

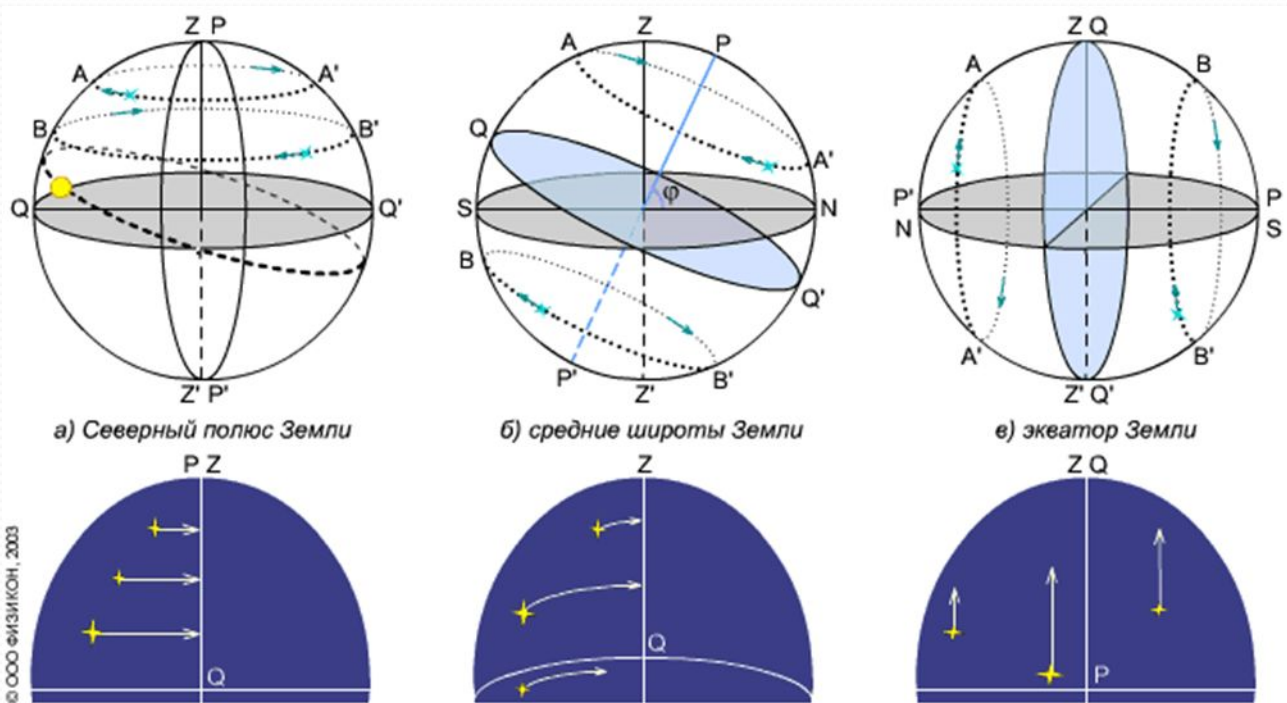
Солнце. Исчисление времени

Солнце и время (8^h).

1. Видимое движение Солнца. Зодиак.
2. Движение Солнца по эклиптике, времена года и климатические пояса.
3. Движение Солнца как отражение орбитального движения Земли.
4. Время и его измерение.
5. Звездные сутки. Звездное время.
6. Истинные солнечные сутки. Среднее солнечное время.
7. Понятие о современном атомном времени, понятие о координатном и собственном времени.
8. Всемирное время UTC, УТО, УТІ, эфемеридное время.
9. Календарь.
10. Юлианский период.

