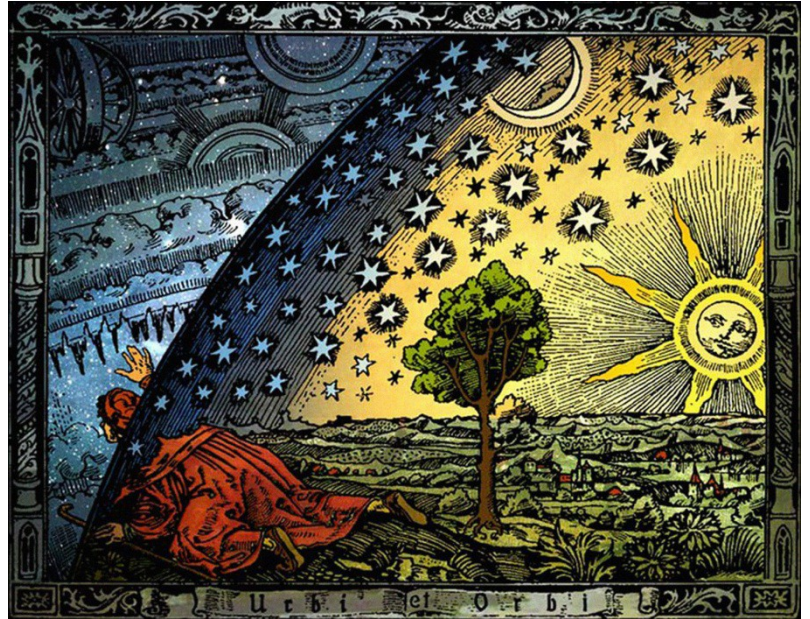


5. Звездное небо. Летоисчисление и его точность

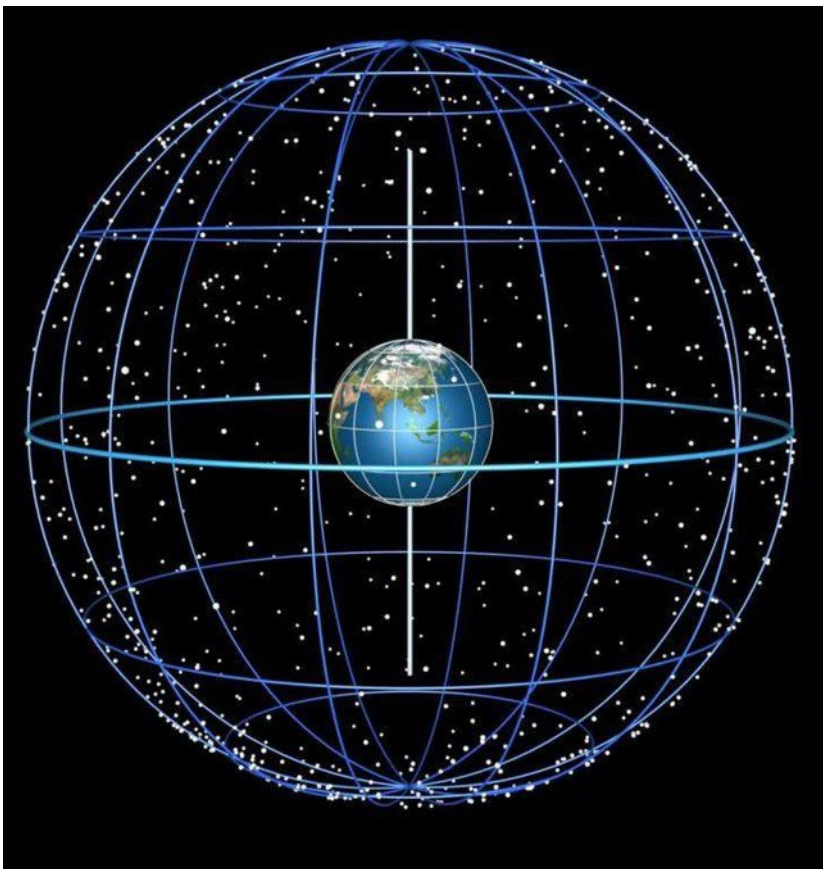
5.1. Небесная сфера

При взгляде на небо кажется, что звезды, Солнце, Луна и другие небесные объекты расположены на внутренней поверхности гигантской, вращающейся в западном направлении небесной сферы.

В античные времена небесная сфера считалась реальностью (см. рис.).



И, хотя теперь хорошо известно, что такое представление ошибочно, оно оказалось удобным для описания звездного неба.

