая их между собой, мы смогли бы восстановить историю возникновения и развития нашей солнечной системы.

Нельзя забывать и того, что планеты, подобные Земле, даже около ближайших звезд должны светиться так слабо, что и в гигантские современные телескопы их нельзя было бы видеть. Поэтому невидимость таких планет вовсе не является доказательством того, что в действительности они не существуют.

Все же получены данные о существовании невидимых нами очень крупных планет, обращающихся около некоторых звезд. Их присутствие обнаружено по небольшим периодическим отклонениям некоторых звезд от движения по прямой линии под действием притяжения невидимых тел значительно меньшей массы. Частая встречаемость таких систем показывает, что существование солнечных систем — явление не редкое.

В середине XVIII в. немецкий философ Кант впервые выдвинул научное предположение — гипотезу о возникновении солнечной системы. Сходную в некоторых отношениях гипотезу позднее независимо от Канта выдвинул французский ученый Лаплас. Кант считал, что солнечная система возникла из мелких твердых частиц, которые были холодными. Неоднородность хаоса этих частиц вызвала рост имевшихся в них сгущений, а столкновения их друг с другом превратили движения в круговые около наибольшего сгущения, ставшего позднее Солнцем. Меньшие сгущения, образовавшиеся вокруг него, стали планетами.

Лаплас предполагал, что солнечная система образовалась из большой вращающейся газовой туманности. При сжатии туманности в результате охлаждения вращение ее ускорилося, что привело к сплющиванию туманности. При дальнейшем возрастании

скорости вращения вдоль экватора сокращающейся туманности начали отделяться одно за другим газовые кольца, сгустившиеся затем в шарообразные планеты. Сила тяготения к центру туманности проявляла себя как центробежная сила. При большой скорости вращения сила тяготения не смогла удержать частицы туманности на траектории вращения, и они, двигаясь по инерции (по касательной), стали удаляться от оси вращения. Это вначале вызвало сплющивание туманности, а впоследствии — отделение газовых колец на периферии сокращавшейся в размерах центральной части туманности, которая превратилась затем в Солнце.

Современные данные говорят о том, что планетные системы по целому ряду причин не могли образоваться так, как допускали Лаплас и Кант. Но показанная Кантом и Лапласом возможность постепенного возникновения и развития небесных тел из других форм материи явилась важной поддержкой материалистического объяснения развития Вселенной.

Рис. 110. Образование планет из газовой-пылевой диска.



К настоящему времени советские ученые развили материалистические идеи Канта об образовании планет из холодных мелких частичек и из газа, основываясь на точном знании законов механики, физики и химии.

Подробнее всего картина происхождения солнечной системы из газовой-пылевой облака разработана академиком О. Ю. Шмидтом.

Советские ученые доказали, что вращавшееся вокруг Солнца большое облако, состоявшее из газа и пыли, должно было принять сплошную форму в результате соударений частиц и движения их в газовой-пылевой среде. Вследствие взаимных столкновений частицы объединялись в сгущения. Притяжение более мелких частиц большими сгущениями должно было вызывать рост таких сгущений за счет окружающего вещества. Орбиты сгущений, образовавшихся из сплюсненного облака, должны были стать почти круговыми и лежащими почти в од-

ной плоскости. Сгущения явились зародышами планет, в которые они превратились, вобрав в себя почти все вещество из промежутков между их орбитами (рис. 110).

Доказано, что расстояния между возникшими планетами с учетом закона тяготения должны правильно увеличиваться с удалением от Солнца, как это мы наблюдаем на плане солнечной системы.

Менее ясно происхождение газово-пылевого облака, когда-то окружавшего Солнце. По мнению О. Ю. Шмидта и разделяющих его воззрения ученых, Солнце могло захватить своим притяжением часть такого, еще большего облака, из которого оно ранее само возникло в результате сгущения. Академик В. Г. Фесенков находит более вероятным, что из подобного вращающегося облака возникло путем сгущения само Солнце и что планеты возникли из вторичных сгущений в этом облаке. В дальнейшем, по его расчетам, Солнце сильно уменьшилось в размерах и охладилось до современного состояния.

В настоящем время объяснение всех подробностей строения солнечной системы, исходя из имеющихся гипотез, дать пока нельзя. Это будет сделано в ходе дальнейшего развития науки.

§ 59. РАЗВИТИЕ ЗВЕЗД, СОЛНЦА И ТУМАННОСТЕЙ. ВЕЧНОСТЬ ВСЕЛЕННОЙ

Физическая природа звезд изучена еще недостаточно полно, чтобы можно было с уверенностью говорить о том, как возникают звезды, в частности, как возникло Солнце и какова судьба звезд.

Вполне возможно, что с течением времени в некоторых местах пространства межзвездная пыль и газ сгущаются в тела больших размеров. Дальнейшее сжатие таких тел ведет к их разогреванию и свечению, то есть к превращению в звезды. Когда температура внутри них поднимается достаточно высоко, там должно начаться превращение водорода в более тяжелые химические элементы, что сопровождается длительным и огромным выделением энергии. В таком состоянии звезды могут находиться по меньшей мере десятки миллиардов лет (как, например, наше Солнце).