Видимое движение Солнца

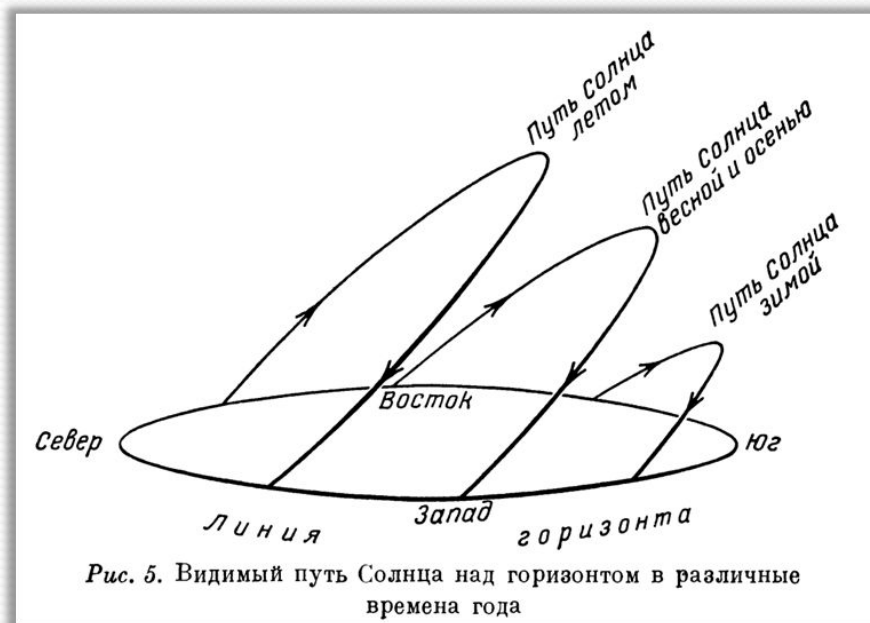
Видимое суточное движение Солнца



Солнце и Луна, так же как и звезды, восходят на восточной стороне горизонта и заходят на западной. Но, наблюдая восход и заход этих светил» можно заметить, что в разные дни года они восходят, в отличие от звезд, в разных точках восточной стороны горизонта и заходят также в разных точках западной стороны.

Так, Солнце в начале зимы восходит на юго-востоке, а заходит на юго-западе. Но с каждым днем точки его восхода и захода передвигаются к северной стороне горизонта. При этом с каждым днем Солнце в полдень поднимается над горизонтом все выше и выше, день становится длиннее, ночь — короче.

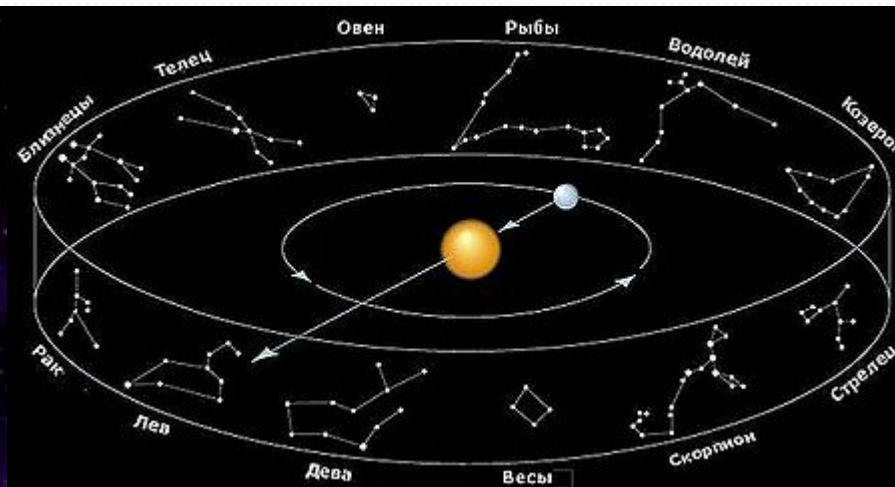
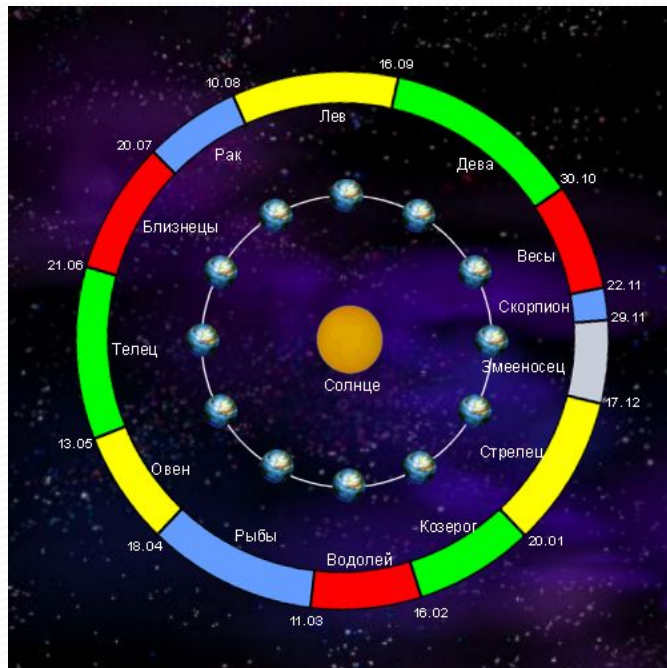
В начале лета, достигнув некоторого предела на северо-востоке и на северо-западе, точки восхода и захода Солнца начинают перемещаться в обратном направлении, от северной стороны горизонта к южной. При этом полуденная высота Солнца и продолжительность дня начинает уменьшаться, а продолжительность ночи — увеличиваться. Достигнув некоторого предела в начале зимы, точки восхода и захода Солнца снова начинают передвигаться к северной стороне неба, и все описанные явления повторяются.