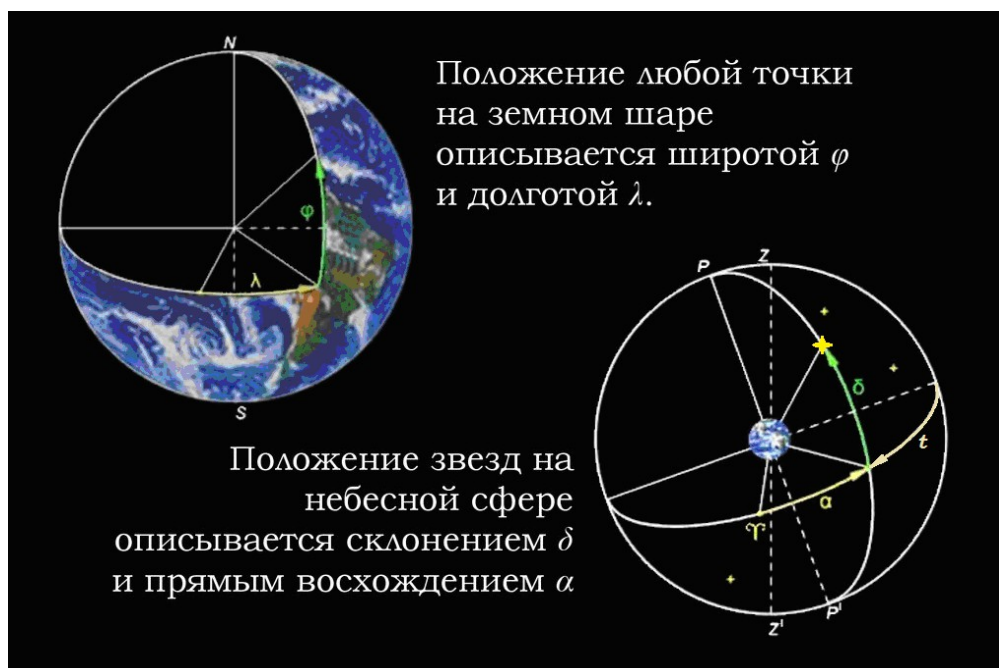


Вращение небесной сферы легко может быть доказано при помощи фотографирования звездного неба неподвижным фотоаппаратом. На рисунке показана сфотографированная область звездного неба вблизи Полярной звезды.



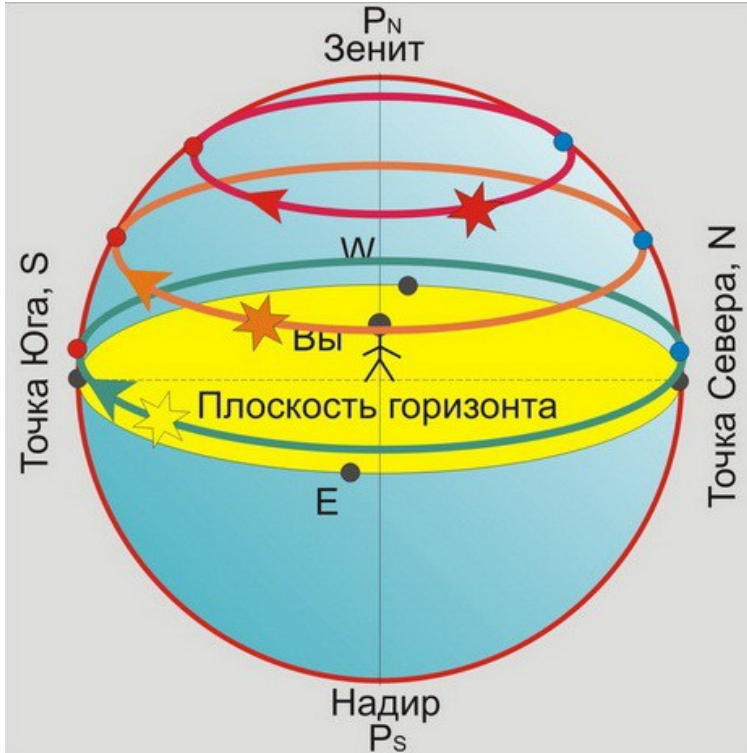
Каждая звезда оставила след – светлую дугу. Вблизи общего центра всех дуг выделяется след, оставленный Полярной звездой. Чем продолжительнее экспозиция, тем большую дугу прочерчивает звезда. Любая из дуг составляет одну и ту же часть своей окружности. Например, при фотографировании с двухчасовой экспозицией длина дуги равна $1/12$ окружности.

Подобно тому, как географические координаты – широта и долгота – используются для определения местоположения на поверхности Земли, небесные координаты характеризуют положение звезд на небесной сфере (см. рис.): Северный и Южный полюсы мира находятся как бы в точках пересечения продолжения оси вращения Земли с небесной сферой, а небесный экватор – линия пересечения плоскости земного экватора с небесной сферой.



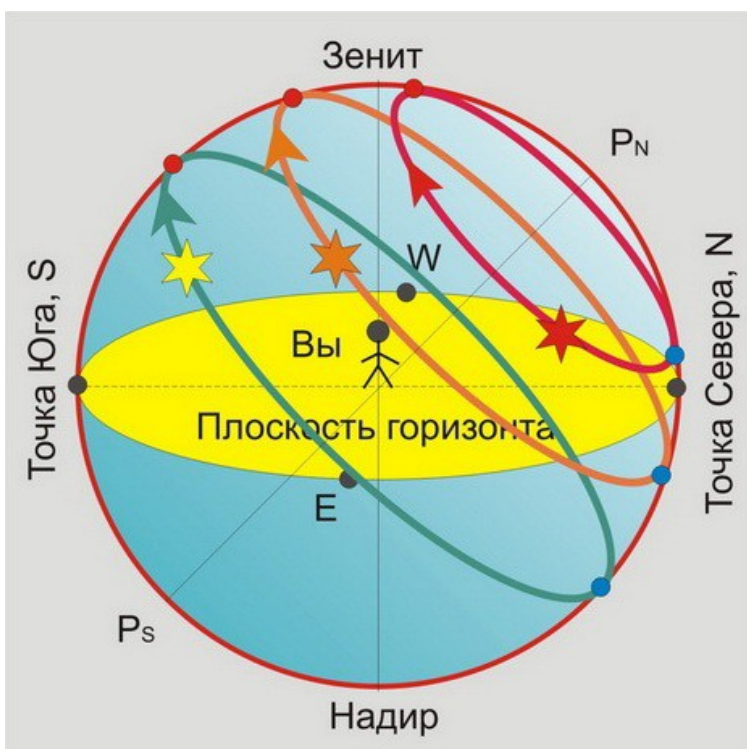
5.2. Изменение вида звездного неба в течение суток

Вид звездного неба зависит от положения наблюдателя на поверхности Земли. На Северном полюсе наблюдению доступно только северное полушарие небесной сферы, т. е. половина всех звезд; аналогичная картина открывается взору наблюдателя на Южном полюсе. Но в том и другом случаях доступные наблюдению звезды видны лишь тогда, когда Солнце находится под горизонтом. Звезды вместе с небесной сферой вращаются вокруг соответствующего *полюса мира*, который расположен прямо над головой – в *зените* (см. рис.). Точка, противоположная зениту, называется *надир*.