Одновременно со звездами либо несколько позднее вокруг них из газово-пылевой среды образуются планеты. Когда на планетах появляются условия, пригодные для возникновения жизни, как это случилось на Земле, там жизнь возникает с неизбежностью.

Мы не знаем в точности, какова будет дальнейшая судьба звезд, но несомненно, что с течением времени их энергия иссякнет и они перестанут светиться. Их вещество должно будет каким-то образом пойти на образование новых небесных тел. Советские ученые уста-

новили, что диффузная материя в нашей Галактике образуется и сейчас в результате накопления газов, выбрасываемых звездами (наиболее горячими и новыми). Этот газ, вероятно, может сгущаться и образовывать звезды. В. А. Амбарцумян и другие советские ученые полагают, что многие звезды моложе Земли и, по-видимому, возникают и в настоящее время. Не следует думать, что звезды и туманности без конца превращаются друг в друга, то есть вместо развития происходит простое повторение пройденных форм и состояний материи. Вследствие процессов, происходящих в недрах звезд, выбрасываемые ими газы имеют состав, несколько отличный от того, который они имели, когда сгущались в эти звезды в прошлом.

Изучение и развитие небесных тел сталкивается с громадными трудностями. Эти трудности состоят главным образом в том, что развитие небесных тел протекает чрезвычайно медленно, так медленно, что в сравнении с ним не только длительность человеческой жизни, но даже все время существования человечества на Земле (около миллиона лет) является только кратким мигом. За время же научных наблюдений большинство небесных светил тем более не успело сколько-нибудь заметно измениться.

В противоположность религии, которая приписывает все происходящее воле бога и утверждает, что мир для людей непознаваем, наука познает Вселенную шаг за шагом. Наука строго разграничивает известное от предполагаемого и предполагаемое от еще неизвестного.

В этом и состоит сила науки, движение которой вперед постепенно делает предполагаемое твердо установленным, а вместо неизвестного позволяет выставлять предполагаемое. Этим наука постоянно доказывает возможность познания природы и все большую точность этого познания, хотя все наши знания не могут быть абсолютно точными. Развивающаяся наука уточняет ранее существовавшие представления. Если те или иные научные представления приходится заменять новыми, то это как раз доказывает силу науки, а не ее слабость, ибо новые представления оказываются ближе к истине, чем прежние, ранее существовавшие. Смена научных представлений — это как бы восхождение к вершинам знаний по ступенькам лестницы.

Например, из кажущегося противоречия движения Урана с законом всемирного тяготения возникло предположение о существовании планеты за Ураном, а затем на основе этого предположения была открыта неизвестная дотоле планета Нептун.

Наука при помощи гипотез, то есть научных предположений, объясняет происхождение и развитие различных небесных тел. История показывает, что с развитием науки одни гипотезы приходится заменять другими, но новые гипотезы оказываются ближе к истине, так как они возникают в результате углубления научных знаний.

Роль гипотез в науке очень велика. Фридрих Энгельс, называя гипотезу «формой развития естествознания», подчеркнул, что без гипотез «мы никогда бы не получили закона».

Гипотезы вызывают необходимость новых теоретических исследований, ведущих к открытиям в науке.

Научные гипотезы отличаются от простых предположений тем, что они основываются на всей совокупности наших знаний в данное время и стремятся удовлетворять многим научным требованиям.

Подобно тому как Вселенная в свете научных данных оказывается бесконечной в пространстве, она оказывается бесконечной и во времени, то есть вечной. Вселенная никогда не имела начала и никогда не будет иметь конца, она всегда существовала и будет существовать. Все это касается Вселенной в целом, точнее говоря — материи, из которой она состоит. Отдельные же ее части, например Земля, солнечная система, звезды и даже звездные системы — галактики, постоянно то тут, то там возникают, зарождаются, совершают долгий путь развития и, наконец, прекращают свое существование в этом виде с тем, чтобы образующая их материя приняла новую форму. Сама же материя, постоянно изменяя свою форму, не уничтожается никогда; она вечна, и вечно ее движение. На смену отжившим мирам возникают новые, на которых с течением времени тоже возникает жизнь, путем постепенного усложнения воспроизводящая свое высшее выражение — разумные мыслящие существа.

