

ГЛАВА 1. ПРЕДМЕТ АСТРОНОМИИ

§ 1. Предмет астрономии. Особенности астрономии как науки

Две вещи наполняют душу всегда новым и все более сильным удивлением и благоговением, чем чаще и продолжительнее мы размышляем о них, — это звездное небо надо мной и моральный закон во мне.

И. Кант

1.1. Роль астрономии в развитии цивилизации

Ежедневно мы наблюдаем астрономические явления — восход и заход Солнца, сияние звезд на небосводе, постепенный рост диска Луны и его убывание. **Астрономия** (от греческих слов «звезда» и «закон») — поистине великая наука, изучающая движение небесных тел и систем тел, их природу, происхождение и развитие.

Из курса истории известно, насколько важную роль играли знания о некоторых астрономических явлениях в практической жизни людей древности. Появление на небосводе Древнего Египта ярчайшей звезды Сотис (Сириус) предвещало разлив Нила, определяя тем самым время посева и сбора урожая. Потребности в расширении торговли, в том числе морской, определяли необходимость поиска путей, навигации. Например, финикийцы, одни из самых искусных мореплавателей, ориентировались по звезде, которую греки так и называли — Финикийская звезда. А мы ее знаем как Полярную звезду. Веками звезды служили людям единственным средством ориентирования на местности, определения времени.

Не только экономические и хозяйственные **потребности** определяли наблюдения небесных тел древними. Человек стремился объяснить мир вокруг, его возникновение непротиворечиво и логично с позиции мышления древнего человека. Такое мышление названо мифологическим. В его основе — система взглядов на объективный мир и место в нем человека. Мифологическое мышление базируется не на теоретических доказательствах и рассуждениях, а на художественно-эмоциональном переживании мира, иллюзиях, вызванных восприятием людьми социальных и природных процессов и своей роли в них. Пифагорейцы первыми высказали идею о том, что Земля — шар. Но основанием для этого вывода являлось представление о сфере как идеальной геометрической фигуре, ведь боги могли сотворить только идеальное.

1.2. Эволюция взглядов человека на Вселенную. Геоцентрическая и гелиоцентрическая системы

Вместе с тем в процессе наблюдений светил накапливались данные об особенностях их движения. Первые таблицы, в которых приводились положения светил, были составлены еще *Гиппархом* (II в. до н. э.). Астрономы Древнего Китая аккуратно фиксировали вспышки новых звезд и появление ярких комет. Сохранились древние обсерватории Индии, Междуречья, Египта. Во многих философских трудах древних мыслителей ставился вопрос о природе и строении мира. Наиболее важным этапом явились труды греческого философа *Аристотеля* (IV в. до н. э.), обобщившего и с опорой на логику научного доказательства представившего описание **геоцентрической картины мира**. Аристотель признавал шарообразность Земли, высказал верные суждения о причинах лунных затмений. Саму же Землю мыслитель рассматривал как неподвижную. И доказательством этого суждения являлась неподвижность звезд. Конечно, обнаружение смещения звезд лишь на ос-

нове наблюдения невооруженным глазом невозможно, что и порождало выводы мыслителя, согласно которым Земля располагалась неподвижно в центре мироздания.

Вторым этапом в развитии геоцентрической системы мира явился труд *Клавдия Птолемея* (90–160 гг.) «Альмагест», в котором александрийский ученый дополнил ее математическими разработками. Вокруг неподвижной Земли (рис. 1.1) он расположил Луну и Солнце, а также пять «блуждающих звезд» (планеты Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн), которые двигались равномерно по круговым орбитам (эпициклам). Накопленные данные наблюдений не согласовывались с подобными орбитами. Например, некоторые светила совершали петлеобразное движение. Для их объяснения вводились

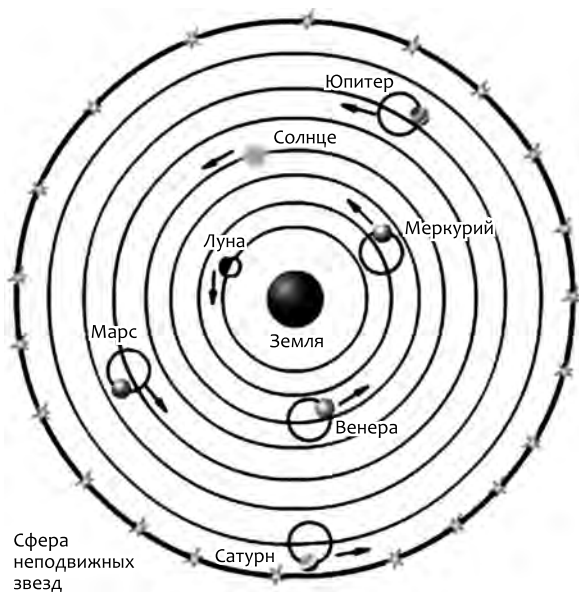


Рис. 1.1. Система мира Птолемея

деференты — окружности, по которым двигались центры эпициклов. Земля при этом продолжала покоиться в общем центре. В процессе согласования теории Птолемея с данными наблюдений вводились дополнительные эпициклы, что делало теорию громоздкой. В системе Птолемея центры эпициклов Меркурия и Венеры лежат на прямой, соединяющей Землю и Солнце. Это позволяло согласовать реальное движение планет с геоцентрическим движением. В целом теория хорошо согласовывалась с наблюдениями, позволяла предсказывать видимые положения планет и просуществовала 14 веков. Секрет этой устойчивости — в «изобретении» Птолемеем гармонического анализа за полтора тысячелетия до его изложения математиком Фурье: любое сложное движение в природе можно разложить на сумму круговых и равномерных движений. Такое представление может быть как угодно точным — все определяется количеством членов в указанной сумме. Модель, предложенная Птолемеем, не только опиралась на геоцентризм, но и страдала недостатками: отсутствие системности; законы движения каждой планеты рассмотрены без связи с другими.

