Наблюдения – основа астрономии Параграф 2

Астрономия. 11 класс. ***Воронцов-Вельяминов Б.А., Страут Е.К***

§ 2. Наблюдения — основа астрономии

1. Особенности астрономии и ее методов

Огромные пространственно-временные масштабы изучаемых объектов и явлений определяют отличительные особенности астрономии.

Сведения о том, что происходит за пределами Земли в космическом пространстве, ученые получают главным образом на основе приходящего от этих объектов света и других видов излучения. Наблюдения — основной источник информации в астрономии. Эта *первая особенность* астрономии от-

личает ее от других естественных наук (например, физики или химии), где значительную роль играют опыты, эксперименты. Возможности проведения экспериментов за пределами Земли появились лишь благодаря космонавтике. Но и в этих случаях речь идет о проведении экспериментальных исследований небольшого масштаба, таких, например, как изучение химического состава лунных или марсианских пород. Трудно представить себе эксперименты над планетой в целом, звездой или галактикой.

Вторая особенность объясняется значительной продолжительностью целого ряда изучаемых в астрономии явлений (от сотен до миллионов и миллиардов лет). Поэтому непосредственно наблюдать происходящие изменения невозможно. Когда изменения происходят особенно медленно, приходится проводить наблюдения многих родственных между собой объектов, например звезд. Основные сведения об эволюции звезд получены именно таким способом. Более подробно об этом будет рассказано далее.

Третья особенность астрономии обусловлена необходимостью указать положение небесных тел в пространстве (их координаты) и невозможностью различить, какое из них находится ближе, а какое дальше от нас. На первый взгляд все наблюдаемые светила кажутся нам одинаково далекими.

Люди в древности считали, что все звезды располагаются на небесной сфере, которая как единое целое вращается вокруг Земли. Уже более 2000 лет тому назад астрономы стали применять способы, которые позволяли указать расположе-

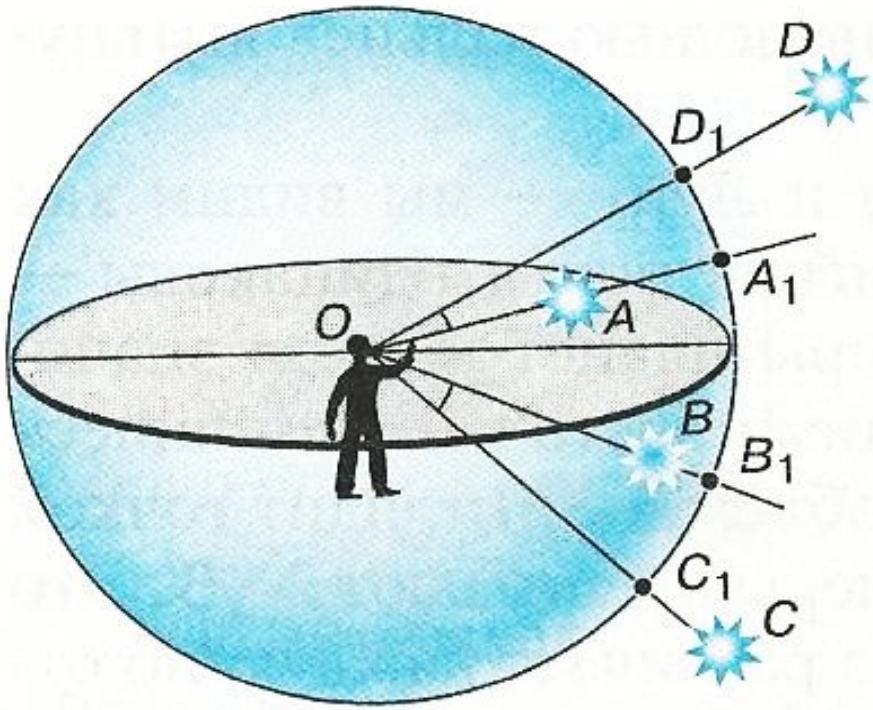


Рис. 1.1. Небесная сфера

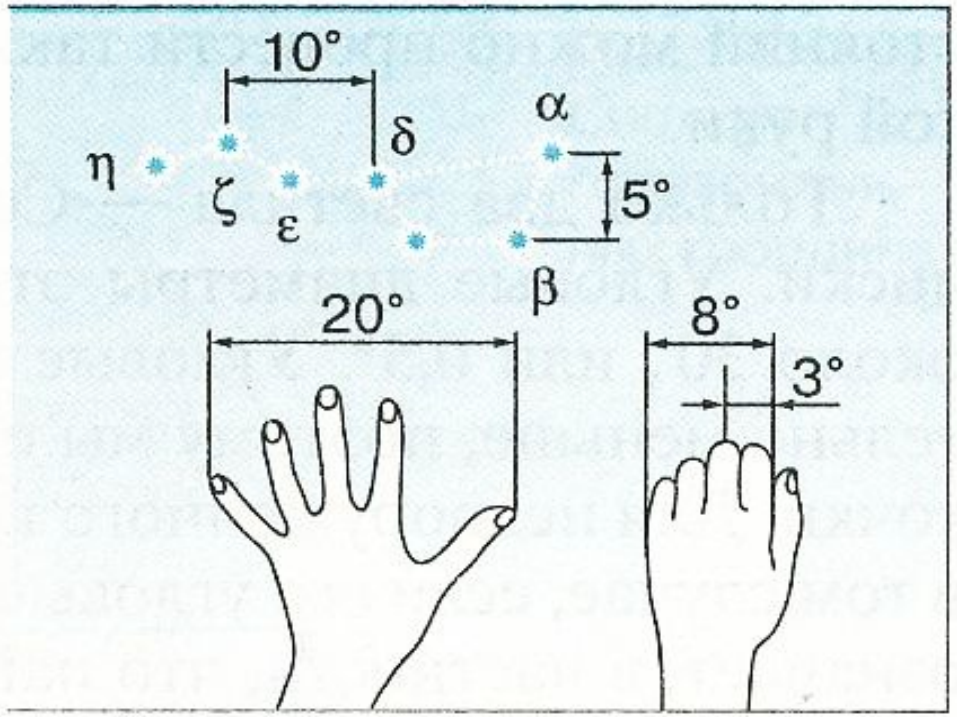


Рис. 1.2. Оценка угловых расстояний на небе

ние любого светила на небесной сфере по отношению к другим космическим объектам или наземным ориентирам. Представлением о небесной сфере удобно пользоваться и теперь, хотя мы знаем, что этой сферы реально не существует.

Построим небесную сферу и проведем из ее центра луч по направлению к звезде A (рис. 1.1). Там, где этот луч пересечет поверхность сферы, поместим точку A_1, изображающую эту звезду. Звезда B будет изображаться точкой B_1. Повторив подобную операцию для всех наблюдаемых звезд, мы получим на поверхности сферы изображение звездного неба — звездный глобус. Ясно, что если наблюдатель находится в центре этой воображаемой сферы, то для него направление на сами звезды и на их изображения на сфере бу-

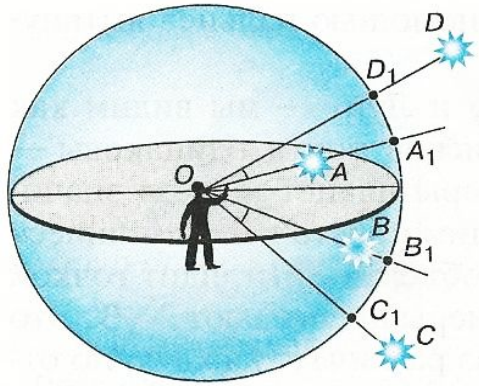


Рис. 1.1. Небесная сфера

дут совпадать. Расстояния между звездами на небесной сфере можно выражать только в угловой мере. Эти угловые расстояния измеряются величиной центрального угла между лучами, направленными на одну и другую звезду, или соответствующими им дугами на поверхности сферы.