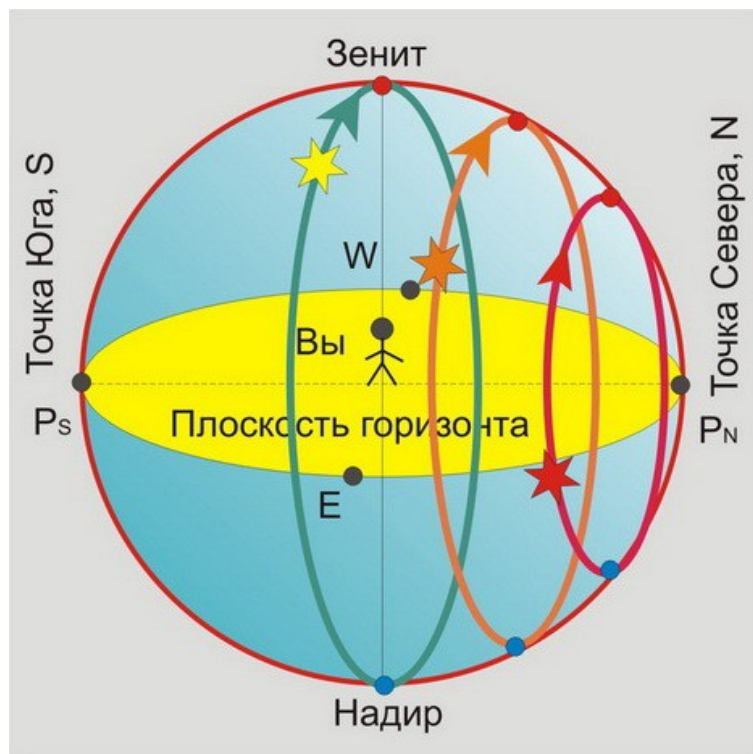


Яркая Полярная звезда (α Малой Медведицы) находится вблизи Северного полюса мира, положение же Южного полюса мира, к сожалению, не отмечено никакой яркой звездой.

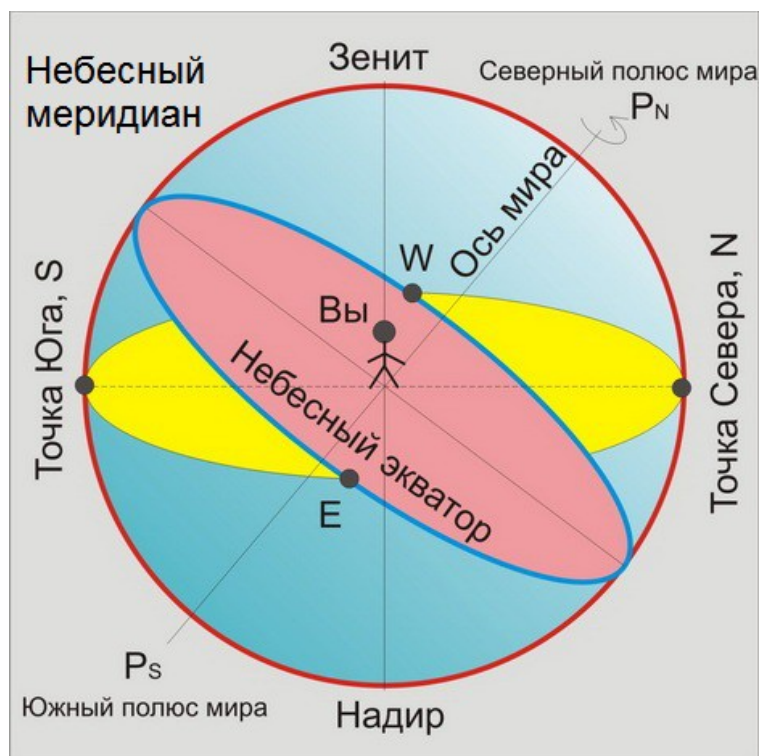
На других географических широтах наблюдаемы звезды как Северного, так и Южного полушарий небесной сферы (см. рис.).



Например, если смотреть из точки, лежащей на широте 45° с.ш., то Полярная звезда видна под углом 45° к горизонту; в поле зрения попадают и многие южные звезды. Однако в данном случае над горизонтом остаются все время только звезды, лежащие в пределах 45° в окрестности полюса мира. Эти околополярные незаходящие звезды можно видеть в любую ясную ночь. Условия наблюдения остальных звезд – восходящих и заходящих – в течение ночи медленно изменяются в зависимости от сезона. Теоретически любой наблюдатель на экваторе мог бы видеть оба полюса и все звезды на небе (см. рис.).



Для любого наблюдателя наиболее важной линией на небесной сфере является *небесный меридиан* – окружность большого круга небесной сферы, проходящая по всему небу через Северный и Южный полюсы мира и точку зенита; он проходит также через надир (см. рис.).



