

ВВЕДЕНИЕ

§1. Предмет астрономии

1. Что изучает астрономия. Ее значение и связь с другими науками

Астрономия является одной из древнейших наук, истоки которой относятся к каменному веку (VI—III тысячелетия до н. э.).

Астрономия (*происходит от двух греческих слов: astron — звезда, светило и nomos — закон*) изучает движение, строение, происхождение и развитие небесных тел и их систем.

Человека всегда интересовал вопрос о том, как устроен окружающий мир и какое место он в нем занимает.

У большинства народов еще на заре цивилизации были сложены особые — космологические мифы, повествующие о том, как из первоначального хаоса постепенно возникает космос (порядок), появляется все, что окружает человека: небо и земля, горы, моря и реки, растения и животные, а также сам человек. На протяжении тысячелетий шло постепенное накопление сведений о явлениях, которые происходили на небе.

Оказалось, что периодическим изменениям в земной природе сопутствуют изменения вида звездного неба и видимого движения Солнца. Высчитать наступление определенного времени года было необходимо для того, чтобы в срок провести те или иные сельскохозяйственные работы: посев, полив, уборку урожая. Но это можно было сделать лишь при использовании календаря, составленного по многолетним наблюдениям положения и движения Солнца и Луны. Так необходимость регулярных наблюдений за небесными светилами была обусловлена практическими потребностями счета времени. Строгая периодичность, свойственная движению небесных светил, лежит в основе основных единиц счета времени, которые используются до сих пор, — сутки, месяц, год.

Простое созерцание происходящих явлений и их наивное толкование постепенно сменялись попытками научного объяснения причин наблюдаемых явлений. Когда в Древней Греции (VI в. до н. э.) началось бурное развитие философии как науки о природе, астрономические знания стали неотъемлемой частью человеческой культуры. Астрономия — единственная наука, которая получила свою музу-покровительницу — Уранию.

С самых древних времен развитие астрономии и математики было тесно связано между собой. Вы знаете, что в переводе с греческого название одного из разделов математики — геометрии — означает «землемерие».

- Первые измерения радиуса земного шара были проведены еще в III в. до н. э. на основе астрономических наблюдений за высотой Солнца в полдень.
- Необычное, но ставшее привычным деление окружности на 360° имеет астрономическое происхождение: оно возникло тогда, когда считалось, что продолжительность года равна 360 суткам, а Солнце в своем движении вокруг Земли каждые сутки делает один шаг — градус.

Астрономические наблюдения издавна позволяли людям ориентироваться в незнакомой местности и на море. Развитие астрономических методов определения координат в XV—XVII вв. в немалой степени было обусловлено развитием мореплавания и поисками новых торговых путей. Составление географических карт, уточнение формы и размеров Земли на долгое время стало одной из главных задач, которые решала практическая астрономия. Искусство прокладывать путь по наблюдениям за небесными светилами, получившее

название навигация, используется теперь не только в мореходном деле и авиации, но и в космонавтике.

Астрономические наблюдения за движением небесных им и необходимость заранее вычислять их расположение сыграли важную роль в развитии не только математики, но и очень важного для практической деятельности человека разделе физики – механики. Выросшие из единой когда-то науки о природе – философии – астрономия, математика и физика никогда не теряли тесной связи между собой.

Взаимосвязь этих наук нашла непосредственное отражение в деятельности многих ученых. Далеко не случайно, например, что *Галилео Галилей* и *Исаак Ньютон* известны своими работами и по физике, и по астрономии. К тому же Ньютон является одним из создателей дифференциального и интегрального исчислений. Сформулированный им же в конце

XVII в. закон всемирного тяготения открыл возможность применения этих математических методов для изучения движения планет и других тел Солнечной системы. Постоянное совершенствование способов расчета на протяжении XVIII в. вывело эту часть астрономии — *небесную механику* — на первый план среди других наук той эпохи.