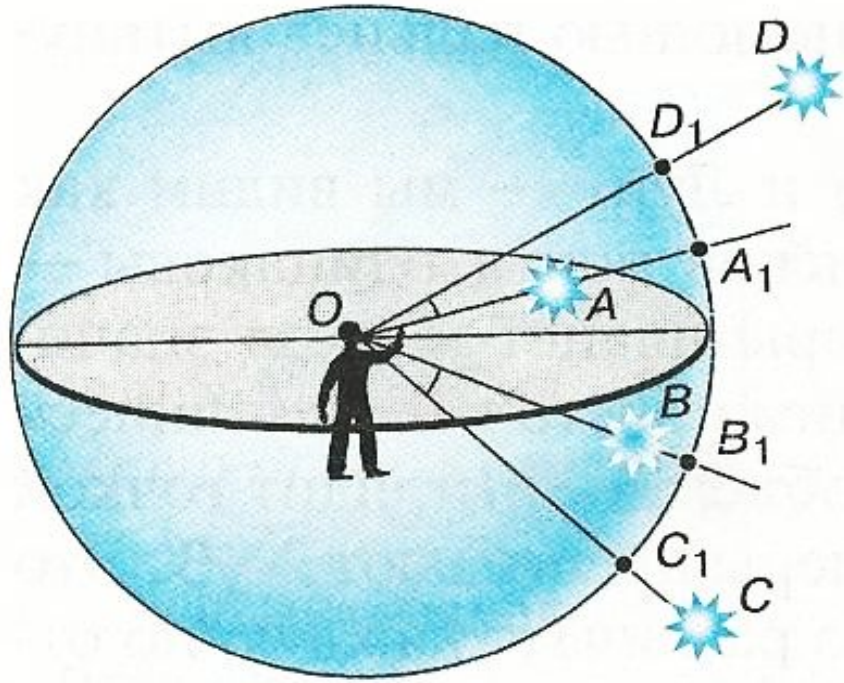


Рис. 1.1. Небесная сфера

Для приближенной оценки угловых расстояний на небе полезно запомнить такие данные: угловое расстояние между двумя крайними звездами ковша Большой Медведицы (α и β) составляет около 5° (рис. 1.2), а от α Большой Медведицы до α Малой Медведицы (Полярной звезды) — в 5 раз больше — примерно 25°. Простейшие глазомерные оценки угловых рас-

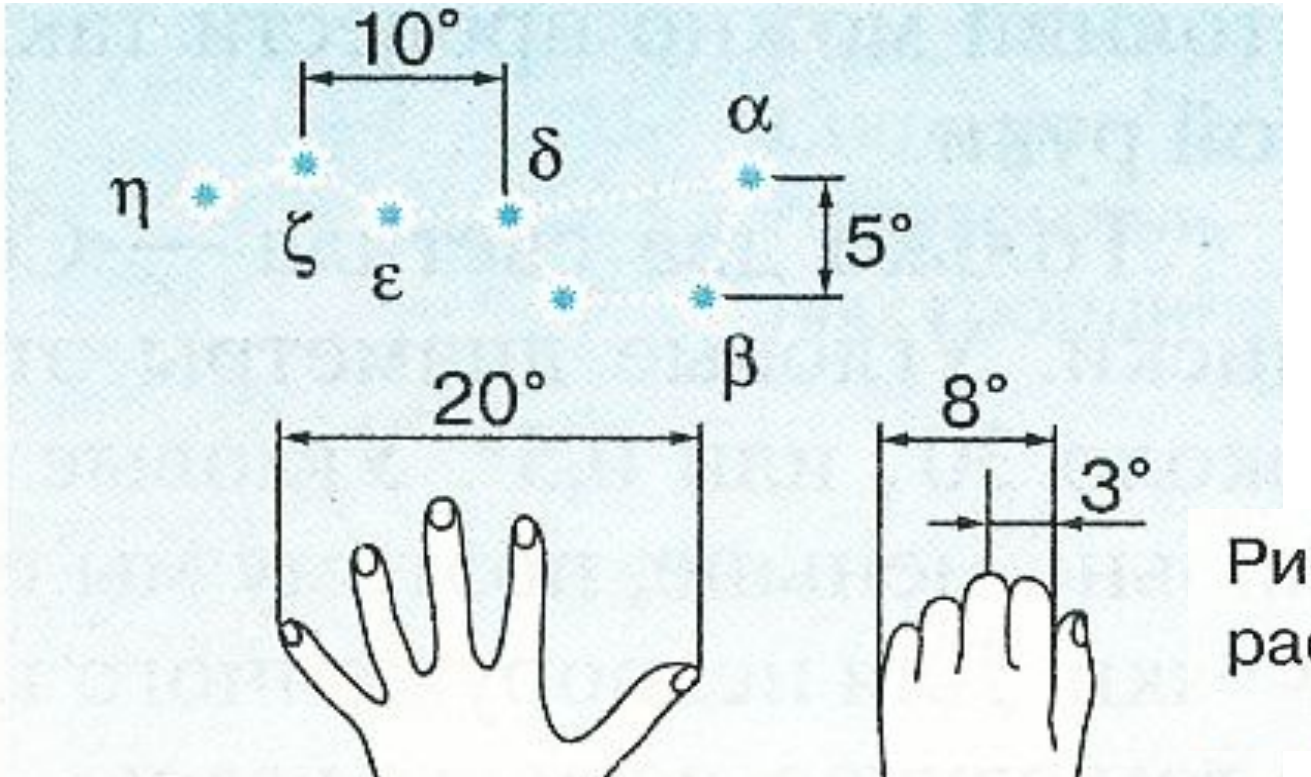


Рис. 1.2. Оценка угловых расстояний на небе

стояний можно провести также с помощью пальцев вытянутой руки.

Только два светила — Солнце и Луну — мы видим как диски. Угловые диаметры этих дисков почти одинаковы — около 30′, или 0,5°. Угловые размеры планет и звезд значительно меньше, поэтому мы их видим просто как светящиеся точки. Для невооруженного глаза объект не выглядит точкой в том случае, если его угловые размеры превышают 2—3′. Это означает, в частности, что наш глаз различает каждую по отдельности светящуюся точку (звезду) в том случае, если угловое расстояние между ними больше этой величины. Иначе говоря, мы видим объект не точечным лишь в том случае, если расстояние до него превышает его размеры не более чем в 1700 раз.

О том, как на основании угловых измерений определяют расстояния до небесных тел и их линейные размеры, будет рассказано далее.

Чтобы отыскать на небе светило, надо указать, в какой стороне горизонта и как высоко над ним оно находится. С этой целью используется ***система горизонтальных координат*** — *азимут* и *высота*. Для наблюдателя, находящегося в любой точке Земли, нетрудно определить вертикальное и горизонтальное направления. Первое из них определяется с помощью отвеса и изображается на чертеже (рис. 1.3) отвесной линией ZZ', проходящей через центр сферы (точку O). Точка Z, расположенная прямо над головой наблюдателя, называется ***зенитом***. Плоскость, которая проходит через

