



# Введение



С древних времен человек заинтересованно изучает Вселенную, пытаясь понять, как устроен мир. В XX в. началась космическая эра, и сейчас в распоряжении астрономов есть мощные наземные и космические телескопы, которые позволяют получать астрономические снимки невиданного раньше качества. Космические аппараты побывали на Марсе, исследовали поверхность Венеры, пересекли границы Солнечной системы, совершили посадку на комету. Сегодня мы уже знаем многое, но космос продолжает задавать новые вопросы.

Что находится в центре галактик? Куда расширяется Вселенная? Какие бывают телескопы? Почему у некоторых звезд меняется блеск? Когда и как появилась Солнечная система? Что находится на обратной стороне Луны? Какие бывают астероиды? Эта книга даст ответы на эти и другие вопросы, расскажет об устройстве Вселенной, ее происхождении и эволюции. Эта книга — ваш гид в мире звезд, где все не совсем такое, каким кажется на первый взгляд.



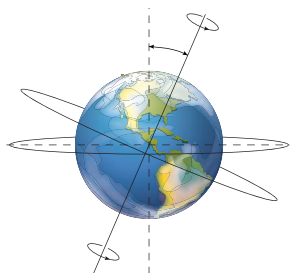




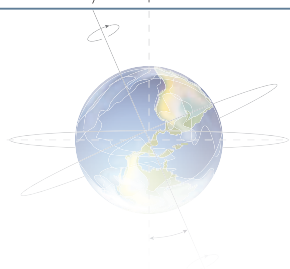




Небо  
над нами



# Небесные координаты



Положение точки в пространстве характеризуется тремя числами, обозначающими расстояния до трех взаимно перпендикулярных плоскостей. Однако по взаимному положению звезд на небе нельзя узнать, какое расстояние отделяет одну звезду от другой. Две звезды могут находиться очень далеко друг от друга, но примерно в одном направлении от Земли — и тогда мы увидим их на небе рядом. Числовую оценку направлений производят при помощи углов.

Представим два луча, исходящих из одной точки (глаза наблюдателя) в направлении двух разных светил на небе. Угол, заключенный между этими лучами, называется *угловым расстоянием* между светилами. Угол маленький — светила рядом, угол большой — они на разных участках небосклона.

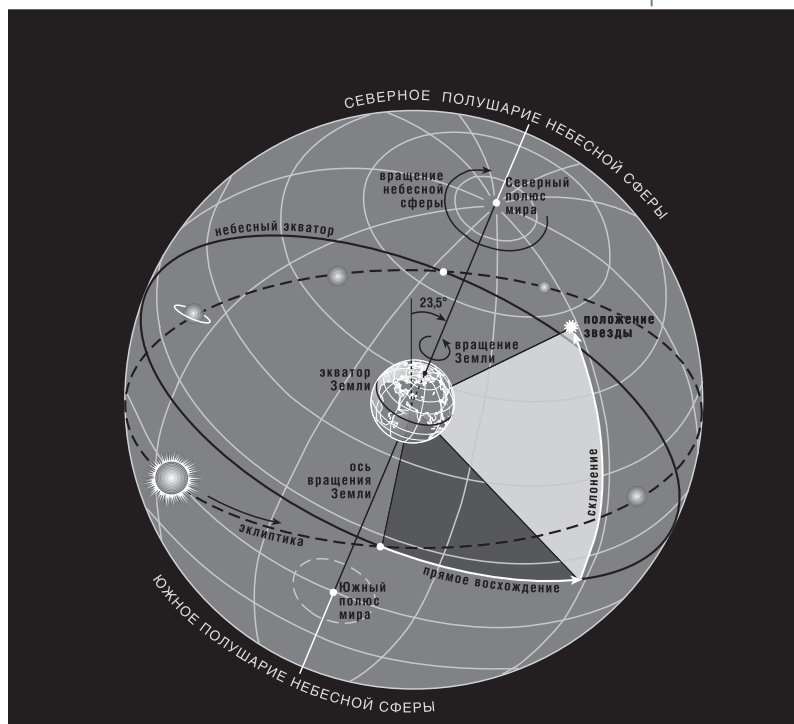
В некоторых системах координат положение объекта описывается не линейными, а угловыми величинами. Например, широта и долгота, определяющие



положение точки на поверхности земного шара, — это углы. Нечто подобное можно ввести и на небе. Для описания взаимного положения и движения светил можно использовать уже давно устаревшее представление о небе как о куполе. На внутренней поверхности такой воображаемой сферы удобно разместить все светила, а в ее центре — наблюдателя. Такую сферу называли *небесной сферой* и ввели на ней системы угловых координат, аналогичных географическим.