Развитие идей Птолемея и переход к гелиоцентризму принадлежат *Н. Копернику*, который разрабатывал его основы в 1505–1507 гг. В 1543 г. Коперник опубликовал научный труд «Об обращениях небесных сфер», в котором изложил математическую теорию движения нескольких планет, Луны, Солнца и звездной сферы. Расчеты Коперника были точнее выкладок Птолемея и послужили основой для уточнения длительности года.

Эпоха Возрождения изменила мышление человека. В центре внимания оказалась не природно-космическая жизнь, а человек разносторонний, для которого знания, умения, навыки являются самоцелью. Человек воспринимался как творец себя и всей Природы. К этому времени значительно возрос объем наблюдений. «Новые астрономические таблицы», созданные

в обсерватории Улугбека, содержали каталог из 1018 звезд. *Тихо Браге* составил новые солнечные и планетные таблицы, а его звездный каталог хоть и уступал по числу звезд «Новым астрономическим таблицам», но превосходил существовавшие по точности. В этих условиях польский ученый Николай Коперник в своем труде «О вращении небесных сфер» поместил в центр своей системы Солнце, а Земля заняла почетную третью от него орбиту (рис. 1.2).

Гелиоцентрическая система легко объяснила петлеобразное движение планет тем, что мы наблюдаем движение (рис. 1.3) этих планет, двигаясь при этом вместе с Землей вокруг Солнца. Для Меркурия и Венеры получили объяснение фиксированные угловые расстояния, на которые они могли отдаляться от Солнца для земного наблюдателя. преимуще-

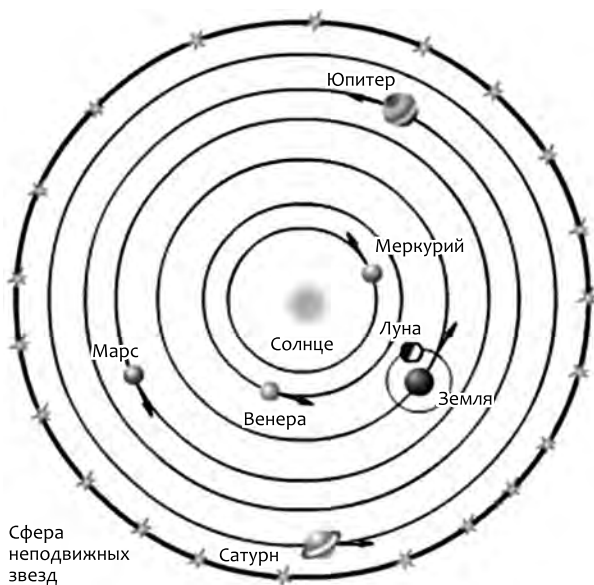


Рис. 1.2. Гелиоцентрическая система Коперника

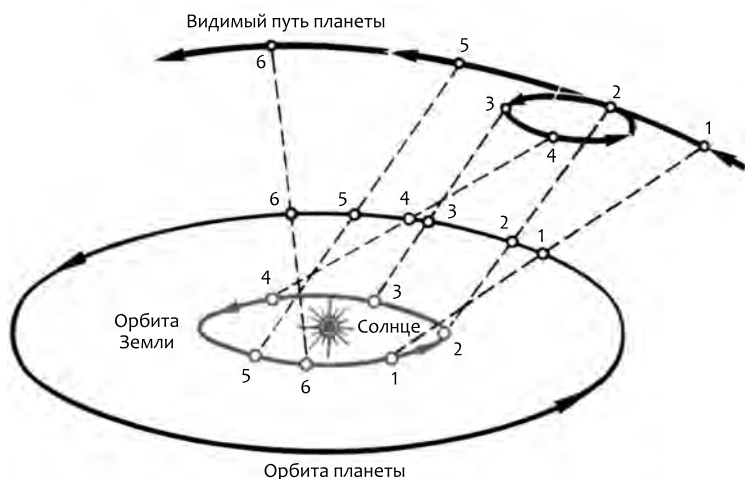


Рис. 1.3. Петлеобразное движение планет

ством системы Коперника являлось объяснение смены дня и ночи, а также видимое годичное движение Солнца. При этом систему Николай Коперник по-прежнему ограничивал сферой неподвижных звезд. Кроме того, орбиты планет он рассматривал как окружности. Именно поэтому первоначально система Коперника хуже предсказывала движение планет. В развитие представлений об устройстве Солнечной системы большой вклад внесли *Галилео Галилей* (астрономическими наблюдениями с использованием телескопа), *Иоганн Кеплер* и *Исаак Ньютон*, сформулировавшие законы небесной механики.

1.3. Особенности методов познания в астрономии

В отличие от других наук методы познания в астрономии определяются рядом **особенностей** астрономических объектов и процессов. Значительная **удаленность** большинства из них не позволяет проводить наблюдения невооруженным

глазом. Лишь Луну и Солнце человек может наблюдать как диски. Все остальные светила выглядят для нас как светящиеся точки, а иногда и вовсе не фиксируются глазом или сливаются друг с другом, поскольку человек с нормальным зрением способен различать детали размером всего лишь 2–3 угловые минуты.