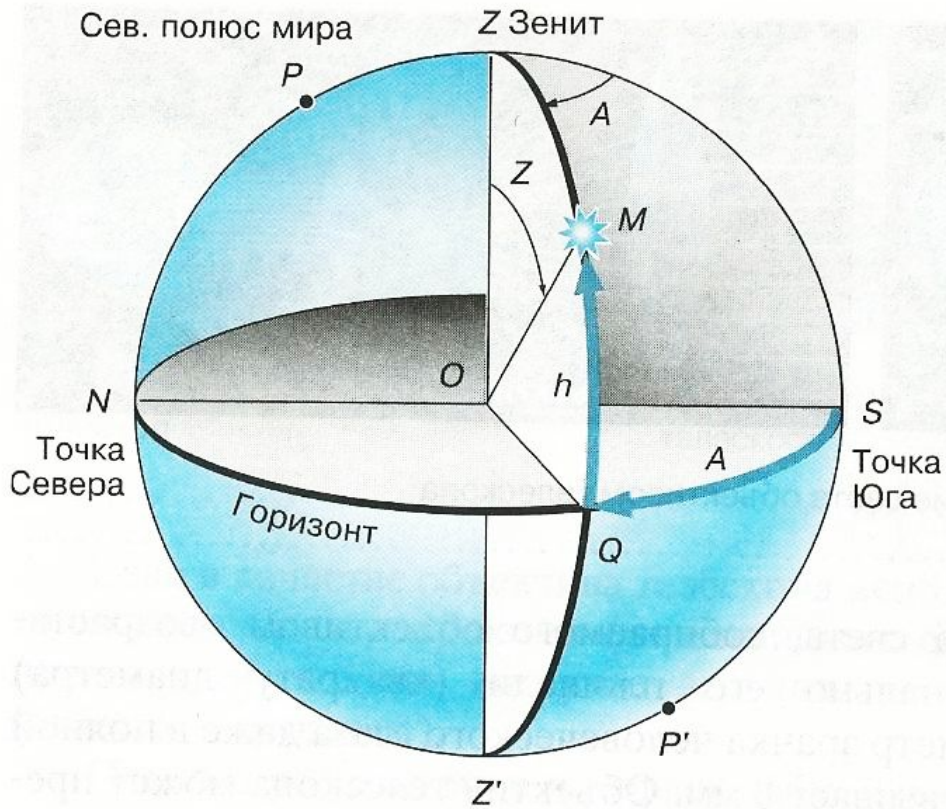


Рис. 1.3. Система горизонталь-ных координат

центр сферы перпендикулярно отвесной линии, образует при пересечении со сферой окружность — ***истинный***, или ***математический, горизонт***. ***Высота*** светила отсчитывается по окружности, проходящей через зенит и светило *M*, и выражается длиной дуги этой окружности от горизонта до светила. Эту дугу и соответствующий ей угол принято обозначать буквой *h*. Высота светила, которое находится в зените, равна 90°, на горизонте — 0°. Положение светила относительно сторон горизонта указывает его вторая координата — ***азимут***, обозначаемый буквой *A*. Азимут отсчитывается от точки юга в направлении движения часовой стрелки, так что азимут точки юга равен 0°, точки запада — 90° и т. д.

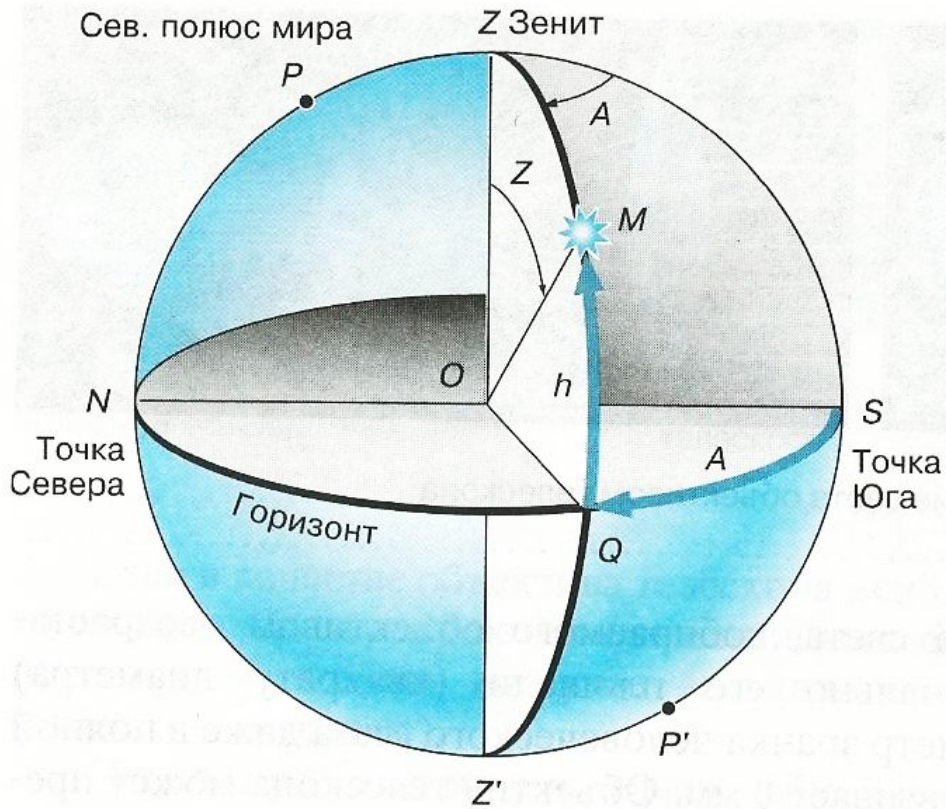


Рис. 1.3. Система горизонталь-ных координат

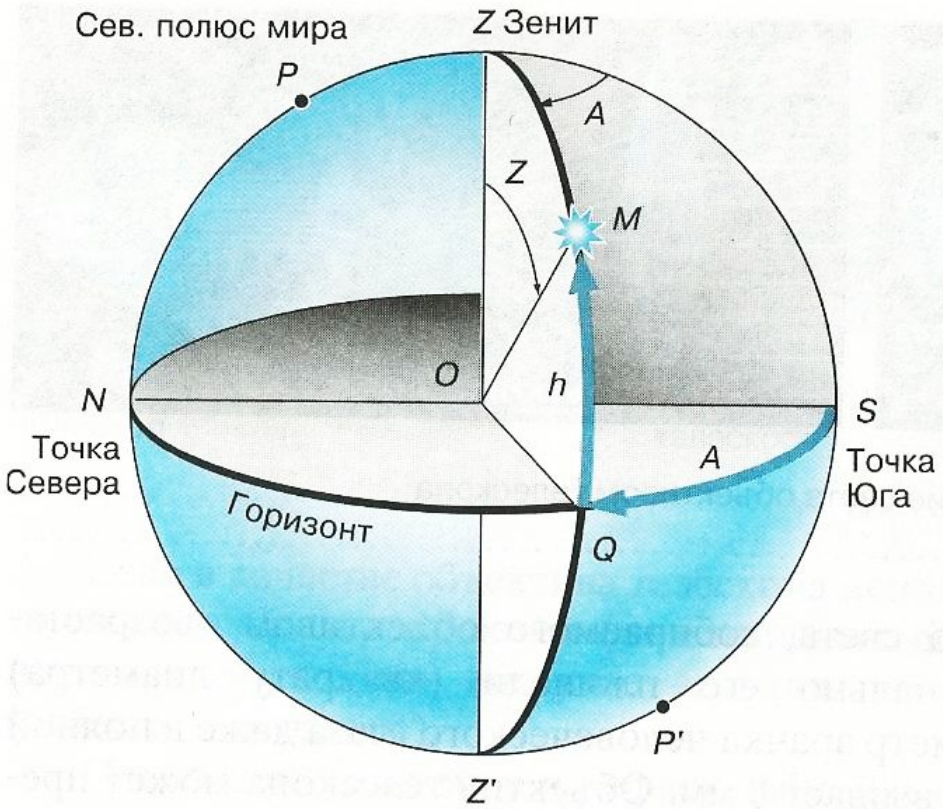


Рис. 1.3. Система горизонтальных координат

Горизонтальные координаты указывают положение светила на небе в данный момент и вследствие вращения Земли непрерывно меняются. На практике, например в геодезии, высоту и азимут измеряют специальными угломерными оптическими приборами — *теодолитами*.

2. Телескопы

Основным прибором, который используется в астрономии для наблюдения небесных тел, приема и анализа приходящего от них излучения, является *телескоп*. Слово это происходит от двух греческих слов: tele — далеко и skopéō — смотрю.