Если пересечь сферу плоскостью, в сечении получится окружность. Максимальный размер она будет иметь тогда, когда плоскость пройдет через центр сферы. Эта линия так и называется — большой круг. Линию, проходящую через наблюдателя, точки прямо над его головой (*зенит*) и точки прямо под ним (*надир*), принято называть *отвесной линией*. Плоскость, перпендикулярная отвесной линии и проходящая через наблю-

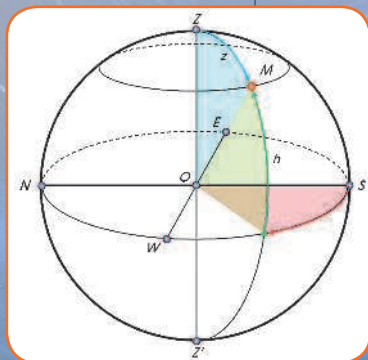




дателя, пересечет небесную сферу по большому кругу, именуемому *горизонтом*. Зрительно это то место, где «земля с небом сходятся». Все точки горизонта отстоят от зенита на  $90^\circ$ , мы видим только ту половину небесной сферы, которая располагается над горизонтом.

Все звезды описывают на небе окружности с одним и тем же центром. Точка, соответствующая этому центру, называется *полюсом мира*. В наших широтах таким центром является северный полюс мира (рядом с Полярной звездой), а в Южном полушарии Земли — южный полюс мира. Ось, соединяющая полюсы мира, называется *осью мира*. Суточное движение светил происходит так, как если бы вся небесная сфера вращалась как одно целое вокруг оси мира в направлении с востока на запад. Это движение, разумеется, мнимое: оно является отражением вращения Земли вокруг своей оси с запада на восток.

Горизонтальная система координат



Проведем плоскость через наблюдателя перпендикулярно оси мира. Она пересечет небесную сферу по большому кругу — *небесному экватору*, который делит ее на два полушария — северное и южное. Небесный экватор пересекается с горизонтом в двух точках. Это *точки востока и запада*.

Большой круг, проходящий через оба полюса мира, зенит и надир, называется *небесным меридианом*. Он пересекает горизонт в *точках севера и юга*.

Чтобы построить систему небесных координат, нужно выбрать некоторую основную плоскость, проходящую через наблюдателя



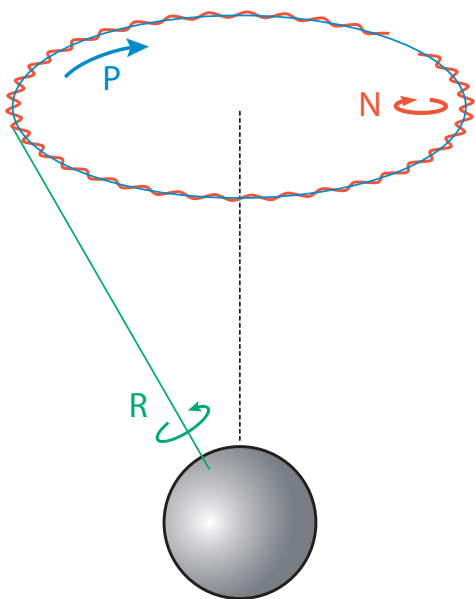
и пересекающую небесную сферу по большому кругу. Затем через полюс этого круга и светило проводится еще один большой круг, пересекающий первый, и в качестве координат принимаются угловое расстояние от точки пересечения до светила и угловое расстояние от некоторой точки на основном круге до той же точки пересечения. В *горизонтальной системе координат* основной плоскостью является плоскость горизонта, в *экваториальной* — плоскость небесного экватора.