Другой особенностью является **продолжительность** процессов, протекающих во Вселенной, которая определяется промежутками времени, значительно превосходящими не только время существования цивилизации на Земле, но и самой Земли.

1.4. Телескопы

Появление **телескопов** позволило астрономии начать свое стремительное развитие, а наблюдения, которые и ранее являлись основным источником информации об объектах Вселенной, обрели необходимую точность.

Временем рождения телескопической астрономии считается 1609 г., когда Галилео Галилей сконструировал первый в мире **линзовый телескоп** (рис. 1.4). С его помощью ученый

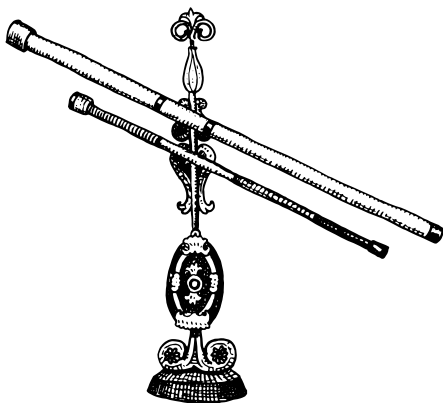


Рис. 1.4. Телескоп Галилея

впервые обнаружил лунные горы и моря, пятна на Солнце. Юпитер предстал светящимся диском, вокруг которого вращались четыре спутника, а у Венеры наблюдались фазы, подобные фазам Луны. В телескопе в качестве **объектива** использовалась собирающая линза, а в качестве окуляра — рассеивающая (рис. 1.5).

Такие телескопы называют **рефракторами**. Изображение, даваемое телескопом, — прямое. Стекло линзы преломляет коротковолновый свет сильнее, чем длинноволновый, возникает несколько фокусов линзы, а изображение получается расплывчатым и окрашивается. Такое явление называется **хроматической аберрацией**. Спустя несколько десятилетий Исаак Ньютон изобрел первый в мире **зеркальный телескоп**, который не имел этих особенностей. В телескопе окуляром оставалась рассеивающая линза, но в качестве объектива использовалось **вогнутое зеркало** (рис. 1.6). Вспомогательное плоское зеркало отклонило лучи в сторону к окуляру.

Общим недостатком первых простейших оптических телескопов считалась сферическая аберрация: краевая зона сферической линзы или зеркала фокусирует свет ближе к линзе, чем центральная, в результате чего точечный источник проецируется как пятно. Для устранения этого эффекта

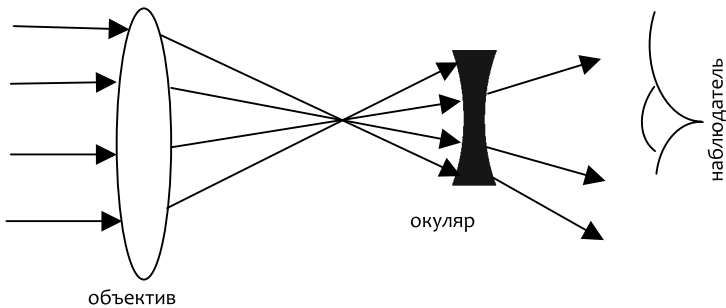


Рис. 1.5. Схема телескопа-рефрактора

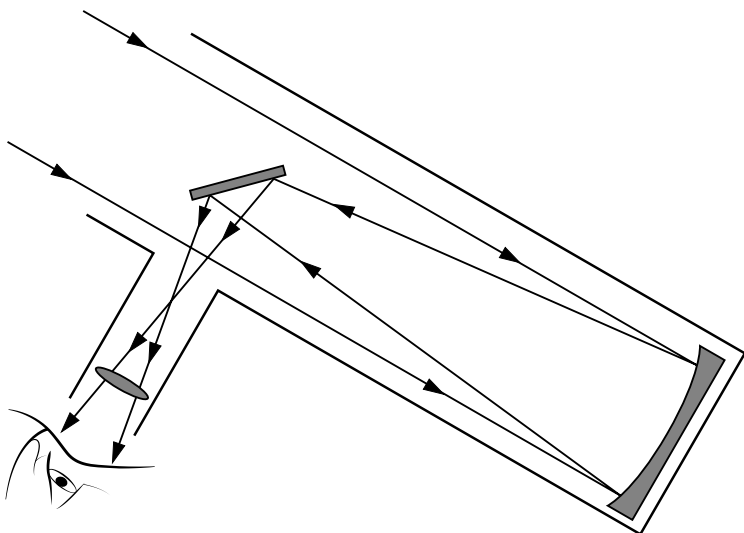


Рис. 1.6. Схема телескопа-рефлектора Ньютона

зеркала современных рефлекторов имеют параболическую форму. В астрофизических исследованиях чаще применяют рефлекторы. А для наблюдений, требующих большого поля зрения, используют зеркально-линзовые телескопы.

Если первые оптические телескопы позволяли получать информацию при непосредственном присутствии ученого-астронома, то сегодня речь идет о возможности фотографирования небесных объектов. В таком случае телескопы называют **астрографами**. Фиксация излучения проводится и с помощью электронных приемников света (например, полупроводниковых приборов с зарядовой связью матрицы ПЗС).