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	$23\frac{1}{2}^\circ$
Средний радиус Земли	6370 км
Разность экваториального и полярного радиусов Земли	20 км
Продолжительность тропического года	365 сут 5 ч 49 мин
Продолжительность синодического месяца (промежуток между двумя одинаковыми лунными фазами)	$29\frac{1}{2}$ сут
Продолжительность звездного (сидерического) месяца (период обращения Луны вокруг Земли)	$27\frac{1}{3}$ сут
Масса Солнца по сравнению с Землей	330 000
Самый короткий период обращения планеты (Меркурия)	3 месяца (88 сут)
Самый долгий период обращения планеты (Плутона)	250 лет
Диаметр самой большой планеты (Юпитера)	11 диаметров Земли
Среднее расстояние Луны от Земли	380 000 км
Среднее расстояние Земли от Солнца или 1 астрономическая единица	150 000 000 км
1 парсек	206 265 астрон. ед, или $3\frac{1}{4}$ световых года
Расстояние от Солнца до ближайшей планеты (Меркурия) по сравнению с расстоянием Земли от Солнца	0,4 астрон. ед.
Среднее расстояние от Солнца до самой далекой планеты (Плутона)	40 астрон. ед.
Расстояние от солнечной системы до ближайшей звезды (α Центавра)	4 световых года, или $1\frac{1}{3}$ парсека, или 270 000 астрон. ед.
Поперечник нашей звездной системы—Галактики	100 000 свет. лет
Расстояние до ближайшей спиральной звездной системы—галактики в созвездии Андромеды	1 500 000 свет. лет
Число звезд, видимых невооруженным глазом	около 6000
Диаметр Луны по сравнению с диаметром Земли	$1/4$
Диаметр Солнца по сравнению с диаметром Земли	109
Температура поверхности Солнца	6000°
Средний период изменения числа солнечных пятен	11 лет
Температура звезд	от 3000° (красные звезды) до $30\,000^\circ$ (белые звезды)
Возраст земной коры	около 3 млрд. лет
Весеннее равноденствие	около 21 марта
Летнее солнцестояние	» 22 июня
Осеннее равноденствие	» 23 сентября
Зимнее солнцестояние	» 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	υ — ипсилон
ϵ — эпсилон	ν — ни	ϕ — фи
ζ — дзета	ξ — кси	χ — хи
η — эта	\omicron — 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
Альгаир	— 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 Лебеда	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; белые звезды—O, B, A желтые—F, G, K, красные—M.

Звезда	Звездная величина	Прямое восхождение α			Склонение δ	Спектр. класс
		ч	мин	сек		
α Тельца	1,06	4	31	54	+16 22,2	K
β Ориона	0,34	5	11	10	— 8 16,9	B
α Возничего	0,21	5	11	31	+45 55,7	G
α Ориона	0,92	5	51	23	+ 7 23,7	M
α Б. Пса	—1,58	6	42	4	—16 37,1	A
α Близнецов	1,99	7	30	8	+32 2,6	A
α М. Пса	0,48	7	35	38	+ 5 24,3	F
β Близнецов	1,21	7	41	2	+28 11,8	K
α Льва	1,34	10	4	39	+12 18,6	B
α Девы	1,21	13	21	30	—10 47,8	B
α Волопаса	0,24	14	12	28	+19 32,8	K
α Скорпиона	1,22	16	25	7	—26 16,7	M
α Лиры	0,14	18	34	34	+34 43,1	A
α Орла	0,89	19	47	22	+ 8 40,9	A
α Лебеда	1,33	20	39	3	+45 1,8	A
α Южной Рыбы	1,28	22	53	47	—29 59,6	A

V. ШИРОТЫ И ДОЛГОТЫ ГОРОДОВ СССР (ОТ ГРИНВИЧА)

Город	Широ- та	Дол- гота ч мин	Пояс	Город	Ши- роза	Дол- гота ч мин	Пояс
Алма-Ата	43° 16'	5 07,7	V	Омск	55° 00'	4 53,5	V
Архангельск	64 33	2 42,1	III	Орел	52 56	2 24,3	II
Астрахань	46 22	3 12,3	III	Оренбург	51 45	3 40,7	IV
Ашхабад	37 57	3 53,6	IV	Орджоникидзе	43 02	2 58,7	III
Баку	40 22	3 19,3	III	Пенза	53 12	3 00,0	III
Благовещенск	50 15	8 30,0	VII	Пермь	58 00	3 45,0	IV
Вильнюс	54 41	1 41,2	II	Петрозаводск	61 45	2 17,3	II
Владивосток	43 06	8 47,7	IX	Петропавловск- Камчатский	53 00	10 34,7	XI
Волгоград	48 42	2 58,0	III	Полтава	49 36	2 18,3	II
Воронеж	51 40	2 36,8	III	Рига	56 58	1 36,5	II
Горький	56 19	2 56,0	III	Ростов-на-Дону	47 14	2 38,8	III
Днепропет- ровск	48 30	2 20,0	II	Рязань	54 38	2 39,0	II
Душанбе	38 35	4 35,1	V	Самарканд	39 39	4 27,9	IV
Ереван	40 11	2 58,0	III	Саратов	51 32	3 04,0	III
Житомир	50 16	1 54,7	II	Свердловск	56 50	4 02,4	IV
Иваново	57 00	2 44,0	III	Севастополь	44 37	2 14,1	II
Иркутск	52 17	6 57,2	VII	Семипалатинск	50 25	5 21,3	V
Казань	55 48	3 16,5	III	Симферополь	44 58	2 16,5	II
Калининград	54 47	1 22,1	II	Смоленск	54 47	2 08,2	II
Каменец- Подольский	48 41	1 46,1	II	Таллин	59 26	1 38,9	II
Киев	50 27	2 02,0	II	Тамбов	52 40	2 46,0	III
Киров	58 36	3 18,8	III	Ташкент	41 19	4 37,1	V
Кишинев	47 02	1 55,3	II	Тбилиси	41 43	2 59,3	III
Красноярск	56 01	6 11,3	VI	Тобольск	58 12	4 33,0	V
Куйбышев	53 12	3 20,4	III	Томск	56 29	5 39,9	VI
Курск	51 44	2 24,7	II	Тула	54 12	2 30,5	II
Ленинград	59 56	2 01,3	II	Ульяновск	54 19	3 13,7	III
Львов	49 51	1 36,1	II	Уфа	54 43	3 43,9	IV
Минск	53 53	1 50,2	II	Фрунзе	42 53	4 58,3	V
Могилев	53 54	2 01,3	II	Хабаровск	48 30	9 00,3	IX
Москва	55 45	2 30,5	II	Харьков	49 58	2 25,0	II
Мурманск	68 58	2 12,3	II	Чернигов	51 29	2 05,2	II
Николаевск- -на-Амуре	53 10	9 23,0	IX	Чита	52 03	7 34,0	VIII
Новгород	58 30	2 05,0	II	Якутск	62 03	8 38,9	VIII
Новосибирск	55 02	5 31,7	VI	Ярославль	57 35	2 39,6	II
Одесса	46 28	2 02,9	II				