Телескоп применяют, во-первых, для того, чтобы собрать как можно больше света, идущего от исследуемого объекта, а во-вторых, чтобы обеспечить возможность изучать его мелкие детали, недоступные невооруженному глазу. Чем более слабые объекты дает возможность увидеть телескоп, тем больше его ***проницающая сила***. Возможность различать мелкие детали характеризует ***разрешающую способность*** телескопа. Обе эти характеристики телескопа зависят от диаметра его объектива.

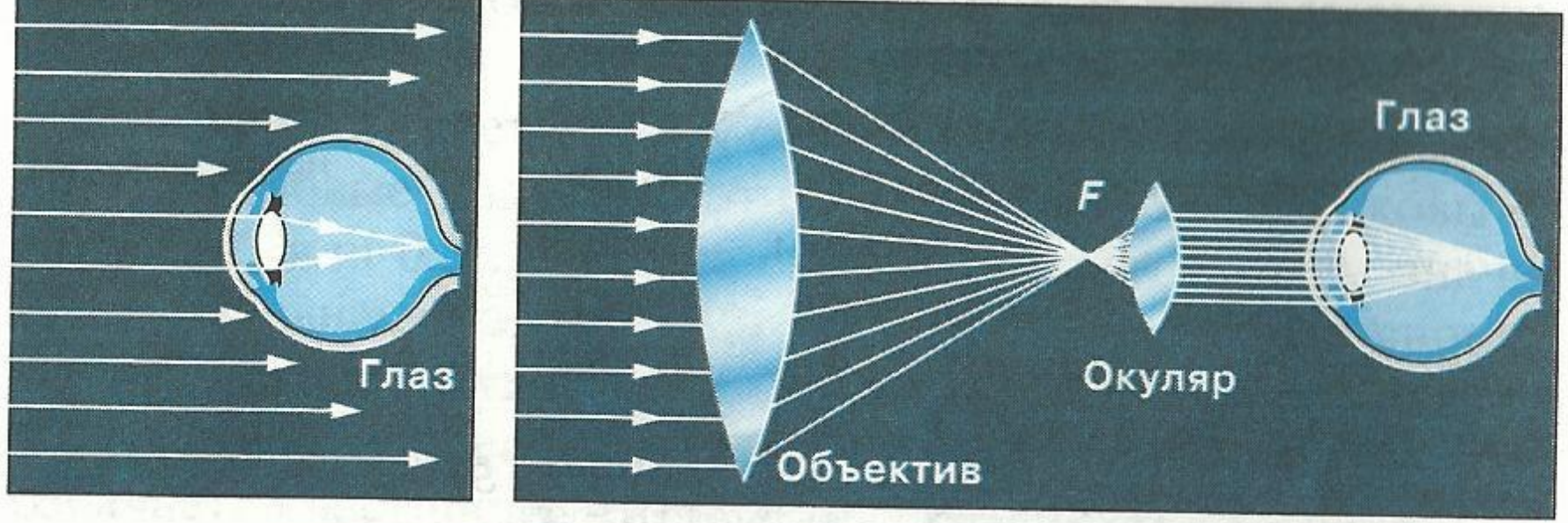


Рис. 1.4. Собирание света объективом телескопа

Количество света, собираемого объективом, возрастает пропорционально его площади (квадрату диаметра) (рис. 1.4). Диаметр зрачка человеческого глаза даже в полной темноте не превышает 8 мм. Объектив телескопа может превышать по диаметру зрачок глаза в десятки и сотни раз. Это позволяет с помощью телескопа обнаружить звезды и другие объекты, которые в 100 млн раз слабее объектов, видимых невооруженным глазом.

Чем меньше размер изображения светящейся точки (звезды), которое дает объектив телескопа, тем лучше его разрешающая способность. Если расстояние между изображениями двух звезд меньше размера самого изображения, то они сливаются в одно. Минимальный размер изображения звезды (в секундах дуги) можно рассчитать по формуле:

$$\alpha = \frac{206\,265 \cdot \lambda}{D},$$

где λ — длина световой волны, а D — диаметр объектива. У школьного телескопа, диаметр объектива которого составляет 60 мм, теоретическая разрешающая способность будет равна примерно 2″. Напомним, что это превышает разрешающую способность невооруженного глаза (2′) в 60 раз. Реальная разрешающая способность телескопа будет меньше, поскольку на качество изображения существенно влияет состояние атмосферы, движение воздуха.

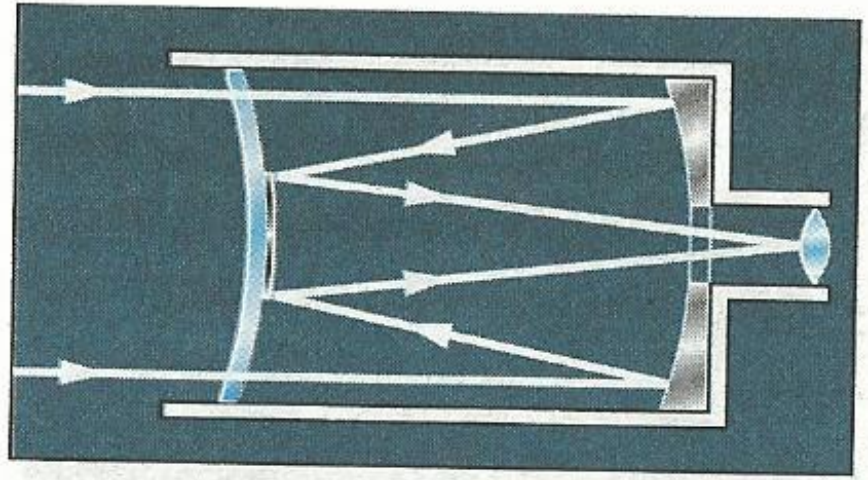


Рис. 1.5. Менисковый телескоп

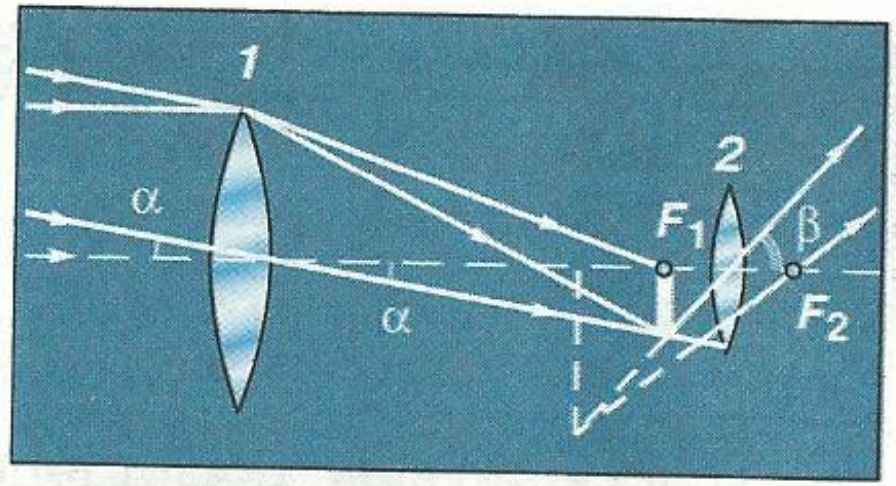


Рис. 1.6. Построение изображения в телескопе

Если в качестве объектива телескопа используется линза, то он называется *рефрактор* (от латинского слова refracto — преломляю), а если вогнутое зеркало, — то *рефлектор* (reflecto — отражаю).

Помимо рефракторов и рефлекторов в настоящее время используются различные типы зеркально-линзовых телескопов, один из которых — менисковый — представлен на рисунке 1.5.