Оптический телескоп увеличивает угол зрения, под которым наблюдатель видит удаленный объект или участок неба. Рассматриваемое через окуляр изображение, построенное объективом, наблюдатель видит увеличенным. Увеличе-

ние n равно отношению фокусных расстояний объектива F и окуляра f :

$$n = \frac{F}{f}. \quad (1.1)$$

Меняя окуляры, можно получить для одного и того же телескопа различные увеличения. Практически при увеличении в 300–500 раз уже возникают размывания изображения из-за движений воздуха, незаметных невооруженным глазом. Качество создаваемого телескопом изображения характеризует **угловое разрешение** β — минимальный угловой размер изображения источника, который создает телескоп. Существует предельно возможное значение углового разрешения, которое связано с волновой природой света. Оно равно отношению длины волны излучения λ к диаметру объектива телескопа D (угловое разрешение выражено в радианах), с учетом коэффициента 1,22 согласно критерию Рэля:

$$\beta = 1,22 \frac{\lambda}{D}. \quad (1.2)$$

Теоретическое значение углового разрешения не достигается из-за несовершенства оптики, а также под влиянием атмосферных помех. Современные оптические телескопы являются высокоточными измерительными инструментами, которые оснащены электронным оборудованием для управления их работой, регистрации и анализа поступающего излучения. Крупнейший телескоп в Евразии (БТА — «большой телескоп азимутальный») с диаметром зеркала 6 метров установлен на Северном Кавказе. Он входит в состав Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук.

Телескопы — чувствительные к перепадам температуры, вибрации инструменты. Их помещают в специальное здание — астрономическую башню обсерватории. Обсерватории часто располагают в районах гор, удаляясь от плотных слоев

атмосферы и крупных городов и мегаполисов. Воздух вблизи обсерваторий должен быть сухим, чистым.

Увеличение диаметра оптических элементов приводит к их деформации вследствие собственного веса. Проблему разрешила электронная линия обратной связи, которая контролирует качество изображения и при необходимости исправляет его, управляя деформацией зеркал. Такая электронная обратная связь называется **системой активной оптики**. Для коррекции атмосферных искажений используется автоматическая система адаптивной оптики.

Современную телескопию называют всеволновой. Телескопы, работающие в других диапазонах электромагнитного спектра — радиотелескопы, инфракрасные, рентгеновские, гамма-телескопы, открыли новые грани в развитии астрономии. Радиотелескопы напоминают радиоприемники, включая антенну, приемник и прибор для регистрации радиосигнала, который преобразуется в электрический сигнал (рис. 1.7). Для увеличения их возможностей радиотелескопы объединяют в систему, которую называют «радиоинтерферометр». Радио-

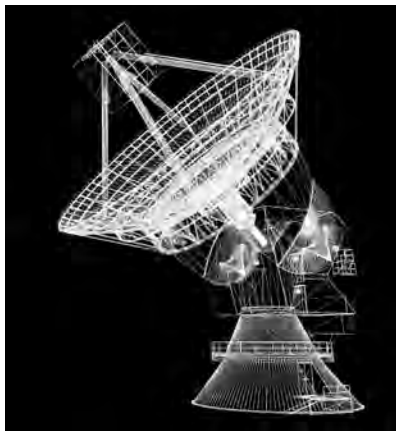


Рис. 1.7. Радиотелескоп

интерферометр — это две и более антенны, разнесенные на большое расстояние и соединенные друг с другом кабельной или ретрансляционной связью.

Вместе с тем разделение телескопов по диапазонам условно. Так, оптические телескопы при наличии отражательной оптики могут применяться для наблюдения в участках инфракрасной и субмиллиметровой областей, для которых атмосфера достаточно прозрачна.

Для наблюдения в других диапазонах телескопы устанавливаются на самолетах, аэростатах, выводятся на околоземную орбиту Земли. Воздушная обсерватория *Kuiper Airborne Observatory* представляет собой авиалайнер, на котором установлен инфракрасный телескоп диаметром около 1 метра. В 1990 г. выведен на орбиту космический телескоп «Хаббл» (рис. 1.8), в 2011 г. запущен российский космический радиотелескоп «Спектр-Р» по проекту «Радио-астрон» по изучению сверхмассивных черных дыр, областей звездообразования в Галактике.

Сама Земля может выступать элементом астрофизического прибора. Так, гамма-кванты сверхвысоких энергий, проходя через земную атмосферу, создают ливень элементарных частиц.

Эти частицы создают особое излучение, возникающее в результате эффекта Вавилова—Черенкова (излучение электрически заряженной частицы, движущейся в среде со скоростью, превышающей скорость света в этой среде), которое распространяется по направлению породивших его гамма-квантов и регистрируется обычными телескопами. В недрах Земли расположены установки по регистрации нейтрино. Планета-телескоп по обнаружению превращений нейтрино позволяет исследовать глубины Солнца, откуда и «приходят» нейтрино.

Вместе с тем современный уровень развития техники позволяет астрономам-любителям в полной мере участвовать

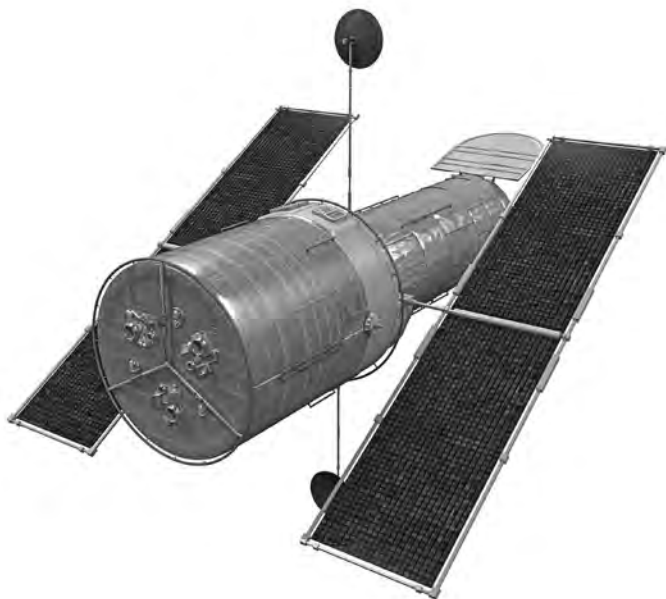


Рис. 1.8. Телескоп «Хаббл»