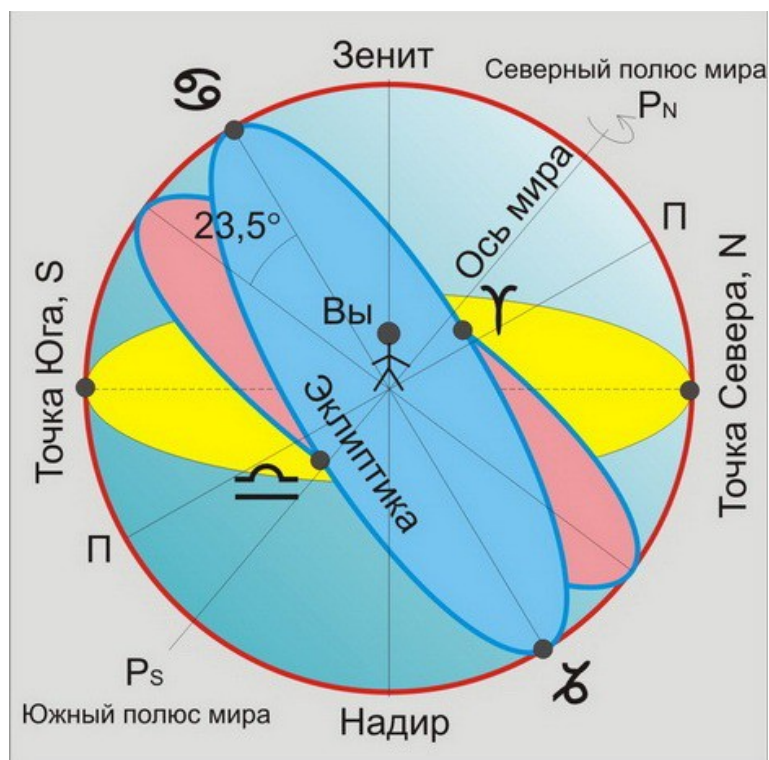
Небесный меридиан можно рассматривать как аналог земного меридиана, соответствующего долготе местоположения наблюдателя. Когда небесные объекты пересекают эту линию, тянущуюся с севера на юг, говорят, что они проходят через меридиан. (Для наблюдения прохождений светил через небесный меридиан используют установленные в его плоскости телескопы, которые называют *пассажными инструментами*.) Достигая

своей максимальной высоты при пересечении небесного меридиана, объект, как принято говорить, *кульминирует*. Околополярные незаходящие звезды пересекают небесный меридиан дважды: над полюсом мира и под ним. Эти явления соответственно называют *верхней* и *нижней* кульминацией.

5.3. Изменение вида звездного неба в течение года

Период вращения Земли вокруг оси, измеренный относительно звезд и поэтому получивший название *звездные* (или *сидерические*) *сутки*, примерно на 4 мин короче *средних солнечных суток* – периода вращения Земли вокруг своей оси, измеренного относительно Солнца. Это отличие обусловлено движением Земли вокруг Солнца. Так как время, по которому мы живем, т.е. обычное гражданское время, связано со средними солнечными сутками, моменты восхода и захода звезд, измеренные по этому времени, сдвигаются каждый день на 4 мин вперед по сравнению с предыдущими сутками: звезды как бы медленно перемещаются по ночному небу в западном направлении. Временами они подходят так близко к Солнцу, что становятся невидимыми – наступает вынужденный сезонный перерыв в наблюдении этих объектов.

Известно, что звезды действительно совершают собственные движения в пространстве, меняя свое положение относительно друг друга. Однако звезды расположены столь далеко от нас, что любые изменения в их положении становятся заметными невооруженному глазу через столетия. Благодаря этому обстоятельству мы можем говорить о движении Солнца, Луны, планет и других небесных тел *относительно «неподвижных» звезд*. Большой круг небесной сферы, по которому Солнце совершает свой путь среди звезд в течение года, называется *эклиптикой* (см. рис.).



Плоскость эклиптики наклонена под углом $23,5^\circ$ к земному и небесному экваторам; это объясняется тем, что наклон *оси вращения Земли к эклиптике составляет $66,5^\circ$* . Именно по этой причине высота Солнца над горизонтом меняется в течение года и происходит смена времен года. Пути Луны и больших планет Солнечной системы проходят в пределах области небесной сферы шириной 8° , лежащей по обе стороны от эклиптики. Древние наблюдатели выделили в полосе шириной около 16° , тянущейся вдоль эклиптики, *12 зодиакальных созвездий*, которым астрологи придавали особое значение (см. рис.).



По прошествии многих веков вследствие прецессии положение основных точек эклиптики среди окружающих звезд изменилось. Солнце и планеты могут появиться и в созвездии Змееносца; это созвездие, получившее свое название в античные времена, не включено в число зодиакальных. Современные астрономы считают астрологию и «звездные знаки» не более чем религиозными предрассудками и суевериями. Но древние знаки Зодиака используются до сих пор для обозначения зодиакальных созвездий, например знаком созвездия Овен обозначается одна из двух важнейших точек небесной сферы, в которых эклиптика пересекает небесный экватор.

5.4. Измерение времени. Сутки

Для измерения времени нужен периодический процесс, который отличался бы стабильностью и повторялся бы сколь угодно долго. Желательно, чтобы мы могли отмечать малые доли этого процесса. Такой процесс есть: это вращение Земли относительно звезд.

Небесную сферу мы используем как часы. Но в этих часах циферблатом служит звездное небо, а стрелкой – небесный меридиан. Часы не совсем обычные: в них неподвижна стрелка, а циферблат вертится.

За единицу времени принимаем звездные сутки.

Звездные сутки – промежуток времени между двумя последовательными верхними кульминациями точки весеннего равноденствия на одном и том же географическом меридиане. За начало звездных суток на данном меридиане принимается момент верхней кульминации точки весеннего равноденствия.

Таким образом, звездное время равно 0 в момент верхней кульминации точки весеннего равноденствия, а в любой другой момент равно часовому углу точки весеннего равноденствия в этот момент (напомним, что часовой угол отсчитывается от небесного меридиана). Следовательно, звездное время s на данном меридиане в любой момент численно равно часовому углу точки весеннего равноденствия, выраженному в часовой мере, т. е.

$$s = tT.$$

Точка весеннего равноденствия на небе ничем не отмечена. Непосредственно измерить ее часовой угол или заметить момент прохождения ее через меридиан нельзя. Поэтому практически для установления начала звездных суток или звездного времени в какой-либо момент надо измерить часовой угол t какого-либо светила, прямое восхождение которого α известно. Тогда звездное время

$$s = \alpha + t,$$

т.е. звездное время в любой момент равно прямому восхождению какого-либо светила плюс его часовой угол.