VI. ТАБЛИЦА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

	Сидерический период обращения (в годах)	Синодический период обращения (в сутках)	Среднее расстояние от Солнца		Наклонение орбиты к эклиптике	Масса (Земли = 1)	Плотность, г/см ³	Экваториальный диаметр		Сжатие	Период вращения вокруг оси	Наклон экватора к плоскости орбиты	Число известных спутников
			в а. е.	в млн. км				Земли = 1	км				
Меркурий	0,241 ¹	116	0,387	58	7°	0,05	5,48	0,39	5000	—	88 сут	0°	—
Венера	0,615 ²	584	0,723	108	3 23'	0,81	4,9	0,97	12400	—	225? сут	?	—
Земля	1,000	—	1,000	150	—	1,00	5,5	1,00	12756	1/298	23 ч 56 м 4 с.	23°27'	1
Марс	1,881	780	1,524	228	1 51'	0,11	4,0	0,53	6780	1/192	24 ч 37 м 23 с.	25 10'	2
Юпитер	11,86	399	5,203	778	1 18'	318,36	1,3	11,25	143640	1/16	9 ч 50 м	3 6'	12
Сатурн	29,46	378	9,539	1426	2 29'	95,22	0,7	9,02	120500	1/10	10 ч 14 м	26 45'	9
Уран	84,01	370	19,19	2869	0 46'	14,58	1,01	4,00	53400	1/18	10 ч 7'	98'	5
Нептун	164,7	368	30,07	4496	1 46'	17,26	1,6	3,89	49600	1/40	15 ч 8'	29'	2
Плутон	248,9	367	39,65	5929	17'	0,93	5?	1?	12000?	?	?	?	—
Солнце	—	—	—	—	—	332400	1,4	109,0	1391000	—	25,4 сут (на экваторе)	7°15'	—

¹ Или 88 суток.

² Или 225 суток.

VII. УСТРОЙСТВО СОЛНЕЧНЫХ ЧАСОВ

Сделать экваториальные солнечные часы (рис. 111) очень просто. Для этого возьмите доску и из ее середины проведите на ней линии, расходящиеся во все стороны так, чтобы углы между соседними линиями составляли 15° , отметьте на этих линиях 12 ч, 1 ч, 2 ч и т. д. (потому что на экваториальной плоскости тень поворачивается с одинаковой скоростью). В точке пересечения этих линий перпендикулярно к доске укрепите стержень, проходящий через доску насквозь.

Наклонив доску со стержнем к горизонту на угол, равный $90^\circ - \varphi$, где φ — географическая широта места наблюдения, закрепите ее так, чтобы линия на доске с отметкой 12 ч пришлась как раз над полуденной линией. Последнюю определяют и прочерчивают на месте установки солнечных часов заранее так, как это было описано в § 7.

Неудобство подобных часов состоит в том, что с 23 сентября по 21 марта тень стержня падает на циферблат снизу.

Горизонтальные солнечные часы (рис. 112) в этом отношении удобнее. Берем доску и устанавливаем перпендикулярно к ней треугольник с острым углом, равным широте места φ . Как продолжение основания треугольника чертим линию и надписываем возле нее 12 ч. Линии, соответствующие другим часам, проводим под углами к этой линии в зависимости от географической широты, вычисляя их по формуле

$$\operatorname{tg} x = \sin \varphi \cdot \operatorname{tg} t,$$

где вместо t , равного 1 ч, 2 ч, 3 ч и т. д., подставляем 15° , 30° , 45° и т. д. Углы x между делениями последовательных часов не равны 15° , как в экваториальных часах, потому что при равномерном суточном вращении Солнца (вместе с небесной сферой — вокруг оси мира) тень стержня на горизонтальной плоскости перемещается неравномерно.