Существуют и другие системы небесных координат. Так, для изучения движений тел в Солнечной системе применяется *эклиптическая система координат*, в которой основной плоскостью служит плоскость видимого пути Солнца на небесной сфере — *эклиптика*, совпадающая с плоскостью земной орбиты, а координатами — *эклиптическая широта* и *эклиптическая долгота*. Существует и *галактическая система координат*, в которой в качестве основной плоскости принята средняя плоскость галактического диска.

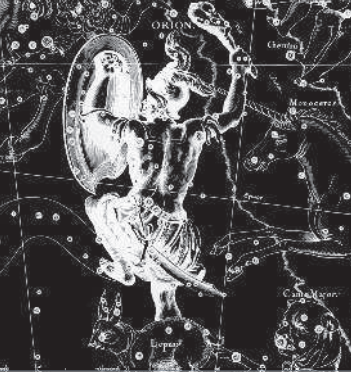
## Колебания земной оси

Земля вращается вокруг своей оси и в первом приближении ведет себя при этом как детская игрушка — волчок, кончик ручки которого описывает в пространстве окружность. Круговое покачивание оси вращения твердого тела физики называют *прецессией*. Помимо нее земная ось (так же как оси вращения всех совершающих прецессию твердых тел) как бы немного дрожит и покачивается. Это слабое нерегулярное движение оси вращения Земли называется *нутацией* (от лат. *колебание, качание, кивание*). Прецессия земной оси вращения вызывается притяжением Солнца и Луны, которые стремятся повернуть ее, а Земля этому сопротивляется и *прецессирует*. Земная ось совершает «прецессионный тур» за 26 тыс. лет, описывая среди созвездий окружность радиусом  $23,5^\circ$  с центром в полюсе эклиптики, который находится в созвездии Дракон. За это время полюс мира перемещается по шести созвездиям: Малой Медведице, Цефею, Лебедю, Лире, Геркулесу и Дракону. Раз полюс мира «гуляет» по созвездиям, значит, вместе с ним изменяют свое положение среди звезд и небесный экватор, и точка весеннего равноденствия, от которой астрономы отсчитывают небесные координаты.

Вращение (R, зеленый), прецессия (P, синий) и нутация (N, красный) планеты. Смещение полюса мира вследствие прецессии. В настоящее время северный полюс мира находится вблизи звезды  $\alpha$  Малой Медведицы