В момент верхней кульминации светила его часовой угол $t = 0$, и тогда

$$s = \alpha.$$

В момент нижней кульминации светила его часовой угол $t = 12h$, и звездное время

$$s = \alpha + 12h.$$

Звездные сутки по традиции делятся на 24 ч, час – на 60 мин, минута – на 60 с.

В астрономии используется звездное, солнечное и поясное время. Во всех случаях прилагательное определяет, каким методом измеряется время и какой единицей мы пользуемся.

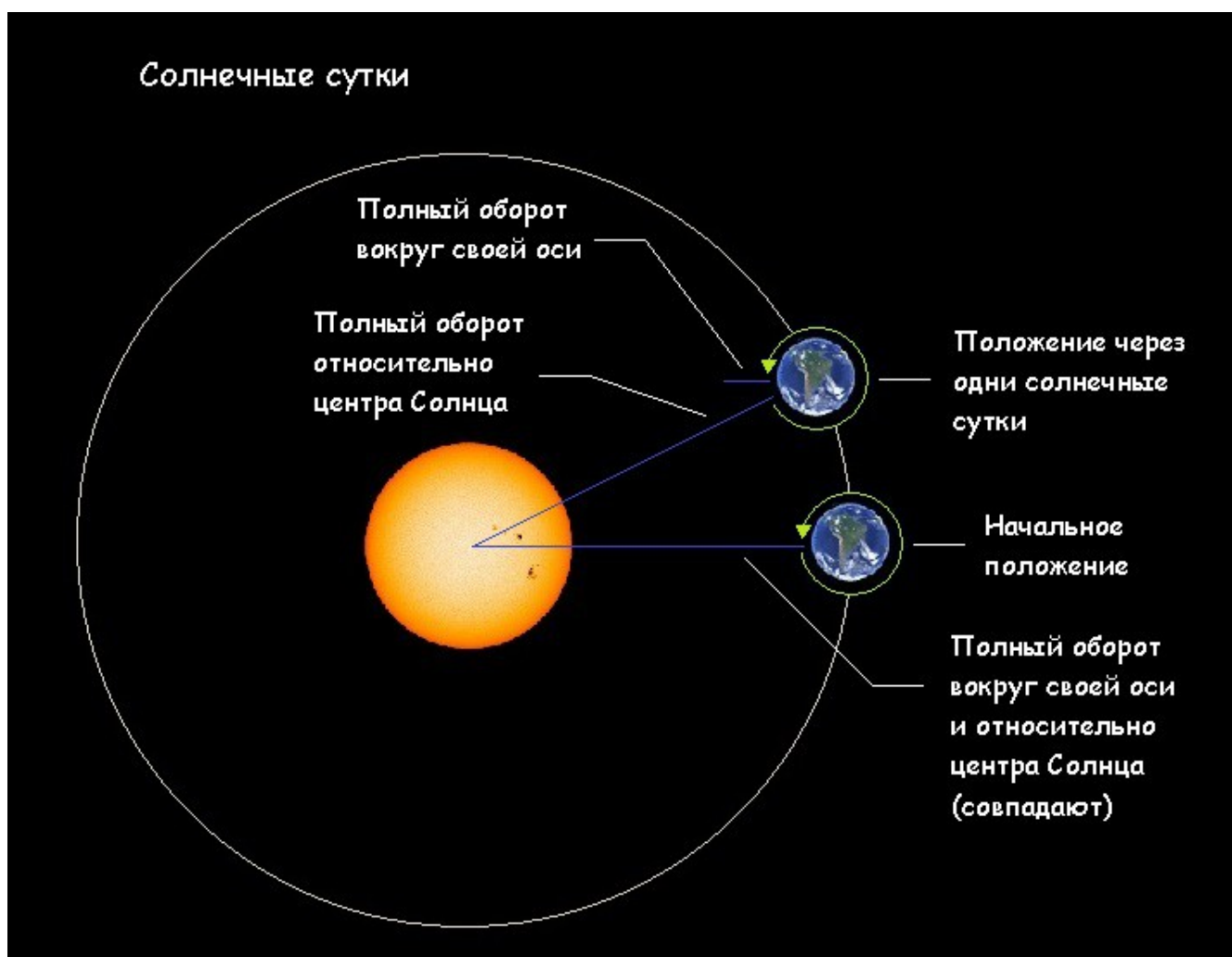
Звездное время исключительно удобно для астрономов. Зная его, мы сразу можем сообразить, какие звезды наблюдаются в этот момент времени. Просто его и определять.

Однако в повседневной жизни пользоваться звездными часами очень неудобно. Ведь наша повседневная жизнь зависит от Солнца. Нам важно, чтобы в одно и то же время по часам было светло, чтобы сутки начинались ночью, когда мы спим. Поэтому мы измеряем время по солнечным часам и называем его солнечным временем.

Истинными солнечными сутками называется промежуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями Солнца на одном и том же географическом меридиане.