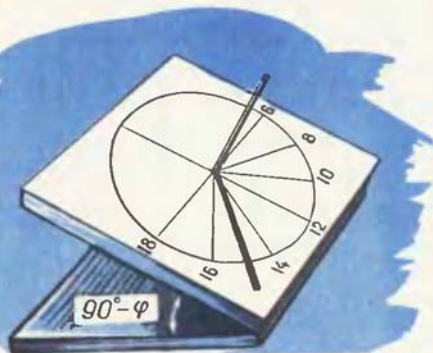


Рис. 111. Экваториальные солнечные часы.

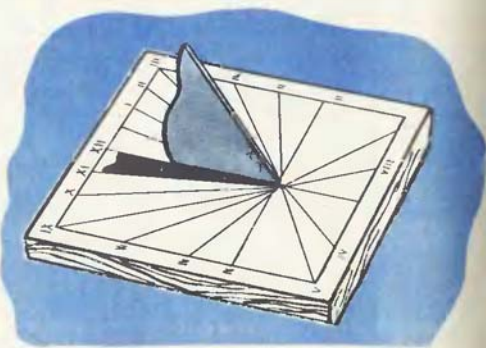


Рис. 112. Горизонтальные солнечные часы.

Полуденную линию циферблата горизонтальных солнечных часов, соответствующую 12 ч дня, надо установить тоже по направлению север—юг. Солнечные часы показывают, конечно, истинное солнечное время. Для перевода их показаний в декретное время надо знать разность местного и декретного времени в данной местности. При этом все же еще останется различие, меняющееся в течение года и доходящее иногда до четверти часа. Это различие также можно учесть по специально существующим для этого графикам или по таблицам астрономического календаря. Впрочем, для весеннего и летнего времени, когда обычно только и пользуются солнечными часами, это различие не превосходит 4 мин, кроме промежутка времени с начала июля до середины августа. В этот период истинное время отстает от среднего на 5—6 мин.

VIII. 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, можно видеть только вечером. 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, а также имея в виду краткий срок прохождения астрономии в школе, наблюдения ни в коем случае нельзя откладывать. Их надо выполнить при первой же возможности, используя ясные вечера и не пытаясь приурочивать наблюдения к изучению соответствующих вопросов программы на уроке. Достигнуть такого согласия невозможно по условиям погоды.

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

Наблюдать надо 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 совершенно необходимо (и, чем раньше, тем лучше) произвести такие наблюдения.

1. Один раз, приблизительно через каждые 2 недели (в зависимости от погоды), заметить время и зарисовать (по отношению к окружающим предметам) на видном горизонте место захода или восхода Солнца. Зарисовку делать всякий раз с одного и того же места. Убедиться в изменении точки восхода или захода.

2. Желательно выполнить то же в отношении Луны, но при этом еще всякий раз надо записывать время восхода или захода. Для Луны наблюдения надо вести уже ежедневно, отметив всего 3—4 ее восхода (или захода).

3. Проследить (изо 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 когда видны поэтому неяркие звезды. Если же заметить положение Луны относительно лишь самых ярких звезд, то (поскольку их мало на небе) движение Луны на 13° в сутки мы можем отчетливо не заметить. Эти наблюдения покажут нам, как Луна перемещается к востоку на фоне звезд.

4. Осенью при помощи подвижной звездной карты найти и запомнить созвездие Большой и Малой Медведиц, 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 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 блеска звезд, изображенных на карте, и мысленно соединять их прямыми линиями, как показано на карте. Найдя одно созвездие, переходить от него к другому, пользуясь указаниями § 2.

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

7. В самом начале и в конце наблюдений созвездий заметить место каких-либо ярких звезд относительно горизонта вследствие суточного вращения неба и в зависимости от расстояния звезд от полюса мира. Желательно сфотографировать вращение неба около полюса так, как это описано в § 5.

8. Для зачета показать учителю, как найти Полярную звезду, а по ней — основные точки горизонта.

9. На занятиях целым классом или самостоятельно провести на школьном дворе или у себя дома полуденную линию по Солнцу, как описано в § 7.

10. По фазе и по положению Луны относительно горизонта указать приблизительное положение основных точек горизонта.

11. 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 созвездия, в котором планета видна. Через 1—2 месяца повторить эту зарисовку и выяснить, как планета переместилась.

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

13. Наблюдения в телескоп или бинокль. Бинокль лучше брать призмальный, который дает 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 кольцевые 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 (очень близко от него).