XVIII

Вопрос о положении Земли во Вселенной, о том, неподвижна она или движется вокруг Солнца, в XVI—XVII вв. приобрел важное значение как для астрономии, так и для миропонимания. Гелиоцентрическое учение *Николая Коперника* явилось не только важным шагом в решении этой научной проблемы, но и способствовало изменению стиля научного мышления, открыв новый путь к пониманию происходящих явлений.

Много раз в истории развития науки отдельные мыслители пытались ограничить возможности познания Вселенной. Пожалуй, последняя такая попытка случилась незадолго до открытия спектрального анализа. «Приговор» был суров: «Мы представляем себе возможность определения их (небесных тел) форм, расстояний, размеров и движений, но никогда, никакими способами мы не сможем изучить их химический состав...» (*О. Конт*).

Открытие спектрального анализа и его применение в астрономии положило начало широкому использованию физики при изучении природы небесных тел и привело к появлению нового раздела науки о Вселенной — *астрофизики*. В свою очередь, необычность с «земной» точки зрения условий, существующих на Солнце, звездах и в космическом пространстве, способствовало развитию физических теорий, описывающих состояние вещества в таких условиях, которые трудно создать на Земле.

Более того, в XX в., особенно во второй его половине, достижения астрономии снова, как и во времена Коперника, привели к серьезным изменениям в научной картине мира, к становлению представлений об эволюции Вселенной. Эти теории составляют основу современной космогонии.

Оказалось, что Вселенная, в которой мы сегодня живем, несколько миллиардов лет тому назад была совершенно иной — в ней не существовало ни галактик, ни звезд, ни планет.

Для того чтобы объяснить процессы, происходившие на начальной стадии ее развития, понадобился весь арсенал современной теоретической физики, включая теорию относительности, атомную физику, квантовую физику и физику элементарных частиц.

Развитие ракетной техники позволило человечеству выйти в космическое пространство. С одной стороны, это существенно расширило возможности исследования всех объектов, находящихся за пределами Земли, и привело к новому подъему в развитии небесной механики, которая успешно осуществляет расчеты орбит автоматических и пилотируемых космических аппаратов различного назначения. С другой стороны, методы дистанционного исследования, пришедшие из астрофизики, ныне широко применяются при изучении нашей планеты с искусственных спутников и орбитальных станций. Результаты исследований тел

Солнечной системы позволяют лучше понять глобальные, в том числе эволюционные процессы, происходящие на Земле. Вступив в космическую эру своего существования и готовясь к полетам на другие планеты, человечество не вправе забывать о Земле и должно в полной мере осознать необходимость сохранения ее уникальной природы.

2. Структура и масштабы Вселенной

Вы уже знаете, что наша Земля со своим спутником Луной, другие планеты и их спутники, кометы и малые планеты обращаются вокруг Солнца, что все эти тела составляют *Солнечную систему*. В свою очередь, Солнце и все другие звезды, видимые на небе, входят в огромную звездную систему — нашу *Галактику*.

Самая близкая к Солнечной системе звезда находится так далеко, что свет, который распространяется со скоростью 300 000 км/с, идет от нее до Земли более четырех лет. Звезды являются наиболее распространенным типом небесных тел, в одной только нашей Галактике их насчитывается несколько сотен миллиардов. Объем, занимаемый этой звездной системой, так велик, что свет может пересечь его только за 100 тыс. лет.

Во *Вселенной* существует множество других галактик, подобных нашей. Именно расположение и движение галактик определяет строение и структуру Вселенной в целом.

Галактики так далеки друг от друга, что невооруженным глазом можно видеть лишь три ближайшие: две — в Южном полушарии, а с территории России всего одну — туманность Андромеды.

От наиболее удаленных галактик свет доходит до Земли за 10 млрд лет.

Значительная часть вещества звезд и галактик находится в таких условиях, создать которые в земных лабораториях невозможно.

Все космическое пространство заполнено электромагнитным излучением, гравитационными и магнитными полями, между звездами в галактиках и между галактиками находится очень разреженное вещество в виде газа, пыли, отдельных молекул, атомов и ионов, атомных ядер и элементарных частиц.