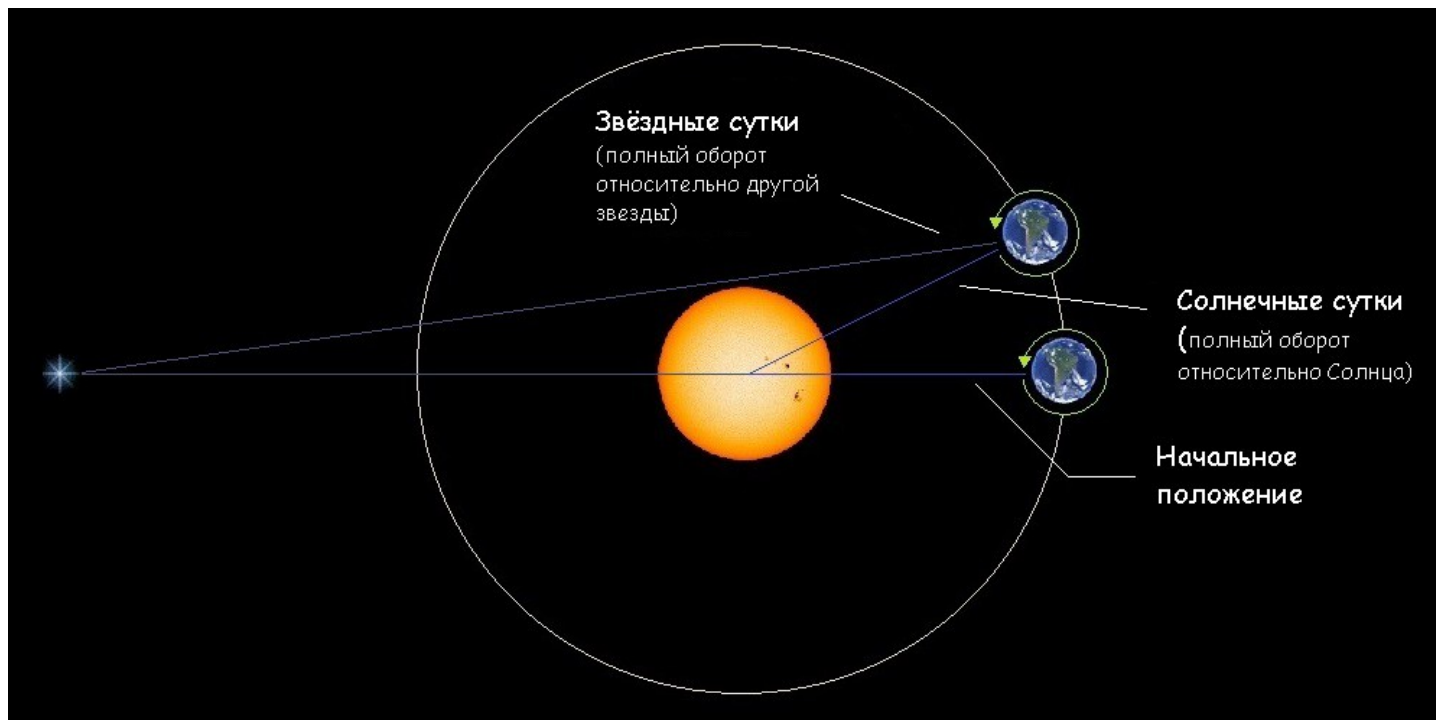
Солнечные сутки также делят на 24 ч, час – на 60 мин, минуту – на 60 с. По разным причинам, за единицу времени принимают не сутки, а секунду. Определяют ее не по вращению Земли, а по колебаниям световой волны определенной длины. Длина секунды выбрана таким образом, чтобы ее продолжительность была максимально близка к длительности $1/86400$ средних солнечных суток. Истинное солнечное время аналогично звездному определяется по часовому углу центра истинного Солнца.

Истинные солнечные сутки – период вращения Земли относительно Солнца (см. рис.).



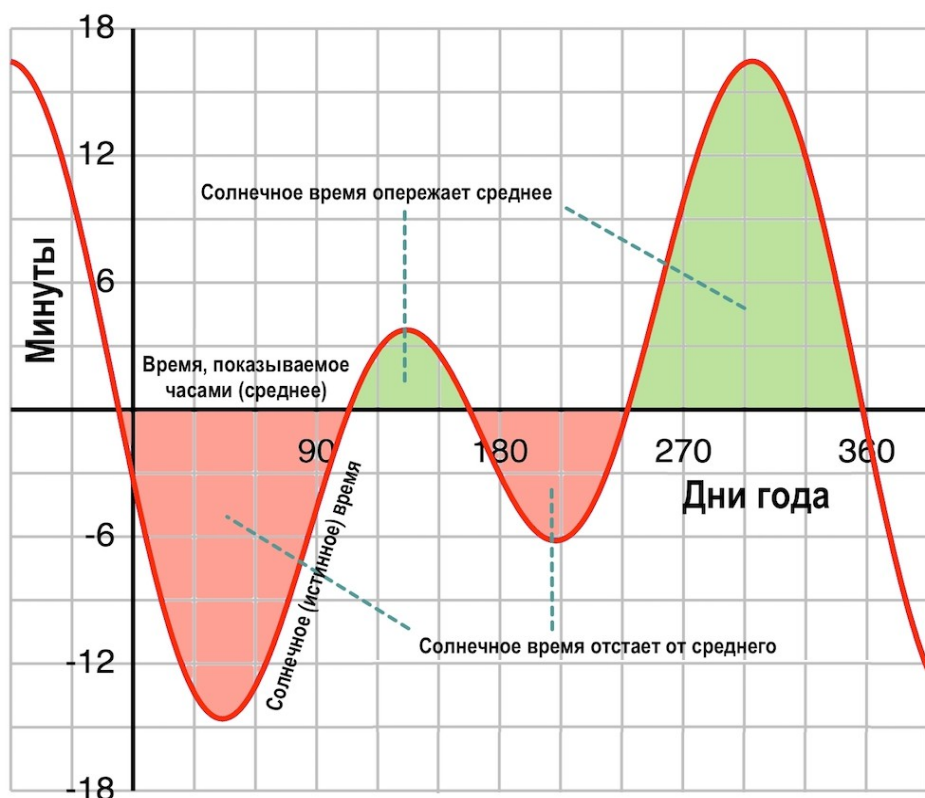
Как видно из рисунка, периоды обращения Земли относительно своей оси и относительно центра Солнца не совпадают.

Если в некоторый момент времени точка весеннего равноденствия и Солнце кульминируют одновременно (см. рис.), то через звездные сутки в кульминации будет точка весеннего равноденствия, а Солнце сместится к востоку и только через 3 мин 56 с пройдет через меридиан, и сутки закончатся, т. е. солнечные сутки длиннее звездных.