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Азимут 52, 53
 Алголь 127, 128
 Альтаир 13
 Амбарцумян В. А. 145
 Антарес 123, 124
 Апогей 49
 Аристотель (384—322 до н. э.) 25
 Арктур 13
 Астероиды 6, 94, 103
 Астрология 23, 24
 Астрономическая единица 33
 Астрономические методы 74, 84
 Астрономические наблюдения 73, 74, 153, 154
 Астрономия 3—5, 26, 50, 73, 74, 104, 119, 126, 138
 Афелий 32, 95, 105
- Базис** 35, 36
 Бетельгейзе 123, 124
 Белопольский А. А. (1854—1934) 80
 Блеск 9, 10, 127—129
 Близнецы 11
 Болид 108, 109
 Большая Медведица 9, 10, 12, 122
 Бредихин Ф. А. 105, 106
 Бруно, Джордано (1548—1600) 29
- Вега 14, 123
 Венера 7, 21, 22, 27, 28, 31, 96, 97
 Венеры фазы 96
 Видимое годичное движение Солнца 57—60
 Видимые движения планет 21, 22, 30—33
 Возмущения 41
 Времена года 63, 64
 Время декретное 67
 — солнечное 65, 66
 — местное 65
 — среднее солнечное 66
 Вселенная 5—8, 138—140, 144—146
 Высота 52, 53
 — полюса мира над горизонтом 54
- Галактика 7, 8, 130—133, 136—138, 143, 145
 Галактики 134, 135, 138, 146
- Галилей, Галилео (1564—1642) 28, 29
 Гелиоцентрическая система мира 27
 Геоцентрическая система мира 25
 Геркулес 123, 130
 Гипотеза Канта 143, 144
 — Лапласа 143, 144
 — Фесенкова В. Г. 145
 — Шмидта О. Ю. 144, 145
 Год високосный 71
 — прогой 72
 — тропический 71
 Гониме Псы 134
 Горизонт 16
 Горизонта точки 18
 Горизонтальная плоскость 16
 Гравитационная постоянная 38
 Градусные измерения 33, 34
- Давление света 106
 Движение планет попятное 22
 Движение планет прямое 22
 Деферент 25
 Диффузная материя 130, 138, 145
 Долгота 51, 52, 70, 71, 150
- Закон Ньютона 38
 Законы Кеплера 30—33
 Звезд атмосферы 123, 129
 — блеск 127, 129
 — диаметры 123—125
 — скорости 122, 127
 — массы 126
 — плотности 124, 125
 — расстояния 120—123, 128, 129
 — светимости 121, 124—126, 128, 129, 136
 — собственные движения 121, 122, 128
 — спектры 123, 124, 127
 — температуры 123—125, 126
 — физическое строение 121, 124, 126
 Звездная величина 9, 10, 15
 Звездные скопления 130
 Звезды белые карлики 125, 126
 — гиганты 124—126
 — двойные 126, 127
 — затменно-двойные 127, 128
- Звезды карлики 124—126
 — кратные 127
 — новые 124
 — оптически-двойные 126
 — переменные 126, 128, 129
 — спектрально-двойные 127
 — физически-двойные 126
 Земли возраст 142
 — вращение 13, 14, 42, 43
 — масса 40
 — обращение 62—64
 — размеры 33, 34
 — сжатие 34, 50
 — форма 33
 — шарообразность 33
 Земля 12, 13, 33, 34, 3, 9, 42, 44—50, 54
 Зенит 16
 Зенитное расстояние 52, 56
 Зодиак 58
 Зодиакальный свет 116
- Искусственные спутники**
 Земли 45—50
 Излучение энергии Солнцем 117, 119
 Исчощники энергии Солнца 119
 Изменение суточного пути Солнца 60—62
- Календарь 71—73
 Капелла 123
 Кассиопея 11, 12
 Кеплер, Иоганн (1571—1630) 31—33
 Кольца Сатурна 102
 Комета Бизлы 108
 — Галлея 105
 — Энке-Баклунда 104
 Кометы 6, 94—104, 108
 — голова 104, 106
 — происхождение 106
 — распад 105, 106
 — хвост 104, 106
 — ядро 104, 106
 Коперник, Николай (1473—1543) 31
 Космические полеты 45—50
 — скорости 49
 Космогония 142
 Координаты см. Системы координат
 Кривая блеска 49
 Кульминация 19, 20, 56, 84