Школьные телескопы по большей части являются рефракторами, их объективом, как правило, служит двояковыпуклая собирающая линза. Как известно, если предмет находится дальше двойного фокусного расстояния, она дает уменьшенное, перевернутое и действительное его изображение. Это изображение располагается между точками фокуса и двойного фокуса линзы. Расстояния до Луны, планет, а тем более звезд так велики, что лучи, приходящие от них, можно считать параллельными. Следовательно, изображение объекта будет располагаться в фокальной плоскости.

Построим изображение Луны, которое дает объектив *1* с фокусным расстоянием F (рис. 1.6). Из рисунка видно, что угловых размеров наблюдаемого объекта — угол α — объектив не изменяет. Воспользуемся теперь еще одной линзой — окуляром *2*, поместив ее от изображения Луны (точка F_1) на расстоянии, равном фокусному расстоянию этой линзы — f, в точку F_2. Фокусное расстояние окуляра должно быть меньше, чем фокусное расстояние объектива. Построив изображение, которое дает окуляр, мы убедимся, что он увеличивает угловые размеры Луны: угол β заметно больше угла α.

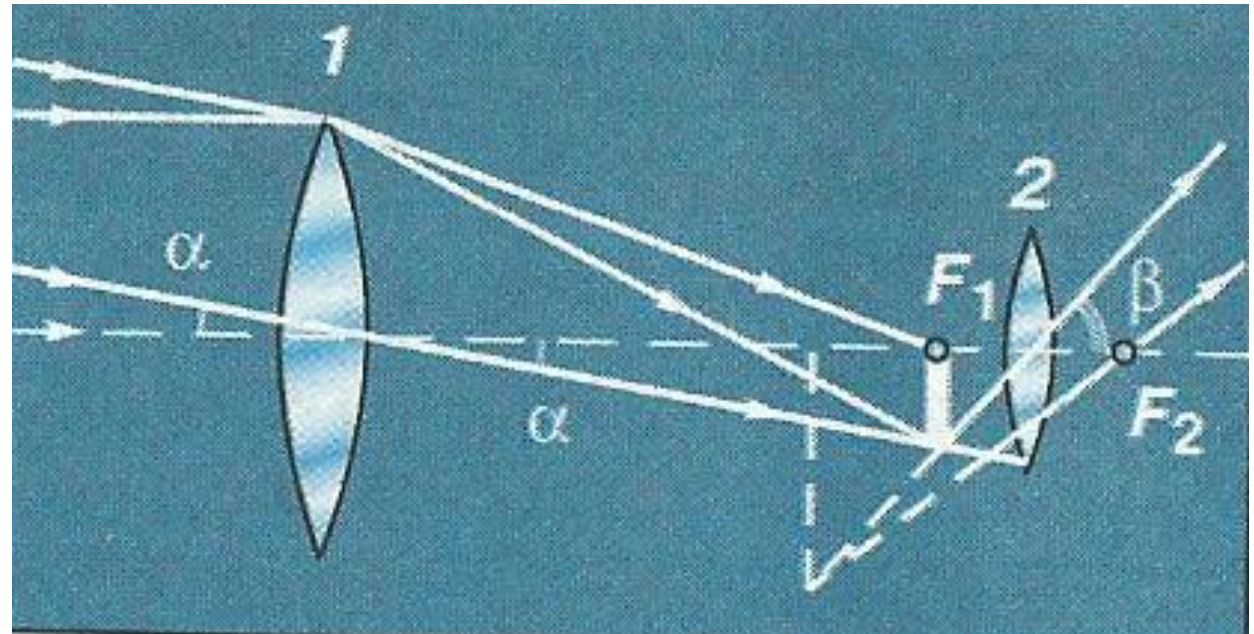


Рис. 1.6. Построение изображения в телескопе

Увеличение, которое дает телескоп, равно отношению фокусного расстояния объектива к фокусному расстоянию окуляра:

$$W = \frac{F}{f}.$$

Телескоп увеличивает видимые угловые размеры Солнца, Луны, планет и деталей на них, но звезды из-за их колоссальной удаленности все равно видны в телескоп, как светящиеся точки.

Имея сменные окуляры, можно с одним и тем же объективом получать различное увеличение. Поэтому возможности телескопа в астрономии принято характеризовать не увеличением, а диаметром его объектива. В астрономии, как правило, используют увеличения менее 500 раз. Применять бо́льшие увеличения мешает атмосфера Земли. Движение воздуха, незаметное невооруженным глазом (или при малых увеличениях), приводит к тому, что мелкие детали изображения становятся нерезкими, размытыми. Астрономические обсерватории, на которых используются крупные телескопы с диаметром зеркала 2—3 м, стараются разместить в районах с хорошим астроклиматом: большим количеством ясных дней и ночей, с высокой прозрачностью атмосферы.

Крупнейший в России телескоп-рефлектор, который имеет зеркало диаметром 6 м, сконструирован и построен Ленинградским оптико-механическим объединением (рис. 1.7). Его огромное вогнутое зеркало, которое имеет массу около 40 т, отшлифовано с точностью до долей микрометра. Фокусное расстояние зеркала 24 м. Масса всей установки телескопа более 850 т, а высота 42 м. Управление телескопом осуществляется с помощью компьютера, который позволяет точно навести телескоп на изучаемый объект и длительное время удерживать его в поле зрения, плавно поворачивая телескоп вслед за вращением Земли. Телескоп входит в состав Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук и установлен на Северном Кавказе (близ станицы Зеленчукская в Кабардино-Балкарии) на высоте 2100 м над уровнем моря.

В настоящее время появилась возможность использовать в наземных телескопах не монолитные зеркала, а зеркала, со-