в современных исследованиях. К некоторым телескопам с дистанционным управлением открыт доступ и для любителей астрономии. Например, проект *Faulkes Telescope* (<http://www.faulkes-telescope.com>) открывает доступ для онлайн-наблюдений всем желающим. На сайте mks-onlain.ru и других можно любоваться изображениями Солнца в реальном времени. Некоторые обсерватории делают доступными полученные «сырые» данные для участия в их обработке всех желающих при наличии определенной квалификации.

1.5. Практическое применение астрономических исследований

Сегодняшняя действительность немыслима без астрономических исследований. Астрономия рассматривает фундаментальные вопросы протекания природных процессов. Вычисление положений важнейших объектов, составление календарей основаны на астрономических данных. Навигация в мореплавании, авиации и космонавтике осуществляется с использованием широкой сети искусственных спутников связи. Кроме того, вычисление времени наступления морских приливов и отливов, составление географических и топографических карт — все это опирается на астрономические исследования. Мониторинг различных природных явлений (движения айсбергов в океанах, тайфунов, обширных лесных пожаров и т. д.) позволяет снизить их негативные последствия, направляя деятельность спасателей, движение судов, помогает в эвакуации людей из зон бедствий.

Несколько десятилетий работают выведенные на орбиту космические аппараты для исследования солнечной активности. Гелиосферные обсерватории ведут наблюдения за Солнцем в различных диапазонах электромагнитных волн, позволяя предупредить о приближающихся магнитных бурях, вызванных активностью Солнца.

Являясь одной из естественных наук, астрономия неразрывно связана с физикой, химией, биологией. Во Вселенной ученые наблюдают процессы, воспроизведение которых в лабораторных условиях Земли невозможно по физико-химическим характеристикам. Диапазон наблюдаемых температур астрономических объектов варьируется от долей градуса кельвина до сотен миллионов кельвинов в недрах звезд. С астрономическими объектами связаны сильные магнитные и гравитационные поля. Физические теории можно проверить, используя астрономические методы.

1.6. Современные представления о структуре и масштабах Вселенной

Наблюдения с Земли и из космоса с использованием современных телескопов позволили «заглянуть» на расстояние более 13 миллиардов световых лет. Это пространство названо Метагалактикой. Все фрагменты изображений Вселенной, полученных телескопами, позволяют утверждать, что распределение скоплений галактик во Вселенной имеет ячеистую структуру. Одна из галактик особая: на ее периферии расположена Солнечная система.

Оценим пространственные масштабы Вселенной. Скорость света в вакууме — максимально возможная скорость передачи любых видов взаимодействий. Зная величину скорости света и расстояние от Земли до Луны, определим время, которое потребуется свету, чтобы достичь Луны:

$$\frac{384 \cdot 10^6 \text{ м}}{3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = 1,28 \text{ с.}$$

Аналогично можно рассчитать время, которое потребуется, чтобы свет прошел расстояние от Солнца до Земли. Оно составит 8,3 минуты. Чтобы достигнуть Нептуна (наиболее удаленной планеты Солнечной системы), свету потребуется более 4 часов. Современная картина мира непрерывно дополняется новыми сведениями. До ближайшей звезды (Проксима Центавра) свет будет идти более 4 лет, а до ближайшей галактики (Карликовая Галактика в Большом Псе) — 25 тысяч световых лет от Солнечной системы!

Вопросы и задания

1. Перечислите особенности астрономии. В чем особенности источников информации в астрономии?

2. Охарактеризуйте основные периоды развития астрономии. Обоснуйте свой ответ.

3. Сравните геоцентрическую и гелиоцентрическую системы мира. В чем состояло преимущество каждой из них? Почему систему Коперника нельзя считать моделью Вселенной?

4. Опишите особенности развития телескопов. Сравните преимущества наземных и космических обсерваторий.

5. Каково, с вашей точки зрения, значение современных астрономических явлений для науки и повседневной жизни человека?

ГЛАВА 2. ОСНОВЫ ПРАКТИЧЕСКОЙ АСТРОНОМИИ

§ 2. Небесные координаты

2.1. Созвездия и небесная сфера

Глядя на звездное небо, поражаешься бесчисленности звезд, кажущейся неизменности и беспорядочности их положений. Но это только на первый взгляд. В Северном полушарии даже в условиях города можно увидеть группы звезд с особым взаимным расположением. Так, легко различимы созвездия Кассиопеи, Большой и Малой Медведицы. С древних времен люди видели в определенных группах звезд изображения животных, мифических героев.

Если в древности **созвездиями** называли группы ярких звезд, которые позволяли ориентироваться в пространстве путешественникам, морякам; сегодня понятие «созвездие» имеет более конкретное значение. Астрономы называют созвездием не только выразительную фигуру из ярких звезд, но и весь участок небесной сферы в пределах установленной границы, со всеми проецируемыми на него — с точки зрения земного наблюдателя — небесными объектами¹. В реальности **небесной сферы** не существует. Она является *воображаемой сферой произвольного радиуса, на которую наблюдатель, находящийся в ее центре, проецирует небесные объекты* (рис. 2.1). Звезды, образующие рисунок созвездий, могут быть расположены от наблюдателя на разных расстояниях и лишь проецироваться в звездный узор как нечто целое.