Из элементарных и не очень продолжительных наблюдений легко заметить, что Луна не остается все время в одном и том же созвездии, а переходит из одного созвездия в другое, передвигаясь с запада на восток примерно на 13° в сутки. Перемещаясь по созвездиям, Луна обходит полный круг по небу за 27,32 суток.

Более тщательные и более продолжительные наблюдения показывают, что и Солнце, подобно Луне, перемещается по небу с запада на восток, проходя те же созвездия. Только скорость его перемещения значительно меньше, около 1° в сутки, и весь путь Солнце проходит за год.

Двенадцать созвездий из тринадцати, по которым проходит Солнце в течение года, называются **зодиакальными** (от греческого слова «зоон» — животное). Названия их таковы: Рыбы, Овен, Телец, Близнецы, Рак, Лев, Дева, Весы, Скорпион, Стрелец, Козерог и Водолей. Первые три созвездия Солнце проходит в весенние месяцы, следующие три — в летние, еще три следующие — в осенние и, наконец, последние три — в зимние месяцы. Те созвездия, в которых в данное время находится Солнце, недоступны наблюдению и становятся хорошо видны лишь приблизительно через полгода.



Движение Солнца по эклиптике, времена года и климатические пояса

Эклиптика: Видимое годичное движение Солнца по небесной сфере



Плоскость эклиптики хорошо заметна на этом изображении, полученном в 1994 году космическим кораблём лунной разведки Клементина. Камера Клементины показывает (справа налево) Луну освещённую Землёй, блики Солнца, восходящего над тёмной частью поверхности Луны, и планеты Сатурн, Марс и Меркурий (три точки в нижнем левом углу) ⁹

Экли́птика (от лат. (linea) ecliptica, от др.-греч. ἔκλειψις — затмение), большой круг небесной сферы, по которому происходит видимое годичное движение Солнца.

Современное, более точное определение эклиптики — сечение небесной сферы плоскостью орбиты барицентра системы Земля—Луна.

Проще говоря, эклиптика — плоскость вращения Земли вокруг Солнца.

Из-за того, что орбита Луны наклонена относительно эклиптики и из-за вращения Земли вокруг барицентра системы Луна-Земля, плюс к тому же благодаря пертурбациям орбиты Земли от других планет, истинное Солнце не всегда находится точно на эклиптике, но может отклоняться на несколько секунд дуги. Можно сказать, что по эклиптике проходит путь «усредненного Солнца».