- Лебедев П. Н.* (1866—1912) 106
 Линия изменения даты 69
 Лира 11, 123, 135
 Луна 21—23, 38, 40, 84—93
 Лунной орбиты узлы 83, 85, 86
 Лунные затмения 4, 85—87
 — кратеры 92, 93
 — моря 91, 93
 — цирки 92, 93
 Луны атмосфера 93, 94
 — вращение 90, 91
 — температура поверхности 94
 — фазы 83
- Малая Медведица 9, 10, 12
 Марс 7, 21, 22, 27, 97—99
 Маятник Фуко 43
 Меридиан 17, 18
 Меридианный круг 53
 Меркурий 7, 21, 22, 27, 31, 94, 96, 97
 Месяц сидерический 83, 84, 91
 — синодический 84
 Метеорит Сихоте-Алинский 109
 — Тунгусский 109
 Метеориты 108, 109
 Метеорное тело 94
 Метеорные потоки 107
 Метеоры 107—108
 Млечный путь 8, 28, 130, 132, 137
- Надир 18
 Нахождение созвездий на небе 10, 11
 Небесная сфера 14, 15, 18, 122
 Небесный экватор 17, 19, 56, 63
 Небесных тел происхождение 141—147
 — — развитие 141—147
 Нептун 42, 99, 102
 Новолуние 83, 84, 85
 Новый стиль 71, 72
Ньютон, Исаак (1643—1727) 38, 39, 40
- Обсерватории 82, 127
 Определение масс планет и Солнца 39—41
 — размеров Солнца, Луны и планет 37
 — расстояний до Луны и Солнца 35—37
 — скоростей небесных светил 79, 80
 — температуры небесных светил 81
 Орел 11—13
 Ориентировка 18—20
 Ось мира 16
- Параллакс годичный 36, 44, 45, 120, 121
 — горизонтальный 35
 Параллактическое смещение 35, 36, 44
- Парсек 120, 121, 131, 139, 140
 Пегас 11, 14
 Перигей 49
 Перигелий 32, 105
 Планеты 5, 30—33, 94—104
 Плеяды 130
 Плутон 7, 94, 95
 Подвижная карта звездного неба 12
 Полнолуние 84, 93
 Полуденная линия 17, 18, 153
 Полюсы мира 16, 17, 54
 Полярное сияние 118
 Полярная звезда 11, 16, 35
 Приливы и отливы 40, 41
 Принцип Допплера—Физо 79
 Происхождение месяца и недели 72
 Проксима 45
 Противостояние 97
 Прямое восхождение 51, 52
Птолемей, Клавдий (II в.) 25—27
 Радиант 108
 Радиоастрономия 81, 82
 Радиотелескопы 5, 81
 Рефлектор 76
 Рефрактор 75
- Сатурн 21, 22, 27, 34, 99—102
 Световой год 120, 121
 Секстант 73, 74
 Сириус 13, 123, 125
 Системы координат горизонтальные 52
 — экваториальные 31, 52, 65
 Склонение 51
 Служба времени 60
 Созвездия 5, 9, 50, 123
 Солнечная система 6, 23, 94—96, 121, 122, 124, 133, 143, 151
 Солнечное затмение кольцеобразное 88
 — — полное 87—89
 — — частное 87, 89
 Солнечные часы 152
 Солнца атмосфера 88, 114, 116
 — возраст 142
 — вращение 113
 — гранулы 113
 — корона 88, 114, 116
 — масса 11, 113
 — обрабатывающий слой 114—116
 — протуберанцы 88, 114
 — пятна 111, 113, 116, 117
 — радиоизлучение 118
 — размеры 111
 — спектр 110, 113, 115
 — температура 113, 116, 117
 — факелы 113
 — флоккулы 113
 — фотосфера 113, 115, 116
 — хромосфера 114—116
 — циклическая деятельность 117
 Солнце 20, 26—28, 44, 57, 85, 111—119
 Солнцестояние зимнее 57
- Солнцестояние летнее 57
 Спектральный анализ 5, 77—81, 113, 122, 126, 127, 136
 Спектрограмма 77
 Спектрограф 77
 Спектроскоп 77
 Спутник Сириуса 125
 Спутники Марса 97
 — Нептуна 102
 — Сатурна 102
 — Юпитера 28, 102
Струве В. Я. 34, 45, 82, 127, 138
Струве О. В. 127
- Телескоп 74—77, 126
 Телец 11—13, 130
 Теодолит 58, 73
 Титан 102
Тихов Г. А. 98
 Точка весеннего равноденствия 51, 58
 — осеннего равноденствия 58
 Точки горизонта 18
 Тритон 102
 Тропик Козерога 61
 — Рака 61
 Туманности газовые 136
 — диффузные 135, 136
 — планетарные 135, 136
 — пылевые 136, 138
- Угловые измерения 15, 16
 Уравнение времени 66
 Уран 41, 99, 102, 145
- Фазы Венеры 28, 96
 — Луны 6, 83
Фесенков В. Г. 145
 Фотография 74—77
Фраунгофер, Иозеф (1787—1828) 115
 Фраунгоферовы линии 115
- Центавра 45
 Церера 103
 Цфеиды 128
Циолковский К. Э. (1857—1935) 45
- Часовой пояс 65, 68
 — угол 65
 Часы кварцевые 69
 — солнечные 152
- Широта гелиографическая 150
 — географическая 54—56
Шmidt О. Ю. 144, 145
- Эклиптика 57, 58, 83
 Эксцентриситет 31
 Эпицикл 25
- Юпитер 7, 21, 22, 27, 28, 34, 99—102
- Явление «пепельного света» 85

О Г Л А В Л Е Н И Е

Введение

§ 1. Предмет астрономии	3
§ 2. Небосвод и созвездия	8
1. Небосвод	—
2. Созвездия	9
3. Звездные величины и названия звезд	—
4. Нахождение созвездий на небе	10
5. Подвижная карта звездного неба	12
§ 3. Суточное вращение звездного неба и вращение Земли	13
§ 4. Небесная сфера и ее значение для практики	14
1. Небесная сфера	—
2. Угловые измерения	15
§ 5. Основные точки и линии небесной сферы	16
1. Зенит и горизонт	—
2. Полюсы и ось мира	—
3. Небесный экватор	17
4. Небесный меридиан и полуденная линия	—
5. Точки горизонта	18
6. Линии небесной сферы и Земля	—
§ 6. Кульминация светил	19
§ 7. Приближенная ориентировка на местности по звездам и по Солнцу	20
§ 8. Видимое перемещение планет	21