Названия созвездий и их границы были установлены решениями Международного астрономического союза (МАС)

¹ Сурдин В. Г. Разведка далеких планет. — Изд. 4-е, доп. — М.: Физматлит, 2017. — 368 с.

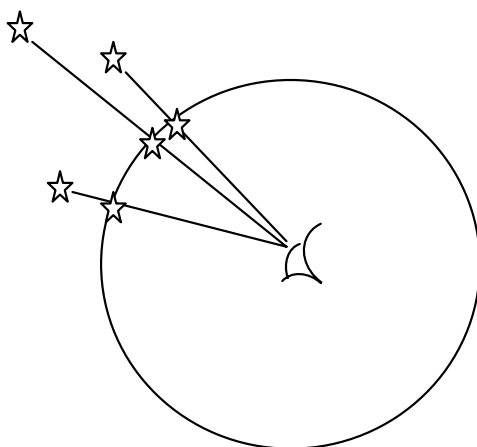


Рис. 2.1. Проекция светил на небесную сферу

в 1922–1935 гг. Впредь было решено эти границы и названия созвездий считать неизменными. Кроме официально утвержденных названий в каждой стране существуют и собственные, народные названия некоторых групп звезд. Так, звездное скопление Плеяды на Руси называли Стожары, семь ярких звезд Большой Медведицы называли Ковш.

Наиболее яркие звезды каждого созвездия обозначают буквами греческого алфавита в порядке убывания их кажущейся яркости в этом созвездии: α (альфа), β (бета), γ (гамма), δ (дельта), ϵ (эпсилон) и т. д. Некоторые наиболее яркие звезды в созвездиях имеют собственные названия: Сириус (α Большого Пса); Прочион (α Малого Пса); Полярная (α Малой Медведицы), Вега (α Лиры) и другие. Некоторые из них, например Капелла (α Возничего), Бетельгейзе (α Ориона), Альдебаран (α Тельца), Антарес (α Скорпиона), Арктур (α Волопаса), являются навигационными звездами: их свет способен проникать сквозь туман и легкие перистые облака, в то время как даже более яркие звезды невидимы.

2.2. Видимая звездная величина

Наш глаз в идеальных условиях (100% зрение, ясная безлунная ночь) способен различать звезды, яркость которых имеет определенное значение. Еще во II в. до н. э. Гиппарх ввел понятие **звездной величины** — *меры видимой яркости звезды, оцениваемой на глаз*. Самые яркие звезды им были отнесены к первой звездной величине (обозначают 1^m), самые слабые — к шестой. **Шкала звездных величин** сохранилась в своей основе и широко используется. *Наблюдаемая яркость звезды определяется количеством световой энергии, приходящей от нее в единицу времени, на единицу площади поверхности, перпендикулярной лучам*. Если в физике эта величина называется **освещенностью**, то в астрономии используется понятие **блеск** и выражается в **звездных величинах**. Чем слабее видна звезда, тем больше ее звездная величина. Более яркие звезды могут иметь нулевую или отрицательную звездную величину. Так, видимая звездная величина Солнца составляет -27^m , Луна в полнолуние имеет звездную величину $-12,5^m$. Сегодня наблюдения с использованием современных телескопов позволяют обнаружить излучение объектов до 30^m .

Самое большое созвездие Гидра имеет одну звезду ярче $2,5^m$. Некоторые созвездия так бедны яркими звездами, что на небе почти незаметны. Например, в созвездии Микроскоп самые яркие звезды $4,7^m$.

2.3. Основные точки и линии небесной сферы

Рассмотрим основные элементы небесной сферы, которые можно использовать для ориентирования или навигации. Если наблюдатель находится в центре небесной сферы O , прямая ZOZ' , называемая **вертикалью наблюдателя**, совпадает с направлением линии отвеса (груза на нити) в месте наблюдения

(рис. 2.2). Эта линия пересекает небесную сферу в точках Z (**зенит**) над головой наблюдателя и Z' (**надир**). Плоскость большого круга небесной сферы $NWSE$ перпендикулярна отвесной линии и называется математическим горизонтом. Окружность, ограничивающую плоскость $NWSE$ (линию пересечения плоскости и небесной сферы), называют **истинным горизонтом**.

Следует подчеркнуть отличие истинного от видимого горизонта на суше. Линия неровная, ее точки видимого горизонта могут лежать и выше, и ниже истинного. Истинный горизонт делит небесную сферу на видимую и невидимую наблюдателю половины. Круг, проходящий через зенит и надир, называют **небесным меридианом**. Истинный горизонт пересекается с небесным меридианом в точках севера N и юга S . Линию NOS называют **полуденной линией**.

2.4. Суточное движение светил

Земля за сутки делает один полный оборот вокруг своей оси, вращаясь с запада на восток. Для наблюдателя на Земле небесные объекты совершают оборот в обратном направлении.

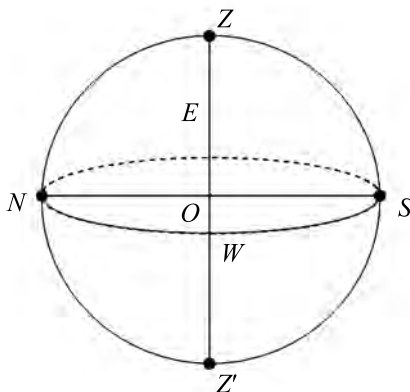


Рис. 2.2. Небесная сфера

нии: восходят на востоке и заходят на западе. Если за 24 часа небосвод поворачивается на 360° , то за час угол поворота составляет 15° . Если использовать неподвижный фотоаппарат с длительной экспозицией (более часа), каждая звезда оставит «след» в виде светлой дуги.