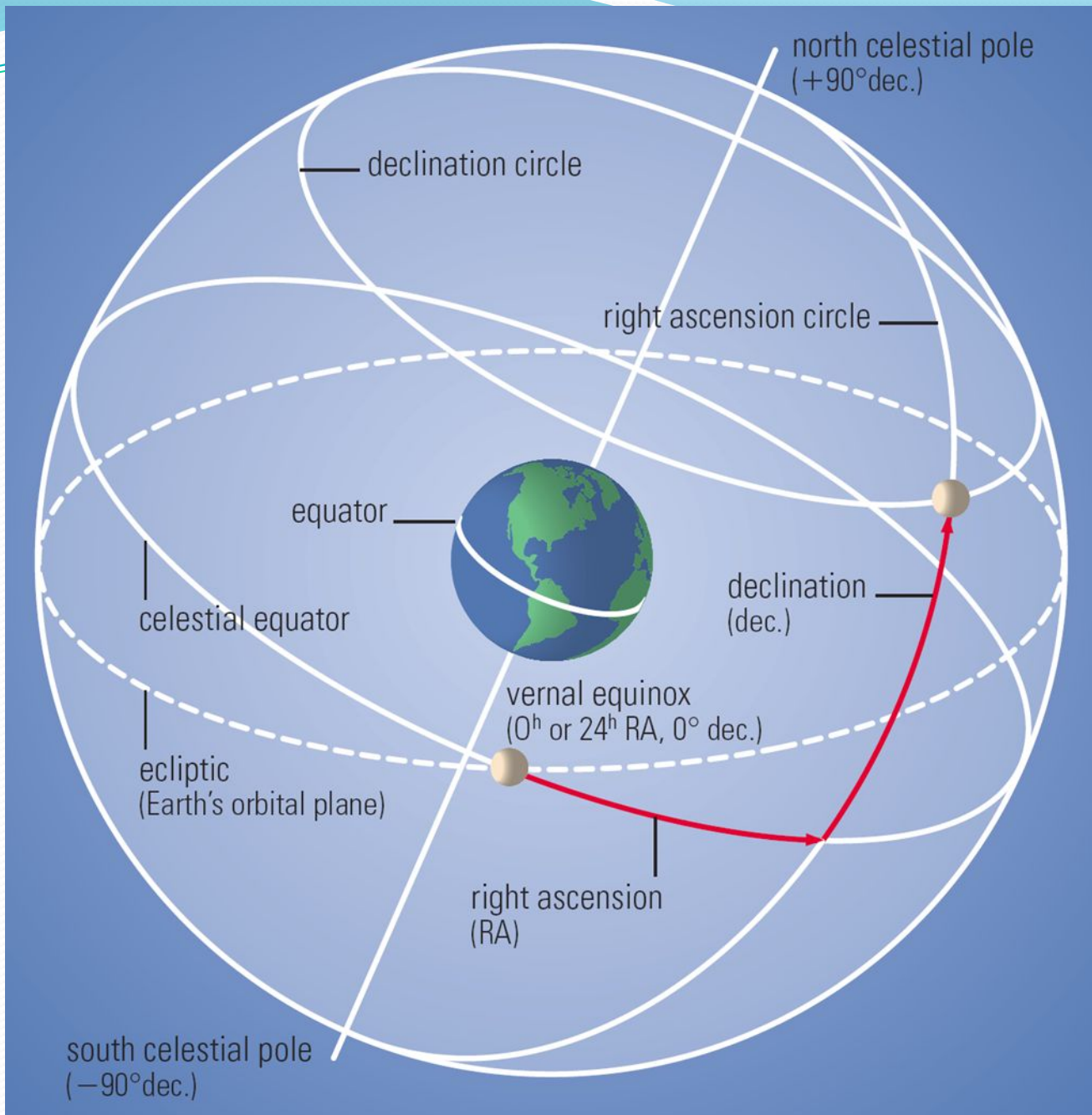
Плоскость эклиптики наклонена к плоскости небесного экватора под углом:

$$\varepsilon = 23^{\circ}26'21,448'' - 46,8150'' t - 0,00059'' t^2 + 0,001813'' t^3,$$

где t — число юлианских столетий, протёкших от начала 2000. Эта формула справедлива для ближайших столетий. В более продолжительных отрезках времени наклон эклиптики к экватору колеблется относительно среднего значения с периодом приблизительно 40 000 лет. Кроме того, наклон эклиптики к экватору подвержен короткопериодическим колебаниям с периодом 18,6 лет и амплитудой 18,42'', а также более мелким.