Как известно, расстояние до ближайшего к Земле небесного тела — Луны составляет примерно 400 000 км. Наиболее удаленные объекты располагаются от нас на расстоянии, которое превышает расстояние до Луны более чем в 10 раз.

Попробуем представить размеры небесных тел и расстояния между ними во Вселенной, воспользовавшись хорошо известной моделью — школьным глобусом Земли, который в 50 млн. раз меньше нашей планеты. В этом случае мы должны изобразить Луну шариком диаметром примерно 7 см, находящимся от глобуса на расстоянии около 7,5 м. Модель Солнца будет иметь диаметр 28 м и находиться на расстоянии 3 км, а модель Плутона — самой далекой планеты Солнечной системы — будет удалена от нас на 120 км.

Ближайшая к нам звезда при таком масштабе модели будет располагаться на расстоянии примерно 800 000 км, т. е. в 2 раза дальше, чем Луна.

Размеры нашей Галактики сократятся примерно до размеров Солнечной системы, но самые далекие звезды все же будут находиться за ее пределами.

Задание 1

Вспомните, какие объекты в окружающей местности расположены на таких расстояниях, которые приведены для тел Солнечной системы в описанной выше модели. Какой из них имеет те же размеры, что и модель Солнца (в предлагаемом масштабе)?

§ 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 отличает 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 расположение 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 будут совпадать.

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

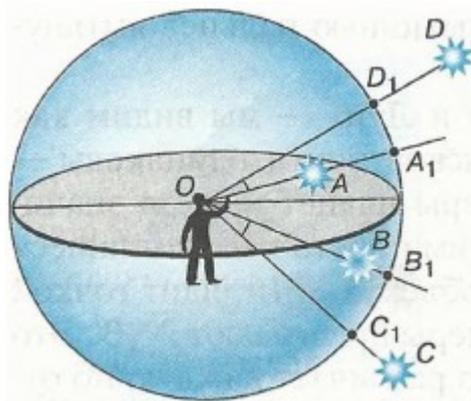


Рис.1.1. Небесная сфера

поверхности сферы.

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 **газомерные оценки** угловых расстояний можно провести также с помощью пальцев вытянутой руки.

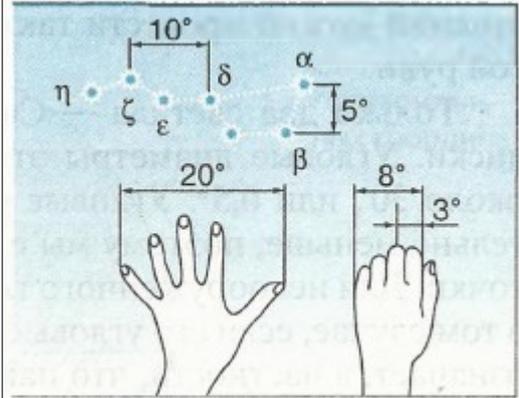


Рис 1.2. Оценка угловых расстояний на небе.

Только два светила— Солнце и Луну— мы видим как диски. Угловые диаметры этих дисков почти одинаковы — около $30'$, или $0,5^\circ$. 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 (азимут)** и как **высоко над ним (высота)** оно находится.

система горизонтальных координат

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 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

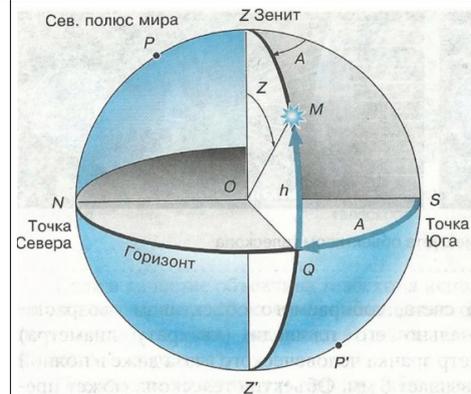


Рис. 1.3

указывает его вторая координата — азимут , обозначаемый буквой <i>A</i> . Азимут отсчитывается от точки юга в направлении движения часовой стрелки , так что азимут точки юга равен 0° , точки запада — 90° и т.д.	
--	--

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 *skopeo* — смотрю.