Г л а в а I. Развитие представлений о Земле и солнечной системе

§ 9. Астрономия в древности и религиозные суеверия	23
§ 10. Понятие о геоцентрических системах мира	25
§ 11. Революционное открытие Коперника	26
§ 12. Открытия Галилея и борьба церкви против науки	28
§ 13. Истинное движение планет и законы Кеплера	30
§ 14. Определение формы и размеров Земли	33
1. Шарообразность Земли	—
2. Определение размеров Земли	—
3. Сжатие Земли	34
§ 15. Параллактическое смещение и определение расстояний до небесных светил	35
§ 16. Определение размеров небесных светил	37
§ 17. Закон всемирного тяготения и его следствия	38
1. Закон тяготения	—
2. Движение Луны и земное притяжение	—

3.	Движение небесных тел и определение их масс. Масса Земли	39
4.	Приливы и отливы	40
5.	Возмущения в движении планет. Открытие планеты Нептун	41
§ 18.	Доказательства суточного вращения Земли	42
§ 19.	Годичный параллакс звезд как доказательство обращения Земли вокруг Солнца	44
§ 20.	Искусственные спутники Земли и космические полеты	45

Г л а в а II. Основные практические применения астрономии и методы изучения светил

§ 21.	Экваториальные координаты и звездная карта	51
§ 22.	Горизонтальная система координат	52
§ 23.	Способы практического определения координат светил	53
§ 24.	Связь высоты полюса над горизонтом и вида неба с географической широтой места	54
1.	Высота полюса и географическая широта	—
2.	Вид звездного неба в зависимости от положения наблюдателя на Земле	—
§ 25.	Зенитное расстояние светил в момент их кульминации и определение географической широты	56
§ 26.	Видимое движение Солнца по эклипике	57
1.	Годичные изменения полуденной высоты Солнца и вида звездного неба	—
2.	Эклиптика и зодиак	58
§ 27.	Изменение суточного пути Солнца над горизонтом на разных широтах	60
§ 28.	Обращение Земли вокруг Солнца и его следствия	62
§ 29.	Измерение времени	65
1.	Часовой угол и измерение времени	—
2.	Истинные солнечные сутки	—
3.	Среднее солнечное время и уравнение времени	66
§ 30.	Системы счета времени	67
1.	Местный, поясной и декретный счет времени	—
2.	Линия изменения даты	69
3.	Служба точного времени	—
§ 31.	Определение географической долготы	70
§ 32.	Календарь	71
1.	Старый и новый стиль	—
2.	Происхождение месяца и недели	72
3.	Календарная эра	—
§ 33.	Астрономические наблюдения в мореплавании и авиации	73
§ 34.	Астрономические методы изучения небесных светил	74
1.	Телескопы и фотография	—
2.	Спектральный анализ	77
3.	Определение химического состава, скоростей и температуры небесных светил	79
4.	Понятие о радиоастрономии	81
5.	Советские астрономические обсерватории	82

Глава III. Физическая природа тел солнечной системы

§ 35. Движение и фазы Луны	83
§ 36. Затмения Солнца и Луны	85
1. Причины затмений	—
2. Лунные затмения	86
3. Солнечные затмения	87
§ 37. Физическая природа Луны	90
1. Вращение Луны вокруг оси	—
2. Строение лунной поверхности	91
3. Физические условия на Луне	93
§ 38. Общий обзор солнечной системы	—
§ 39. Меркурий и Венера	96
§ 40. Марс и возможность жизни на других планетах	97
§ 41. Планеты-гиганты	99
§ 42. Малые планеты — астероиды	103
§ 43. Кометы, их движение и природа	104
§ 44. Метеоры, или «падающие звезды», и их связь с кометами	107
§ 45. Болиды и метеориты	108
§ 46. Солнце. Вид его в телескоп и вращение	111
§ 47. Атмосфера и химический состав Солнца	114
§ 48. Излучение энергии Солнцем и периодичность солнечной деятельности	117
1. Излучение Солнца и солнечная система	—
2. Солнечная деятельность и пятна	—
3. Полярные сияния	118
4. Значение излучения Солнца и источники его энергии	119

Глава IV. Звезды и звездные системы. Строение Вселенной

§ 49. Годичный параллакс и расстояния до звезд	120
§ 50. Светимость и движение звезд и солнечной системы	121
§ 51. Температура и размеры звезд	123
§ 52. Двойные и переменные звезды	126
§ 53. Звездные скопления. Млечный Путь и Галактика	130
§ 54. Другие звездные системы — галактики	134
§ 55. Диффузная материя	135
§ 56. Бесконечность Вселенной	138

Глава V. Происхождение и развитие небесных тел

§ 57. Постановка вопроса о происхождении небесных тел и их возрасте 141	141
§ 58. Происхождение планетных систем	143
§ 59. Развитие звезд, Солнца и туманностей. Вечность Вселенной 145	145
Приложения	148
Алфавитный указатель	155