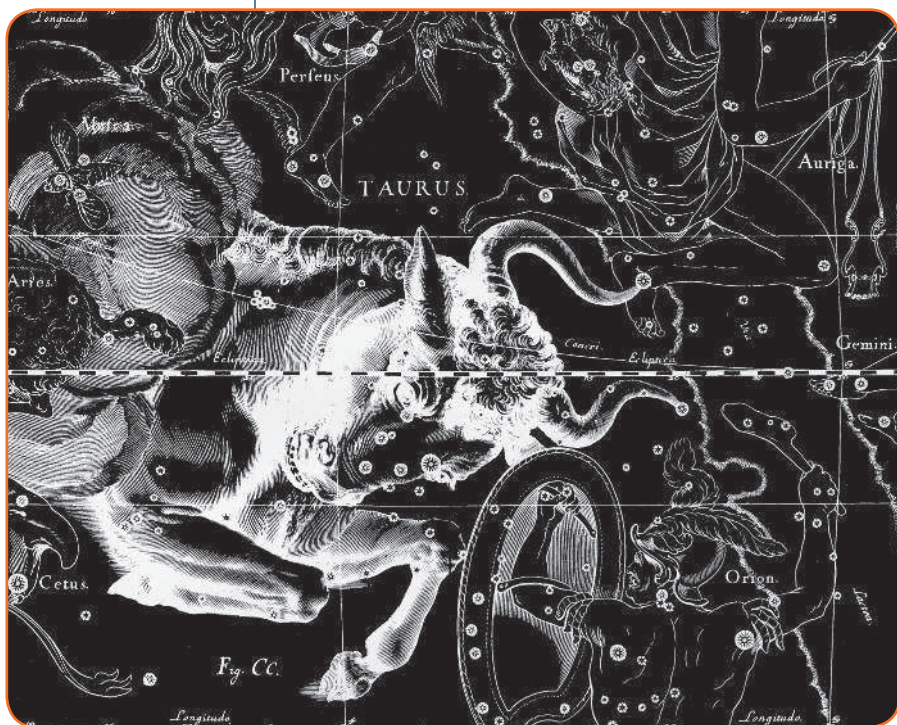




# Местоположение и движение небесных тел

Еще в древности люди не просто наблюдали за небесными телами, но стремились их сосчитать и систематизировать. Так появились *каталоги звездного неба* (или *астрономические каталоги*) — упорядоченные списки звезд, туманностей, галактик и других астрономических объектов, сгруппированных по типу, внешнему виду, яркости, происхождению, методу обнаружения и другим характеристикам.

Самый древний из дошедших до нас звездных каталогов был создан в IV в. до н. э. китайским астрономом и астрологом Ши Шэнем и включал в себя около 800 звезд. Значительный вклад в развитие астрономии внесли каталоги, составленные путем наблюдений без оптических телескопов и содержащие более



1000 звезд, — древнегреческого ученого Гиппарха (около 129 г. до н. э.), узбекского астронома Улугбека (1437), датского астронома Тихо Браге (1598). В последнем из составленных без применения телескопов каталоге польского астронома Яна Гевелия (1687) насчитывалось более 1500 небесных светил.

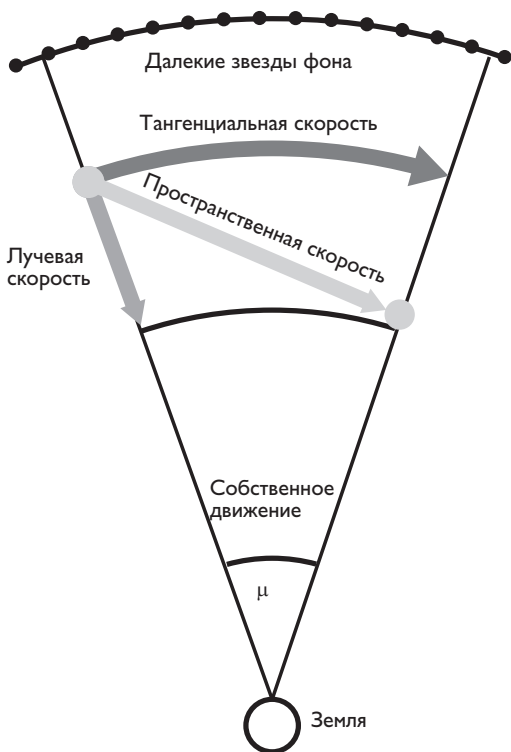
Число и точность звездных каталогов начинают быстро расти после изобретения телескопа в начале XVII в. Следующим прорывом в наблюдательной астрономии стало наступление космической эры. Современные звездные каталоги, объекты для которых снимали с помощью космических телескопов, включают в себя уже более миллиона звезд.

Изучением геометрических и кинематических свойств небесных тел занимается *астрометрия*. Чтобы изучить движение небесного тела, надо указать его положение в какой-нибудь определенный момент и установить, с какой скоростью и в каком направлении оно движется. Положение небесного тела в пространстве астрономы характеризуют тремя числами. Это две координаты на небесной сфере и расстояние

до светила. Скорость изменения небесных координат называется *собственным движением*, а скорость изменения расстояния — *лучевой скоростью*.

Для измерения лучевой скорости можно воспользоваться спектрами небесных тел, применяя *эффект Доплера*. Если звезда движется к Земле, длины волн ее излучения будут чуть короче, чем у неподвижного источника, а если от Земли, то чуть длиннее.