Телескоп применяют,

- во-первых, для того, чтобы собрать как можно больше света, идущего от исследуемого объекта,
- во-вторых, чтобы обеспечить возможность изучать его мелкие детали, недоступные невооруженному глазу.

Чем более слабые объекты дает возможность увидеть телескоп, тем больше его проникающая сила. Возможность различать мелкие детали характеризует разрешающую способность телескопа. Обе эти характеристики телескопа зависят от диаметра его объектива.

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.

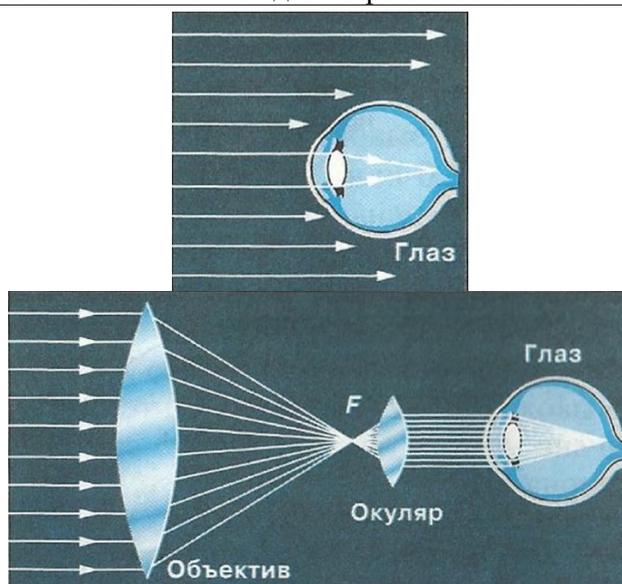


Рис 1.4.

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:

$$\alpha = \frac{206265 \cdot \lambda}{D},$$

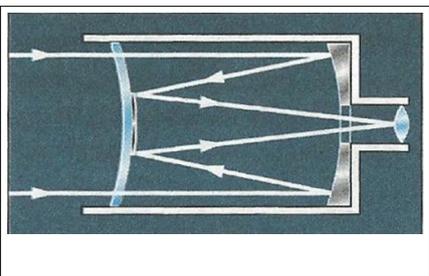
λ — длина световой волны,
 D — диаметр объектива.

Реальная **разрешающая способность телескопа** будет меньше, поскольку на качество изображения существенно влияет состояние атмосферы, движение воздуха.

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.

Виды телескопов

<p><i>Рефрактор</i> (от латинского слова <i>refracto</i> — преломляю)</p>	<p><i>Рефлектор</i> (от латинского слова <i>reflecto</i> — отражаю)</p>	<p>Зеркально-линзовые</p>
--	--	---------------------------

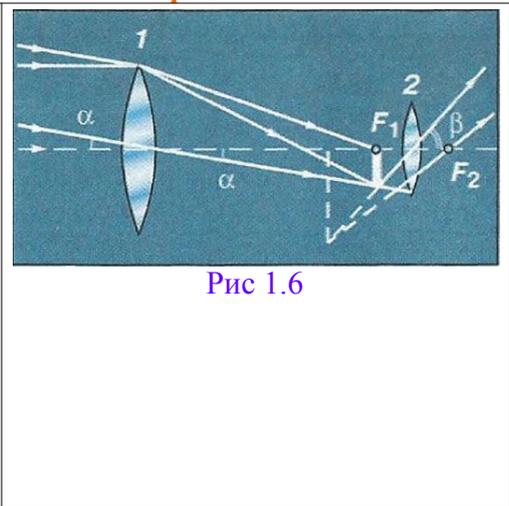
В качестве объектива используется линза,.	В качестве объектива используется вогнутое зеркало.	
		Рис 1.5

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.