Взаимное расположение звезд на внутренней поверхности сферы в течение суточного вращения остается неизменным. Вращение самой сферы — кажущееся и является следствием осевого вращения Земли. Сама небесная сфера вращается вокруг оси, которая ориентирована параллельно оси вращения Земли. Ось видимого вращения небесной сферы называют **осью мира**. Если ее указать на небесной сфере, она пересечет небесный меридиан в точках P и P' (рис. 2.3). Ось мира для наблюдателя параллельна оси вращения Земли, и они обе направлены в сторону Полярной звезды с учетом ее большой удаленности. Эти точки — соответственно, северный и южный полюсы мира.

В настоящее время вблизи северного полюса мира P находится Полярная звезда (α Малой Медведицы). Расстояние от нее до северного полюса мира в настоящее время чуть

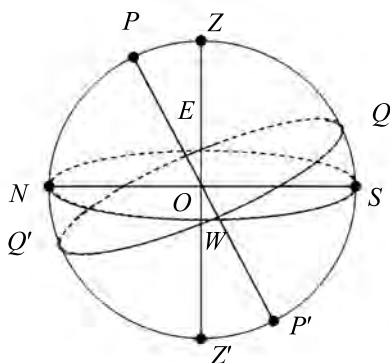


Рис. 2.3. Ось мира и небесный экватор на небесной сфере

меньше 1° . Вблизи южного полюса мира яркие звезды отсутствуют.

Плоскость, параллельная плоскости экватора Земли и проходящая через центр небесной сферы, пересекает последнюю в точках W и E (запада и востока). Эта плоскость называется **небесным экватором**. Он пересекает небесный меридиан в верхней точке экватора Q и в нижней точке экватора Q' .

2.5. Системы небесных координат

Расположение светила на небесной сфере можно описать, используя **систему координат**. Положение точки на небесной сфере относительно плоскости и точки начала отсчета определяется двумя угловыми величинами соответствующих центральных углов. Они называются небесными координатами. Системы небесных координат подобны географическим координатам. Так, на поверхности Земли положение точки помогают определить широта и долгота. В астрономии используется несколько систем координат, которые отличаются выбором основной плоскости и точек начала отсчета. Для географических координат основной плоскостью является плоскость земного экватора (от нее отсчитывается широта), началом отсчета долгот является нулевой меридиан.

В **горизонтальной системе** небесных координат основной плоскостью является плоскость истинного (математического) горизонта, отсчет ведется от зенита и точки юга. Определим положение светила M в горизонтальной системе координат (рис. 2.4).

Большой круг небесной сферы ZMZ' называют **кругом высоты** (вертикалом светила). Первая координата — **высота светила** h — угол mOM между плоскостью истинного горизонта и направлением на светило M . Высоты находятся в пределах от 0 до 90° к зениту и от 0 до -90° к надиру. Вторая координата — **азимут** A — угол SOM между полуденной ли-

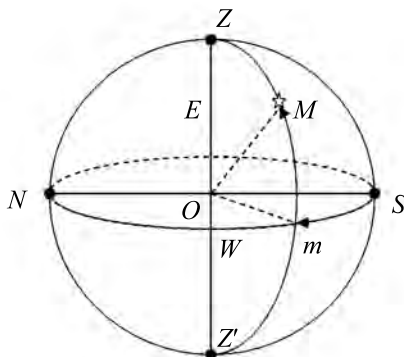


Рис. 2.4. Горизонтальная система координат

нией и линией пересечения плоскости истинного горизонта с плоскостью вертикального круга, проходящего через светило. Азимут отсчитывается в сторону суточного вращения небесной сферы (к западу от точки юга) и находится в пределах от 0 до 360° .

В течение суток светило M вместе с небесной сферой для наблюдателя на Земле вращается. Светило опишет малый круг небесной сферы — **суточную параллель**. Его плоскость будет перпендикулярна оси мира и параллельна небесному экватору. Возможны несколько вариантов взаимного расположения суточной параллели светила и истинного горизонта (рис. 2.5):

— суточная параллель светила M_1 не пересекает плоскость истинного горизонта и располагается выше него; светило называется **незаходящим**;

— суточная параллель светила M_2 дважды пересекает плоскость истинного горизонта; светило называется **восходящим и заходящим**;

— суточная параллель светила M_3 не пересекает плоскость истинного горизонта и расположена ниже него; светило называется **невосходящим**.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава 1. Предмет астрономии.....	3
§ 1. Предмет астрономии. Особенности астрономии как науки.....	3
1.1. Роль астрономии в развитии цивилизации	3
1.2. Эволюция взглядов человека на Вселенную. Геоцентрическая и гелиоцентрическая системы	4
1.3. Особенности методов познания в астрономии.....	8
1.4. Телескопы	9
1.5. Практическое применение астрономических исследований	16
1.6. Современные представления о структуре и масштабах Вселенной.....	17
Вопросы и задания.....	17
Глава 2. Основы практической астрономии.....	19
§ 2. Небесные координаты	19
2.1. Созвездия и небесная сфера.....	19
2.2. Видимая звездная величина	21
2.3. Основные точки и линии небесной сферы.....	21
2.4. Суточное движение светил.....	22
2.5. Системы небесных координат	24
2.6. Звездный глобус и звездные карты	28
Вопросы и задания.....	31
§ 3. Видимое движение Солнца и Луны.....	32
3.1. Видимое движение Солнца	32
3.2. Движение и фазы Луны	35
3.3. Солнечные и лунные затмения.....	40
Вопросы и задания.....	47
§ 4. Связь видимого расположения объектов на небе и географических координат наблюдателя (Практическая работа № 1).....	49
§ 5. Время и календарь	56
5.1. Понятие суток в астрономии	56
5.2. Измерение времени	58
5.3. Летоисчисление и календарь.....	61
5.4. Современный календарь	62
Вопросы и задания.....	64