Так как любое движение относительно, то необходимо задать *главные небесные тела*, относительно которых измеряются положения и скорости объектов, т. е. *задать систему координат*. До последнего времени такими главными телами были специально выбранные 1535 звезд, координаты





которых определяли с особенно высокой точностью. Астрономы называют эти звезды *фундаментальными*, а их список — фундаментальным каталогом. Это яркие, а значит, сравнительно близкие звезды, которые, как все другие близкие звезды, заметно изменяют свое взаимное расположение. Фундаментальный каталог содержит не только координаты, но и собственные движения звезд. Однако собственные движения тоже определены с некоторой погрешностью, и со временем вычисления по каталогу становятся все менее точными. Срок «полезной жизни» каталога — несколько десятилетий. После этого нужно составлять новый фундаментальный каталог, хотя и содержащий те же самые звезды.

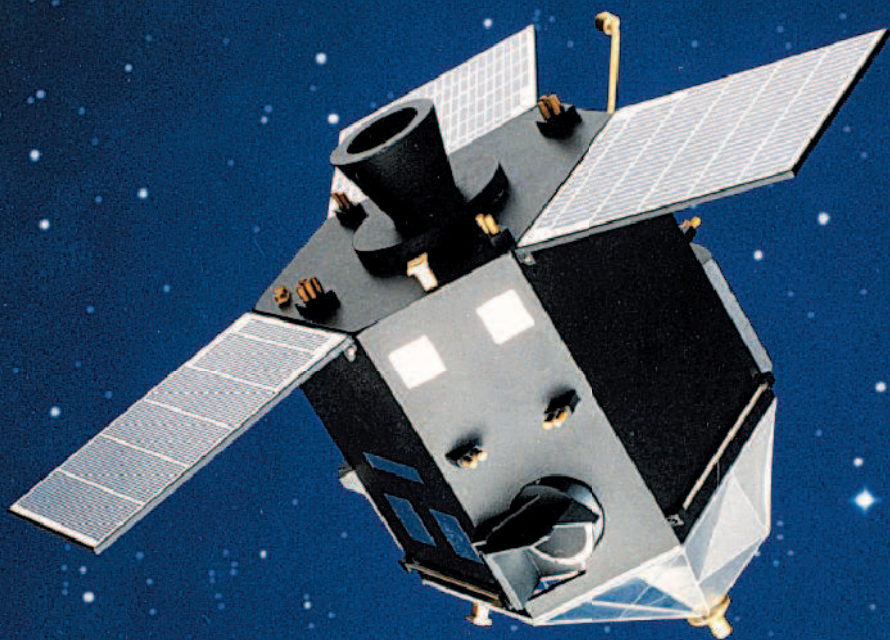
Наблюдения с Земли происходят сквозь атмосферу, которая никогда не бывает спокойной, что вносит погрешность в результаты наблюдений. Для устранения таких погрешностей проводят наблюдения со спутника. Еще одно преимущество спутника в том, что он находится в состоянии невесомости, поэтому объектив и другие детали телескопа не изменяют своей формы под действием силы тяжести. Спутник движется вокруг Земли и может наблюдать звезды и северного, и южного полушарий неба. Наконец, наблюдения на спутнике не прерываются днем или в облачную погоду, как на Земле.





Огромный вклад в решение астрометрических задач внес спутник «Гиппаркос», который работал с августа 1989 по март 1993 г. С его помощью были определены координаты, собственные движения и параллаксы 118 218 звезд. Точность измерений «Гиппаркоса» очень высока — около 0,001". Также при помощи этого спутника были измерены звездные величины и цвета свыше миллиона звезд и открыто несколько тысяч двойных звездных систем.

Спутник «Гиппаркос»