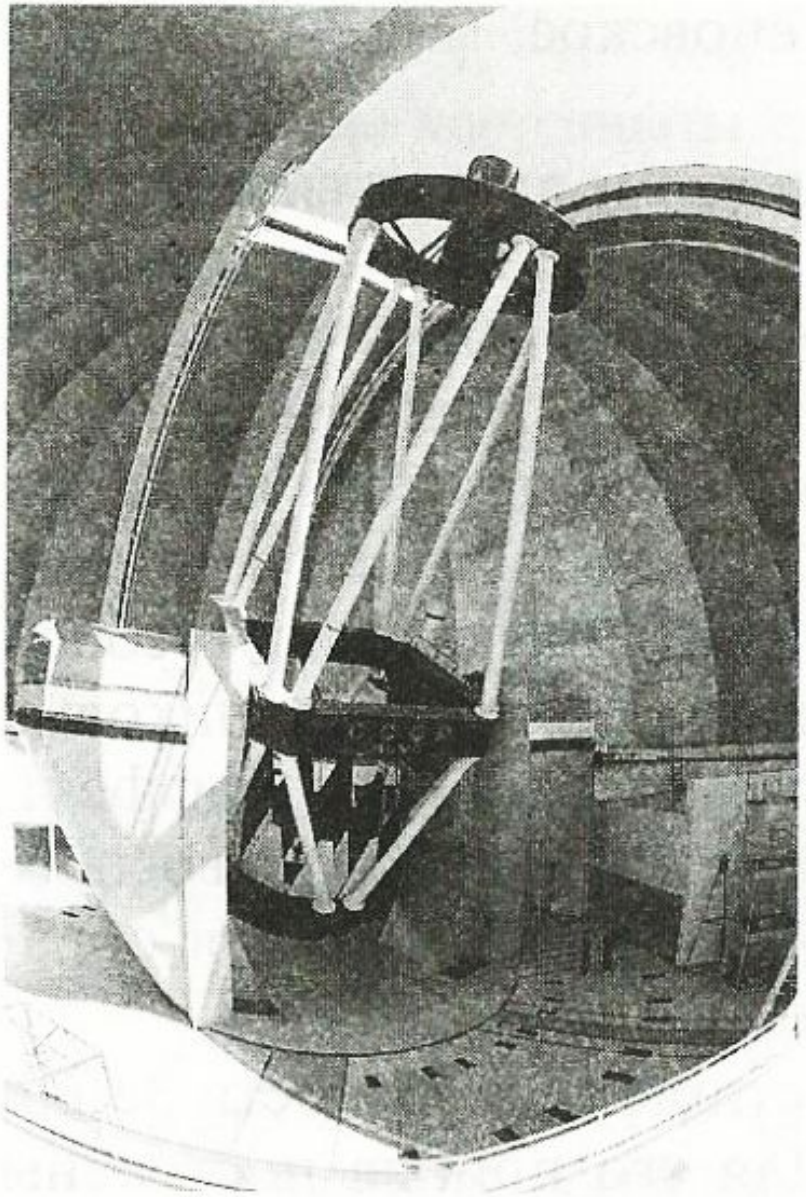


Рис. 1.7. Шестиметровый телескоп-рефлектор

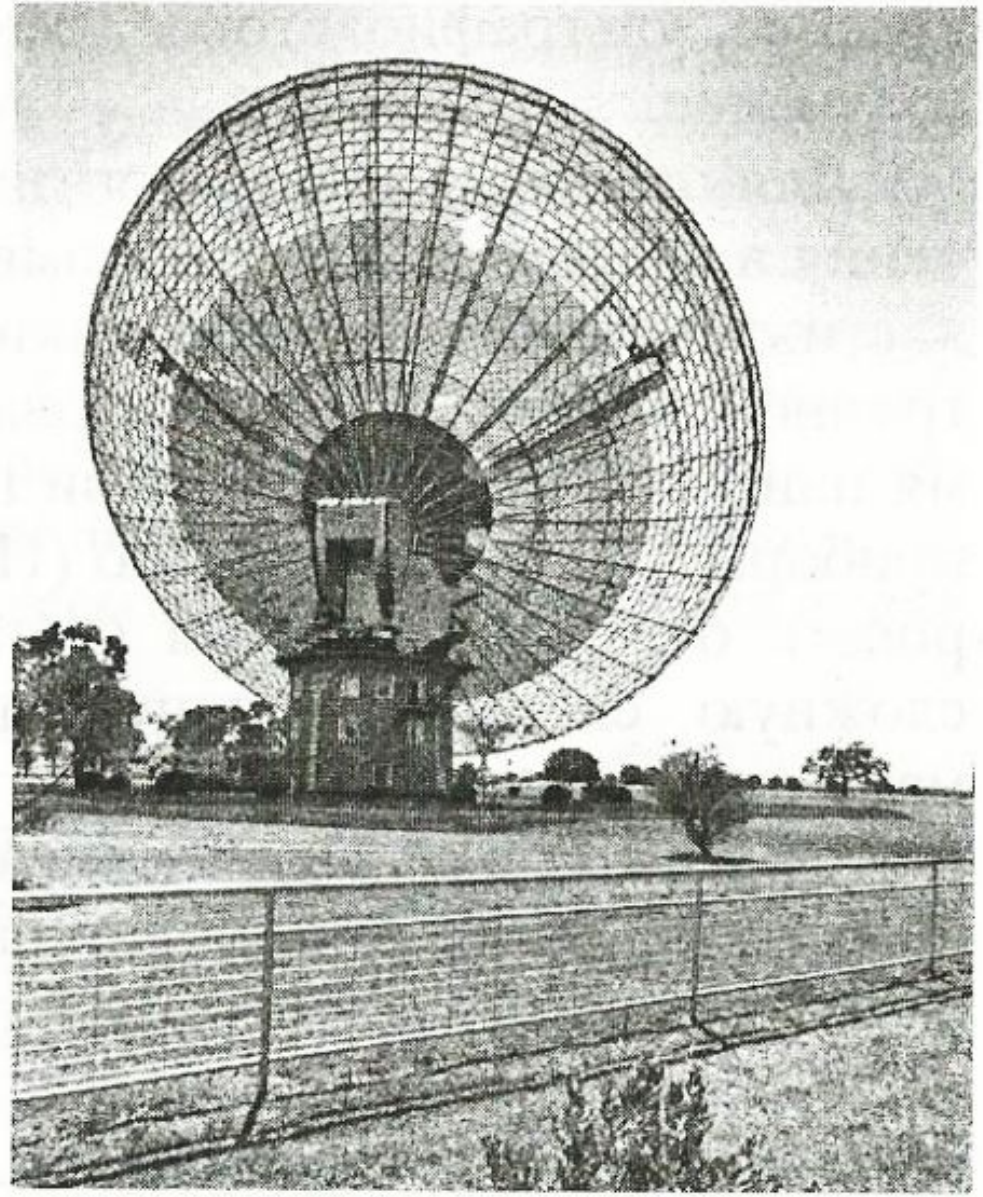


Рис. 1.8. Радиотелескоп

стоящие из отдельных фрагментов. Уже построены и работают два телескопа, каждый из которых имеет объектив диаметром 10 м, состоящий из 36 отдельных зеркал шестиугольной формы. Управляя этими зеркалами с помощью компьютера, можно всегда расположить их так, чтобы все они собирали свет от наблюдаемого объекта в едином фокусе.

Предполагается создать телескоп с составным зеркалом диаметром 32 м, работающим по тому же принципу.

Современные телескопы часто используются для того, чтобы сфотографировать изображение, которое дает объектив. Именно так получены те фотографии Солнца, галактик и других объектов, которые вы увидите на страницах учебника, в популярных книгах и журналах.

В настоящее время астрономию называют всеволновой, поскольку наблюдения за объектами ведутся не только в оптическом диапазоне. Для этой цели используются различные приборы, каждый из которых способен принимать излучение в определенном диапазоне электромагнитных волн: инфра-