Скорость перемещения Солнца среди звезд меняется. Летом оно движется медленнее, зимой – быстрее, сутки летом немного короче, чем зимой, поэтому пользоваться такой единицей времени неудобно.

Поэтому в основу измерения времени положены средние солнечные сутки, т. е. промежуток времени, длительность которого совпадает со средней за год продолжительностью истинных солнечных суток. Наши часы отрегулированы по среднему времени, и проверяются они сравнением вычисленных заранее и наблюдаемых кульминаций звезд и Солнца.



Истинные солнечные сутки неодинаковы по продолжительности, поскольку движение Солнца по небесной сфере неравномерно: в июле они длиннее, в январе короче. Поэтому показания часов, идущих по среднему времени, отличаются от показаний часов, идущих по истинному солнечному времени. Различие показаний называется уравнением времени (см. рис.). Уравнение времени обращается в нуль 15 апреля, 14 июня, 1 сентября и 24 декабря. Крайние значения уравнение времени принимает около 11 февраля (+14 мин) и 2 ноября (–16 мин).

В 30-е гг. XX в. было установлено, что Земля вращается неравномерно, вследствие чего сутки удлиняются на 0,0017 с (по другим данным, на 0,0022 с) в столетие. Поэтому астрономы перешли к так называемому эфемеридному времени. Это равномерно текущее время, которое мы подразумеваем в формулах и законах динамики. Именно в нем предвычисляются положения планет и Луны. Единицей эфемеридного времени служит эфемеридная секунда. Длительность эфемеридной секунды максимально близка к длительности среднесолнечной секунды.

Мы определяем координаты малых планет и Луны в моменты времени, фиксируемые по часам, которые мы контролируем, наблюдая кульминации звезд, считая, что Земля вращается равномерно. Далее мы находим в эфемеридах (эфемериды – таблицы, содержащие предвычисленные координаты планеты) момент времени, когда координаты планеты должны были иметь наблюдаемые значения. По расхождению предвычисленного и наблюдаемого моментов времени мы можем судить о неравномерности вращения Земли.

Отличия среднего солнечного времени от эфемеридного настолько малы, что в повседневной жизни они никак не сказываются, но в научных исследованиях, особенно в космонавтике, они весьма важны.

С 1967 г. в физике в качестве эталона времени используются атомные часы. Единицей измерения времени в них служит атомная секунда, выбранная так, чтобы ее продолжительность совпадала с эфемеридной секундой.

Нужно четко представлять себе, что все системы измерения времени относятся к реально и объективно существующему времени и отличаются исключительно выбором периодического процесса, используемого для измерения, и принятыми единицами.

Принято считать, что сутки начинаются в полночь, которая совпадает с нижней кульминацией Солнца. Часы показывают, какая часть суток прошла с момента полуночи. Ясно, что на разных меридианах момент полуночи наступает не в один и тот же момент времени, следовательно, на каждом меридиане часы показывают свое время. Так и было до конца XIX в. Но развитие железных дорог, телеграфа, затем радио привело к тому, что такой порядок исчисления времени стал неудобным. С 1884 г. вся Земля была разбита на 24 часовых пояса. Внутри пояса все часы стали показывать одно и то же время, а в соседних поясах показания их отличались на 1 ч. Границы поясов пытались провести точно по меридиану, но это неудобно, и каждое государство провело их по своему усмотрению. Это время называется поясным. В Советском Союзе с 1930 г. часы переведены на 1 ч вперед. Это время называется декретным. Наконец, с 1986 г. летом стрелки часов переводятся еще на 1 ч вперед – это время называлось летним. Осенью они возвращаются назад – это время называлось зимним. 26 октября 2014 г указом президента был отменён переход на летнее время.

Нужно иметь в виду, что названия: среднее солнечное, поясное, декретное, эфемеридное время – относятся только к показаниям наших часов.

5.5. Календарный счет времени

Обращение Земли вокруг Солнца задает нам период времени, больший суток.

Промежуток времени между двумя последовательными прохождениями Солнца через точку весеннего равноденствия называется тропическим годом. Его продолжительность составляет 365,2422 солнечных суток.

Вся хозяйственная жизнь человечества всегда подчинялась двум циклам: суточной смене дня и ночи и годичной смене сельскохозяйственных сезонов. При этом необходимо было иметь единицу времени, которая была бы максимально близка к длительности тропического года, но содержала целое число суток. Такая единица называется календарным годом, а основанная на ней система счета дней – календарем. Создание этой системы затрудняется тем, что тропический год не содержит целого числа дней.

Попытки создать календарь, которым можно было бы пользоваться достаточно длительное время, предпринимались еще в Древнем Египте. Однако первый такой календарь был разработан только в 45 г. до н. э.

римским астрономом Созигеном и введен в действие Юлием Цезарем. В этом календаре (его называют юлианским календарем или старым стилем) продолжительность года составляла 365 сут., т. е. он короче тропического. Чтобы приблизить среднюю продолжительность календарного года к длительности тропического, каждые четыре года к февралю добавлялся день. В Древнем Риме он назывался «биссектум» – «второй шестой», откуда и пошло наше выражение «високосный год». В результате средняя продолжительность календарного года стала 365,25 сут., т. е. на 0,0078 сут. больше тропического.

За 400 лет появилось расхождение в 3 сут., что приводило к постепенному смещению дня весеннего равноденствия на более ранние даты. Это вызывало затруднения в определении даты важнейшего христианского праздника Пасхи. Поэтому в 1682 г. римский папа Григорий XIII приказал пропустить в счете 10 дней и впредь не считать високосными те годы, номер которых заканчивается на два нуля, а число столетий не делится на 4. Этот календарь называется григорианским или новым стилем, и мы им пользуемся до настоящего времени. Расхождение со старым стилем до 2100 г. составляет 13 дней.