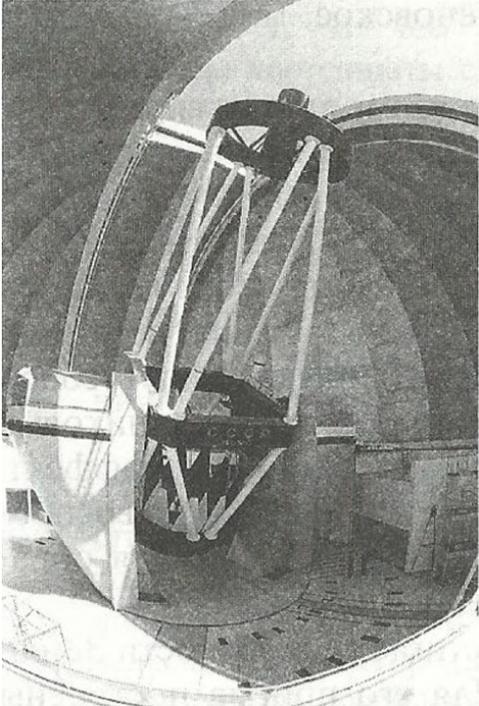
<p>Построим изображение Луны, которое дает объектив 1 с фокусным расстоянием F (рис. 1.6). Из рисунка видно, что угловых размеров наблюдаемого объекта — угол α — объектив не изменяет.</p> <p>Воспользуемся теперь еще одной линзой — окуляром 2, поместив ее от изображения Луны (точка F_1) на расстоянии,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

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 большие увеличения мешает атмосфера Земли. Движение воздуха, незаметное невооруженным глазом (или при малых увеличениях), приводит к тому, что мелкие детали изображения становятся не резкими, 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.

<p>Крупнейший в России телескоп-рефлектор</p>	<p>Сконструирован и построен Ленинградским оптико-механическим объединением</p>
<p>Имеет вогнутое зеркало отшлифованное с точностью до долей микрометра. диаметр 6 м, масса около 40 т, фокусное расстояние зеркала 24 м.</p> <p>Масса всей установки телескопа более 850 т, а высота 42 м.</p> <p>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 станции Зеленчукская в Кабардино-Балкарии) на высоте 2100 м над уровнем моря.</p>	 <p>(рис. 1.7)</p>
<p>В настоящее время появилась возможность использовать в наземных телескопах не монолитные зеркала, а зеркала, состоящие из отдельных фрагментов.</p> <p>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.</p> <p>Предполагается создать телескоп с составным зеркалом диаметром 32 м, работающим по тому же принципу.</p>	
<p>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.</p>	
<p>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: инфракрасное, ультрафиолетовое, рентгеновское, гамма- и радиоизлучение.</p>	

<p>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.</p> <p>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.</p>	
<p>Приборы для исследования остальных видов излучения обычно тоже называют телескопами, хотя по своему устройству они порой значительно отличаются от оптических телескопов.</p> <p>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.</p> <p>Даже оптические телескопы, находящиеся на орбите, имеют определенные преимущества по сравнению с наземными.</p> <p>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.</p> <p>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).</p>	<p>см. рис. 3 на цветной вклейке XV</p>

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

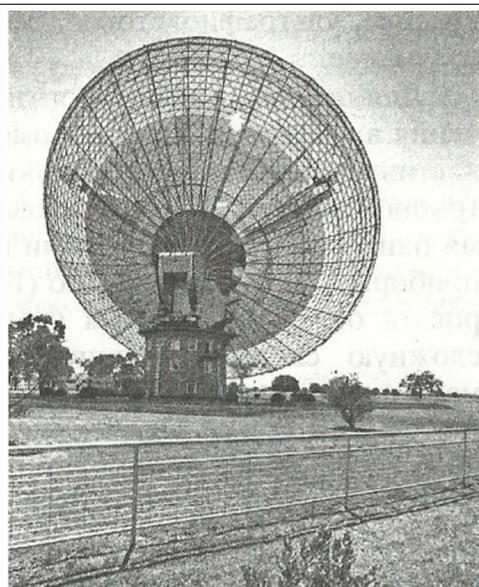


Рис 1.8

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.