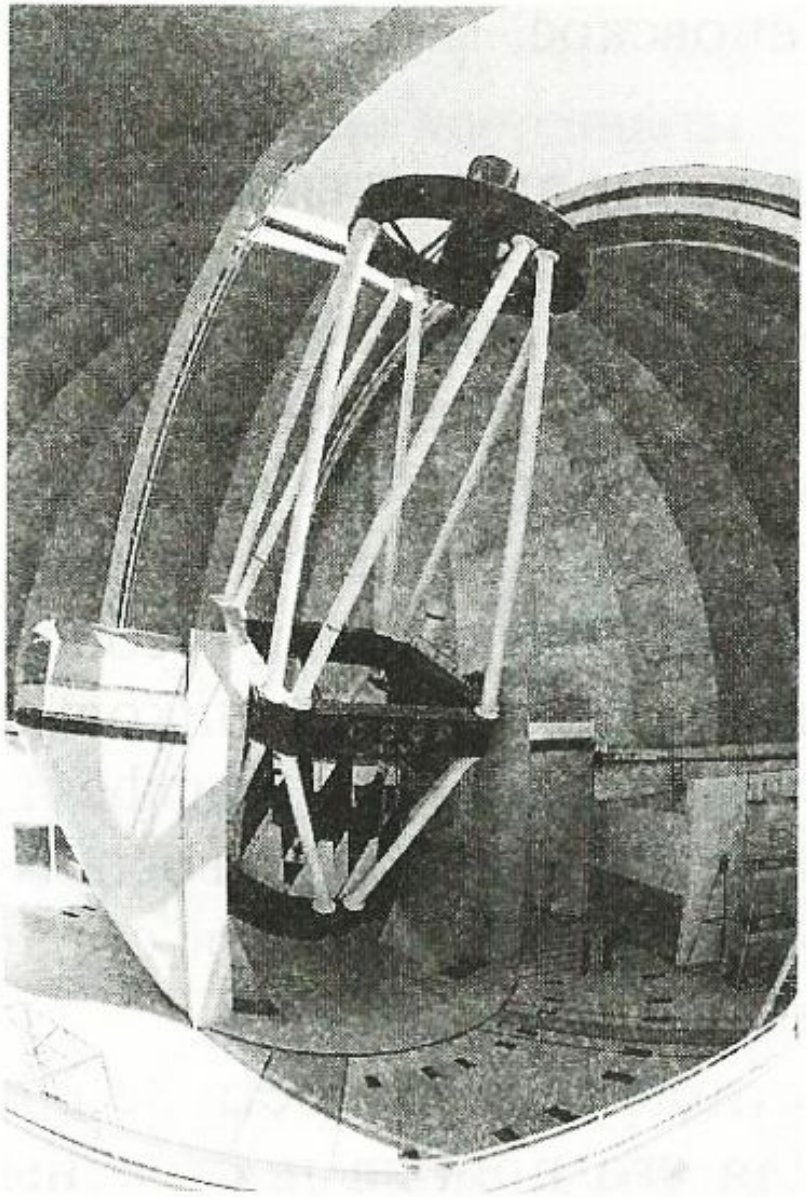


Рис. 1.7. Шестиметровый телескоп-рефлектор

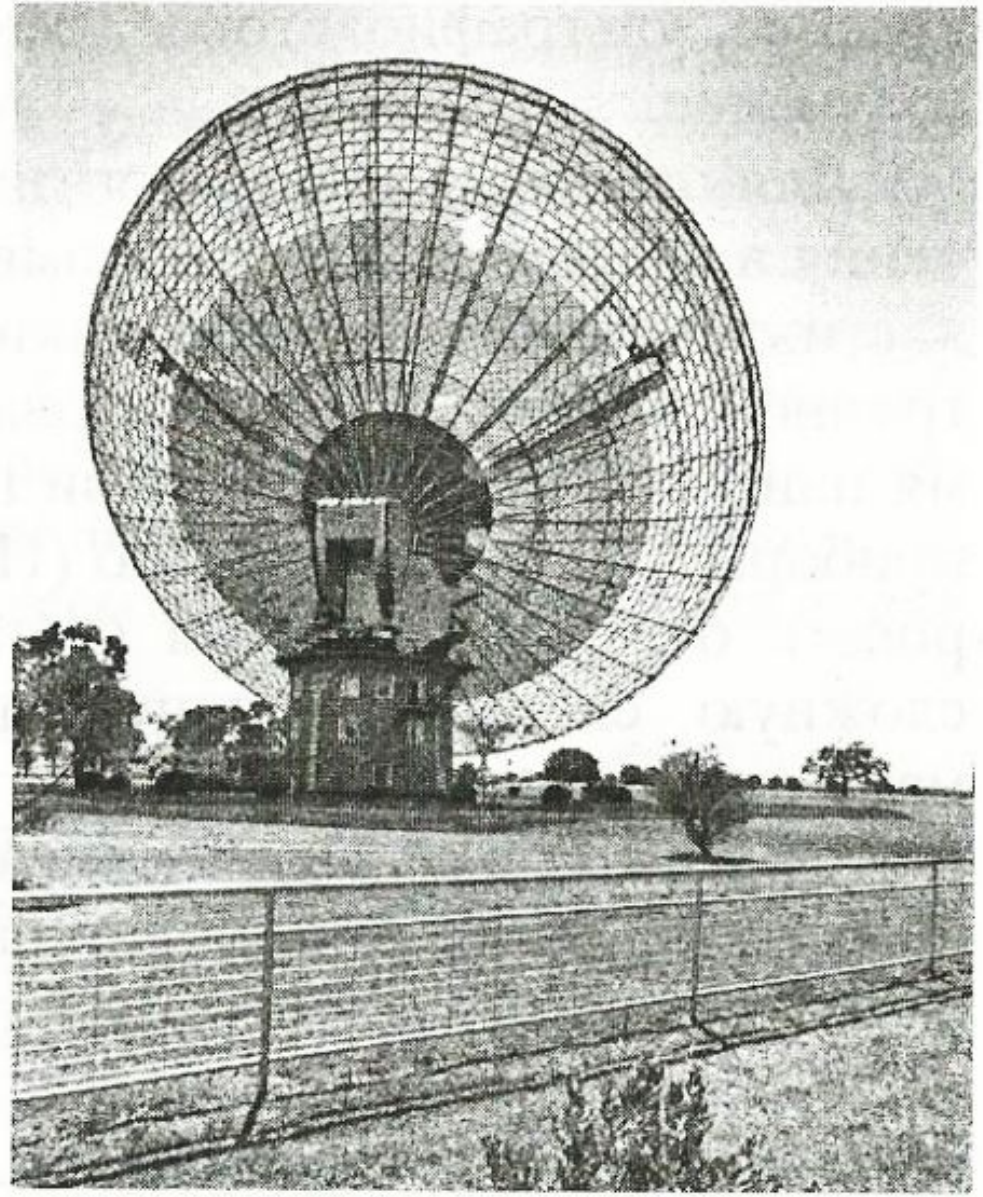


Рис. 1.8. Радиотелескоп

красное, ультрафиолетовое, рентгеновское, гамма- и радиоизлучение.

Для приема и анализа оптического и других видов излучения в современной астрономии используется весь арсенал достижений физики и техники — фотоумножители, электронно-оптические преобразователи и др. В настоящее время наиболее чувствительными приемниками света являются приборы с зарядовой связью (ПЗС), позволяющие регистрировать отдельные кванты света. Они представляют собой сложную систему полупроводников (полупроводниковые матрицы), в которых используется внутренний фотоэффект. В этом и в других случаях полученные данные можно воспроизвести на дисплее компьютера или представить для обработки и анализа в цифровой форме.

Радиоизлучение из космоса достигает поверхности Земли без значительного поглощения. Для его приема построены самые крупные астрономические инструменты — радиотелескопы (рис. 1.8). Их металлические зеркала-антенны, которые достигают в диаметре нескольких десятков метров, отражают радиоволны и собирают их подобно оптическому телескопу-рефлектору. Для регистрации радиоизлучения используются особые чувствительные радиоприемники.

Приборы для исследования остальных видов излучения обычно тоже называют телескопами, хотя по своему устройству они порой значительно отличаются от оптических телескопов. Как правило, они устанавливаются на искусственных спутниках, орбитальных станциях и других космических аппаратах, поскольку сквозь земную атмосферу эти излучения практически не проникают. Она их рассеивает и поглощает.