Месяц

Продолжительность лунного обращения устанавливает тот период времени, который мы называем месяцем. Луна меняет свой вид, свои фазы в 29,5 дней, и потому все народы, считавшие или считающие до сих пор время по Луне, имеют месяцы попеременно в 29 и 30 дней. В 12-ти таких месяцах оказывается 354 дня, т. е. на 11 дней меньше обыкновенного солнечного года. В те годы, когда эта разница достигает целого месяца, считают в лунном году 13 месяцев. Т. о., в году не заключается целого числа лунных месяцев, так что было бы неудобно принять месяц такой продолжительности. Поэтому пришлось отказаться следовать за движением Луны и просто разделить на 12 частей, названных месяцами, из которых одни имеют 31 дней, другие – 30, исключая февраль. Так и поступили древние римляне.

Понятно, что начало года можно считать откуда угодно. Римляне начинали год с 1 марта. Вследствие этого седьмой месяц был сентябрь, октябрь приходился – восьмым, ноябрь – девятым, декабрь – десятым, так что имена месяцев совпадали с значением этих латинских названий. Другие месяцы года первоначально обозначались тоже по порядку (первый, второй, третий и т. д.), но позднее их названия были изменены. Первый месяц римляне называли по имени особенно чтимого ими бога войны Марса. Апрель происходит от римского слова, означающего открывать, так как в этом месяце семена растений открывают землю, а также раскрываются и цветочные почки растений. Май был посвящен богине Майе. Июнь получил название тоже от богини Юноны. Январь назван по имени бога Януса. Февраль – по имени бога мертвых, Фебруо. Наконец, еще позднее, пятый месяц называли в честь Юлия Цезаря – Июлем и шестой – в честь другого императора – Августом. Впоследствии много раз изменяли начала года, наконец решили считать его, неизвестно почему, с середины зимы (1-го января). Поэтому сентябрь, название которого означает седьмой, стал девятым, октябрь вместо восьмого стал десятым, ноябрь занял одиннадцатое место, а декабрь – двенадцатое. Эти названия по привычке используются и ныне.

Дни недели

Тот семидневный период, который мы называем неделей, получил свое начало также в глубокой древности, когда люди заметили семь светил, довольно скоро переменяющих свое положение на небе, между тем как звезды кажутся неподвижными; эти светила – Солнце, Луна и пять тогда известных планет. Все они носили имена тогдашних богов; им и посвящены были дни недели. Западные народы сохранили эти названия так, как они были приняты римлянами, с некоторым видоизменением (см. таблицу).

«Разночтения» в английском языке объясняются тем, что названия для вторника, среды, четверга и пятницы англичане взяли из скандинавской мифологии, в которой Тиу – бог, аналогичный Марсу, Вотан – Меркурию, Тор – Юпитеру и Фрейя – Венере. Во французском же языке название воскресенья означает «день Господа». Названиями планет пользуются для обозначения дней недели и многие народы Азии.

В славянских языках некоторые дни недели «пронумерованы», но счет дней эти народы ведут «после воскресенья». Когда-то воскресенье у славянских народов называлось, неделей (днем, в который отдыхают от дел, ничего не делают). Это название сохранилось во всех славянских языках, кроме русского; названия остальных дней совпадают (см. таблицу).

В русском языке название дня перешло на всю семидневку (седмицу, как ее когда-то называли). Таким образом, понедельник – это «(первый) день после недели» (ср.: «пополудни» значит «время после полудня»), вторник – второй день, четверг – четвертый, пятница – пятый, а среда действительно была средним днем. Любопытно, что в старославянском языке встречается и более древнее её название – третийник.

Вопросы

1. В каком направлении происходит кажущееся вращение небесной сферы?
2. Для чего оказалось удобным представление о небесной сфере?
3. Как доказать вращение небесной сферы?
4. Что характеризуют небесные координаты?
5. Где находятся Северный и Южный полюсы мира?
6. От чего зависит вид звездного неба?
7. Как называется точка, расположенная прямо над головой? Противоположная ей?
8. Какая звезда находится вблизи Северного полюса мира?
9. Какая звезда находится вблизи Южного полюса мира?
10. Откуда (теоретически) можно было бы видеть оба полюса и все звезды на небе?
12. Что такое «небесный меридиан»?
13. Как называется момент пересечения объектом небесного меридиана?
14. Сколько раз за сутки любой объект пересекает небесный меридиан? Как называются эти точки?
15. Что такое «звездные» или «сидерические» сутки?
16. Что такое солнечные «сутки»?
17. Какие из них длиннее, на сколько и почему?
18. Почему мы можем говорить о движении Солнца, Луны, планет и других небесных тел относительно «неподвижных» звезд?
19. Как называется большой круг небесной сферы, по которому Солнце совершает свой путь среди звезд в течение года?
20. Чем объясняется наклон плоскости эклиптики под углом $23,5^\circ$ к земному и небесному экваторам?
21. Почему происходит смена времен года?
22. Где, относительно плоскости эклиптики, расположены 12 зодиакальных созвездий?
23. Какой периодический процесс нужен для измерения времени?
24. Что (в астрономии) мы используем как часы?
25. Что такое «звездные сутки»?
26. Почему «звездное время» исключительно удобно для астрономов?
27. Почему в повседневной жизни пользоваться звездными часами очень неудобно?
28. Что называется «истинными солнечными сутками»?

29. В чём сходство между звёздными и солнечными сутками?
30. Какие сутки длиннее, на сколько и почему?
31. Как продолжительность солнечных суток зависит от движения Солнца среди звёзд?
32. Что называется тропическим годом?
33. Что называется календарным годом?
34. Когда был разработан юлианский календарь, которым можно было пользоваться продолжительное время? В чём его особенность?
35. Почему и когда был принят григорианский календарь? В чём его особенность?
36. Почему неудобно пользоваться лунными месяцами и кто впервые от них отказался?
37. Обязательно ли начало года считать именно с 1 января?
38. Когда и почему появился тот семидневный период, который мы называем неделей?
39. Как образовались названия дней недели в русском языке?