# Эфемериды небесных тел

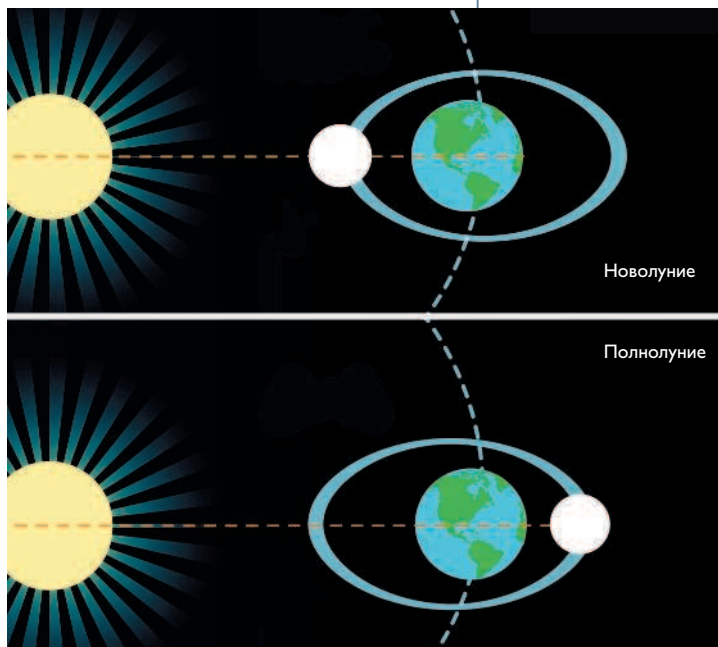


Аналема Солнца — кривая, соединяющая положения Солнца в одно и то же время дня в течение года.

Чтобы найти на небе какую-нибудь звезду или другое светило, не меняющее своего положения относительно звезд (например, туманность), нужно воспользоваться картой звездного неба либо соответствующим каталогом. Но есть такие светила, небесные координаты которых (склонение и прямое восхождение) непрерывно и достаточно быстро меняются, так что их нельзя ни изобразить на карте, ни занести в каталог. Это Солнце, Луна, планеты, кометы, астероиды. Чтобы знать, где их искать на небе, нужно заранее рассчитать их положение. Положения светил, вычисленные для определенных моментов времени в будущем, называются *эфемеридами*. В астрономии есть специальный раздел, занимающийся движением небесных тел, — небесная механика. Ее методы позволяют рассчитывать эфемериды.

Разумеется, Солнце легко найти на небе и без эфемерид, но их вычисляют и публикуют для других астрономических расчетов. Ведь движения всех тел Солнечной





системы удобно описывать в системе координат, связанной с ее центральным телом — Солнцем. А перейти к такому описанию от наблюдательных данных, полученных на Земле, можно только зная координаты Солнца в определенный момент времени, т. е. его эфемериду. Она, например, совершенно необходима для того, чтобы заранее вычислить все обстоятельства солнечных и лунных затмений.

Вычисление эфемериды Солнца осложнено тем, что наше дневное светило движется по эклипке среди звезд неравномерно. Это связано с эллиптичностью земной орбиты и неравномерностью движения Земли по орбите. Движение Луны представляется на первый взгляд весьма простым: в соответствии с законами Кеплера она движется по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Земля. Однако законы Кеплера справедливы для двух тел, находящихся в поле тяготения друг друга. Сила, определяющая их взаимное перемещение, пропорциональна произведению масс этих тел и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. В Солнечной системе заведомо более двух взаимодействующих тел, и кеплеровские эллипсы лишь приближенно описывают их перемещения. Так, на Луну существенно влияет тяготение Солнца, которое хотя и находится намного дальше от нее, чем Земля, но обладает огромной массой. Существуют и другие трудности при вычислении эфемериды Луны.





## Попытное движение Марса

Сложные петли, которые описывают на небе планеты, также поддаются расчету. В основном движение планет определяется тяготением Солнца. Но и другие планеты влияют на это движение. Это влияние обычно мало и называется *возмущением*. Именно возмущения в движении планеты Уран, которые нельзя было объяснить воздействием известных к середине XIX в. небесных тел, заставили исследователей предположить, что за Ураном существует еще одна планета. Она была открыта в 1846 г. и получила название Нептун.

Эфемериды астероидов вычисляются так же, как и эфемериды больших планет. С кометами дело обстоит несколько сложнее. Для ряда периодических комет, возвращение которых наблюдалось много раз, задача та же самая, что и для планет, — если, конечно, комета не подходит очень близко к какой-нибудь планете. Тогда ее орбита изменяется кардинально и трудность вычисления эфемериды резко возрастает. Большинство же комет наблюдается впервые, и дать их эфемериды заранее невозможно. Только проведя точные измерения положений новой кометы в три разные даты, можно вычислить ее орбиту, а затем и эфемериду. Сборники эфемерид называются астрономическими ежегодниками и календарями.