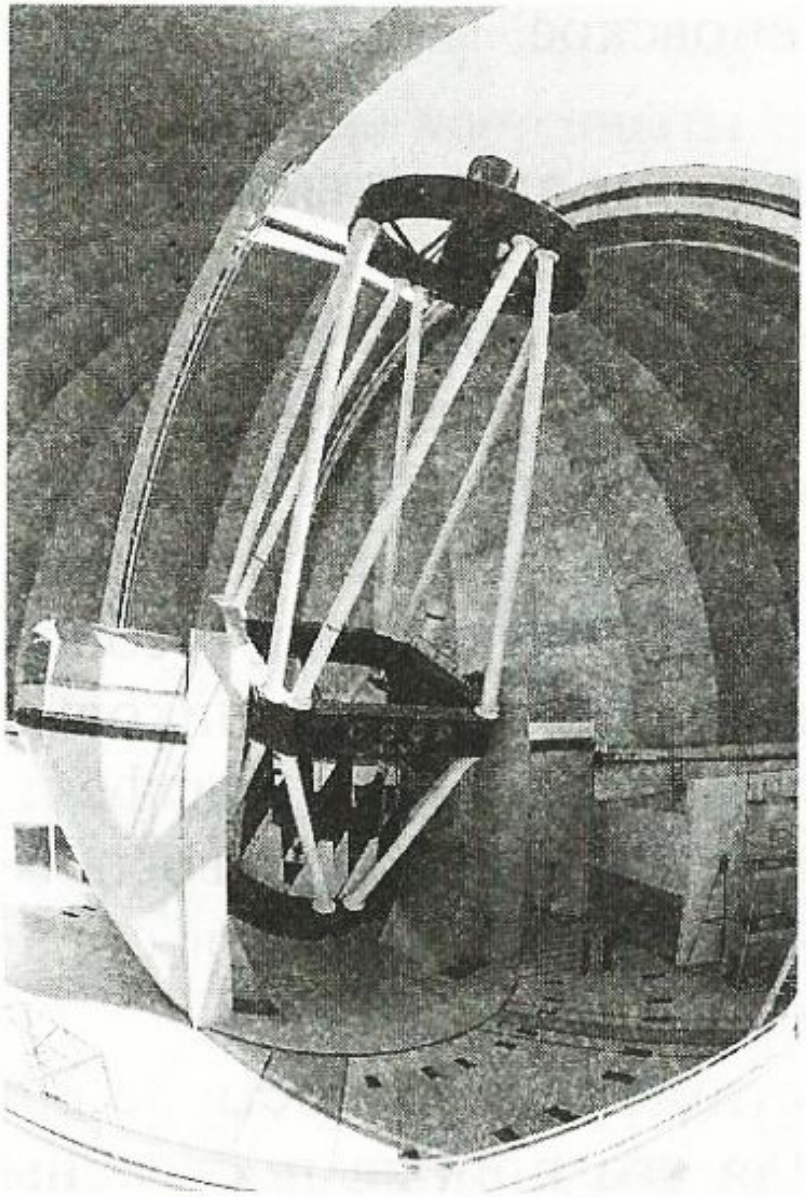


Рис. 1.7. Шестиметровый телескоп-рефлектор

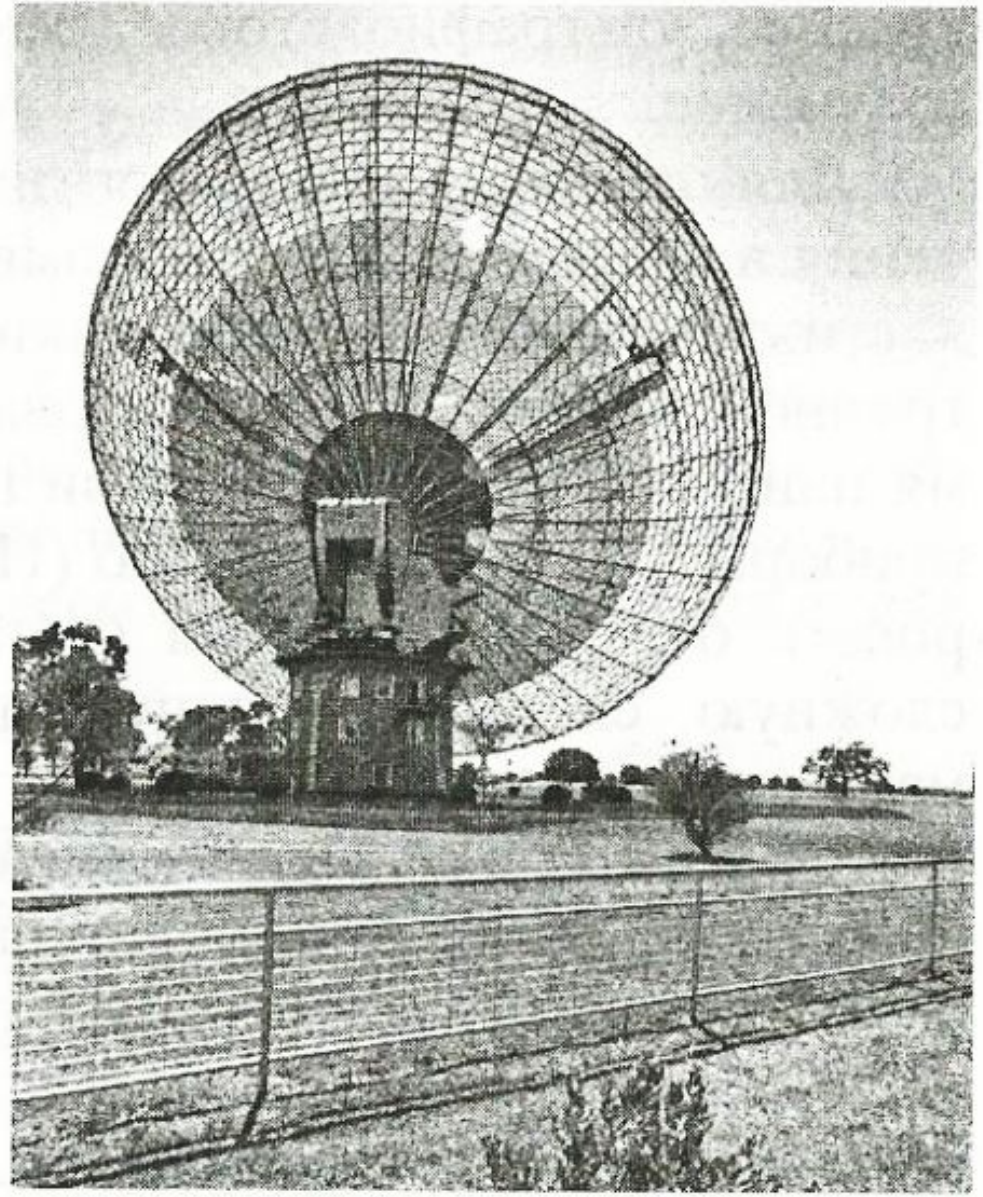
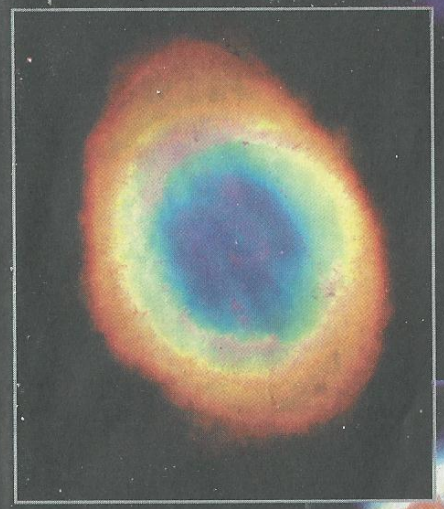


Рис. 1.8. Радиотелескоп

Даже оптические телескопы, находящиеся на орбите, имеют определенные преимущества по сравнению с наземными. Наиболее крупному из них космическому телескопу им. Хаббла, созданному в США, с зеркалом диаметром 2,4 м доступны объекты, которые в 10—15 раз слабее, чем такому же телескопу на Земле. Его разрешающая способность составляет 0,1″, что недостижимо даже для более крупных наземных телескопов. На снимках туманностей и других далеких объектов видны мелкие детали, неразличимые при наблюдениях с Земли (см. рис. 3 на цветной вклейке XV).

XV. Наша Галактика

1. Звездное скопление Плеяды



2. Планетарная туманность

3. Одна из областей звездообразования

3. Одна из областей звездообразования

Вопросы

1. В чем состоят особенности астрономии? **2.** Какие координаты светил называются горизонтальными? **3.** Опишите, как координаты Солнца будут меняться в процессе его движения над горизонтом в течение суток. **4.** По своему линейному размеру диаметр Солнца больше диаметра Луны примерно в 400 раз. Почему их угловые диаметры почти равны? **5.** Для чего используется телескоп? **6.** Что считается главной характеристикой телескопа? **7.** Почему при наблюдениях в школьный телескоп светила уходят из поля зрения?

Упражнение 1

1. Каково увеличение телескопа, если в качестве его объектива используется линза, оптическая сила которой 0,4 дптр, а в качестве окуляра линза с оптической силой 10 дптр? **2.** Во сколько раз больше света, чем школьный телескоп-рефрактор (диаметр объектива 60 мм), собирает крупнейший российский телескоп-рефлектор (диаметр зеркала 6 м)?

Задание 2

Измерив оптическую силу объектива и окуляра школьного телескопа, определите увеличение, которое он дает.