§ 6. Наблюдение звездного неба (Лабораторная работа № 1)	65
§ 7. Наблюдение планет	69
7.1. Конфигурации и условия видимости внутренних планет.....	70
7.2. Конфигурации и условия видимости внешних планет	72
Вопросы и задания.....	75
Глава 3. Законы движения небесных тел.....	77
§ 8. Методы определения расстояний и размеров тел Солнечной системы.....	77
8.1. Методы определения расстояний до тел Солнечной системы	77
8.2. Методы определения размеров тел Солнечной системы.....	80
Вопросы и задания.....	81
§ 9. Небесная механика	83
9.1. Законы Кеплера	83
9.2. Закон всемирного тяготения.....	87
9.3. Уточненные первый и третий законы Кеплера.....	88
9.4. Подтверждение справедливости закона всемирного тяготения	90
Вопросы и задания.....	94
§ 10. Движение искусственных небесных тел	95
10.1. Движение искусственных спутников Земли. Первая космическая скорость.....	95
10.2. Движение космических аппаратов. Вторая и третья космические скорости.....	99
10.3. Исторические этапы развития пилотируемых полетов	102
Вопросы и задания.....	103
§ 11. Применение законов Кеплера (Практическая работа № 2).....	104
Глава 4. Солнечная система	107
§ 12. Происхождение Солнечной системы	107
12.1. Особенности Солнечной системы как единого комплекса небесных тел	107
12.2. Теоретические гипотезы происхождения Солнечной системы	109
12.3. Современные представления о происхождении Солнечной системы.....	110
Вопросы и задания.....	112

§ 13. Планеты земной группы	113
13.1. Меркурий	114
13.2. Венера	117
13.3. Система «Земля—Луна»	119
13.4. Марс и его спутники	124
Вопросы и задания.....	128
§ 14. Планеты-гиганты.....	129
14.1. Юпитер, его кольца и спутники	132
14.2. Сатурн, его кольца и спутники.....	135
14.3. Уран, его кольца и спутники	138
14.4. Нептун, его кольца и спутники	140
Вопросы и задания.....	142
§ 15. Малые тела Солнечной системы	144
15.1. Астероиды.....	144
15.2. Карликовые планеты.....	147
15.3. Кометы.....	149
15.4. Метеорные тела	152
15.5. Другие малые тела Солнечной системы.....	156
Вопросы и задания.....	157
Глава 5. Звезды	158
§ 16. Методы изучения звезд	158
16.1. Анализ электромагнитного излучения	158
16.2. Спектральный анализ.....	161
16.3. Энергетические методы оценки физических параметров звезд.....	162
Вопросы и задания.....	164
§ 17. Солнце и его особенности	165
17.1. Физические особенности Солнца.....	166
17.2. Состав и строение Солнца	168
17.3. Источники энергии Солнца	171
17.4. Солнечная активность.....	172
17.5. Солнечно-земные связи	175
Вопросы и задания.....	177
§ 18. Основные характеристики звезд	179
18.1. Пространственные скорости звезд	179
18.2. Цвет, температура и светимость звезд	184
18.3. Масса и размеры звезд.....	187
18.4. Спектры и спектральные классы звезд	189
18.5. Связь между физическими характеристиками звезд	191
Вопросы и задания.....	194

§ 19. Переменные и нестационарные звезды.....	196
19.1. Причины изменения яркости светил.....	196
19.2. Периодические и долгопериодические звезды и их особенности.....	198
19.3. Нестационарные (эруптивные) звезды	201
Вопросы и задания.....	205
§ 20. Внутреннее строение и источники энергии звезд (Практическая работа № 3).....	207
§ 21. Эволюция звезд	217
21.1. Начальная стадия эволюции звезд	217
21.2. Пребывание звезды на главной последовательности	220
21.3. Конечные стадии эволюции звезд	222
21.4. Открытие экзопланет.....	223
21.5. Проблема существования жизни во Вселенной	227
Вопросы и задания.....	232
Глава 6. Наша Галактика	234
§ 22. Наша Галактика	234
22.1. Состав нашей Галактики	234
22.2. Структура Галактики	238
22.3. Характеристики Галактики.....	240
22.4. Проблема скрытой массы	241
Вопросы и задания.....	243
§ 23. Звездные скопления, межзвездные газ и пыль (Практическая работа № 4).....	245
Глава 7. Галактики. Строение и эволюция Вселенной.....	254
§ 24. Другие галактики	254
24.1. Классификация галактик	254
24.2. Состав и физические особенности галактик.....	257
24.3. Определение расстояний до галактик	259
24.4. Активные ядра галактик	260
Вопросы и задания.....	262
§ 25. Эволюция Вселенной	263
25.1. Теоретические основы модели однородной и изотропной Вселенной	263
25.2. Космологическая модель Вселенной	266
25.3. «Проблема темной энергии»	268
25.4. Теория Большого взрыва	270
25.5. Этапы эволюционного развития Вселенной.....	272
Вопросы и задания.....	273
Приложение. Характеристики планет Солнечной системы.....	275
Литература.....	276