В отличие от относительно быстро меняющей свой наклон плоскости небесного экватора, плоскость эклиптики более стабильна относительно удалённых звёзд и квазаров, хотя и она подвержена небольшим изменениями из-за пертурбаций от планет солнечной системы.

Название «эклиптика» связано с известным с древних времён фактом, что солнечные и лунные затмения происходят только тогда, когда Луна находится вблизи точек пересечения своей орбиты с эклиптикой. Эти точки на небесной сфере носят название лунных узлов, цикл их обращения по эклиптике, равный примерно 18 годам, называется Саросом, или Драконическим периодом. Эклиптика проходит по зодиакальным созвездиям и созвездию Змееносца.



Когда Солнце находится в точке весеннего равноденствия ($\delta = 0$), то оно на всех географических широтах земной поверхности восходит в точке востока E и заходит в точке запада W. Половина его суточного пути находится над горизонтом, половина — под горизонтом. Следовательно, на всем земном шаре, кроме полюсов, в этот день продолжительность дня равна продолжительности ночи. Этот день называется днем весеннего равноденствия (около 20 марта) и считается началом весны в северном полушарии Земли (в южном полушарии этот момент соответствует началу осени).

Полуденная высота Солнца в день весеннего равноденствия на данной северной широте φ составляет

$$h_{\odot} = 90^{\circ} - \varphi.$$

Когда Солнце находится в точке летнего солнцестояния ($\delta = +23^{\circ}26'$), то оно восходит на данной широте φ на северо-востоке, а заходит на северо-западе. Большая часть его суточного пути для наблюдателей северного полушария находится над горизонтом. Продолжительность дня в северном полушарии Земли максимальная, ночи — минимальная, в южном — наоборот. Этот день называется днем летнего солнцестояния (около 21 июня) и считается началом лета в северном полушарии Земли (в южном этот момент соответствует началу зимы).

В день летнего солнцестояния полуденная высота Солнца на данной северной широте φ достигает максимального значения

$$h_{max} = 90^{\circ} - \varphi + 23^{\circ}26'.$$

Когда Солнце находится в точке осеннего равноденствия ($\delta = 0$), то оно снова на всей Земле восходит в точке востока и заходит в точке запада; и снова на всех широтах, кроме полюсов, продолжительность дня равна продолжительности ночи. Этот день называется днем осеннего равноденствия (около 23 сентября) и считается началом осени в северном полушарии Земли (началом весны — в южном полушарии).

Высота Солнца в поддень на данной широте φ в день осеннего равноденствия снова равна $90^{\circ} - \varphi$.

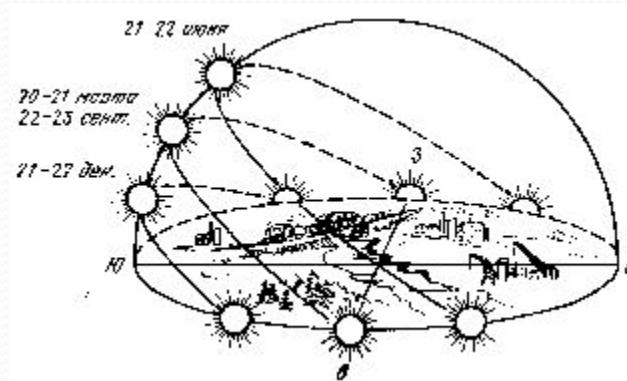
Наконец, когда Солнце находится в точке зимнего солнцестояния ($\delta = -23^{\circ}26'$), то оно восходит на юго-востоке, а заходит на юго-западе. Большая часть его суточного пути находится под горизонтом. На данной северной географической широте φ продолжительность дня минимальна, ночи — максимальна (в южных широтах, наоборот, продолжительность дня максимальна, ночи — минимальна). Этот день называется днем зимнего солнцестояния (около 22 декабря) и считается началом зимы в северном полушарии Земли (началом лета — в южном полушарии).

Высота Солнца в день зимнего солнцестояния на данной северной широте φ достигает минимального значения

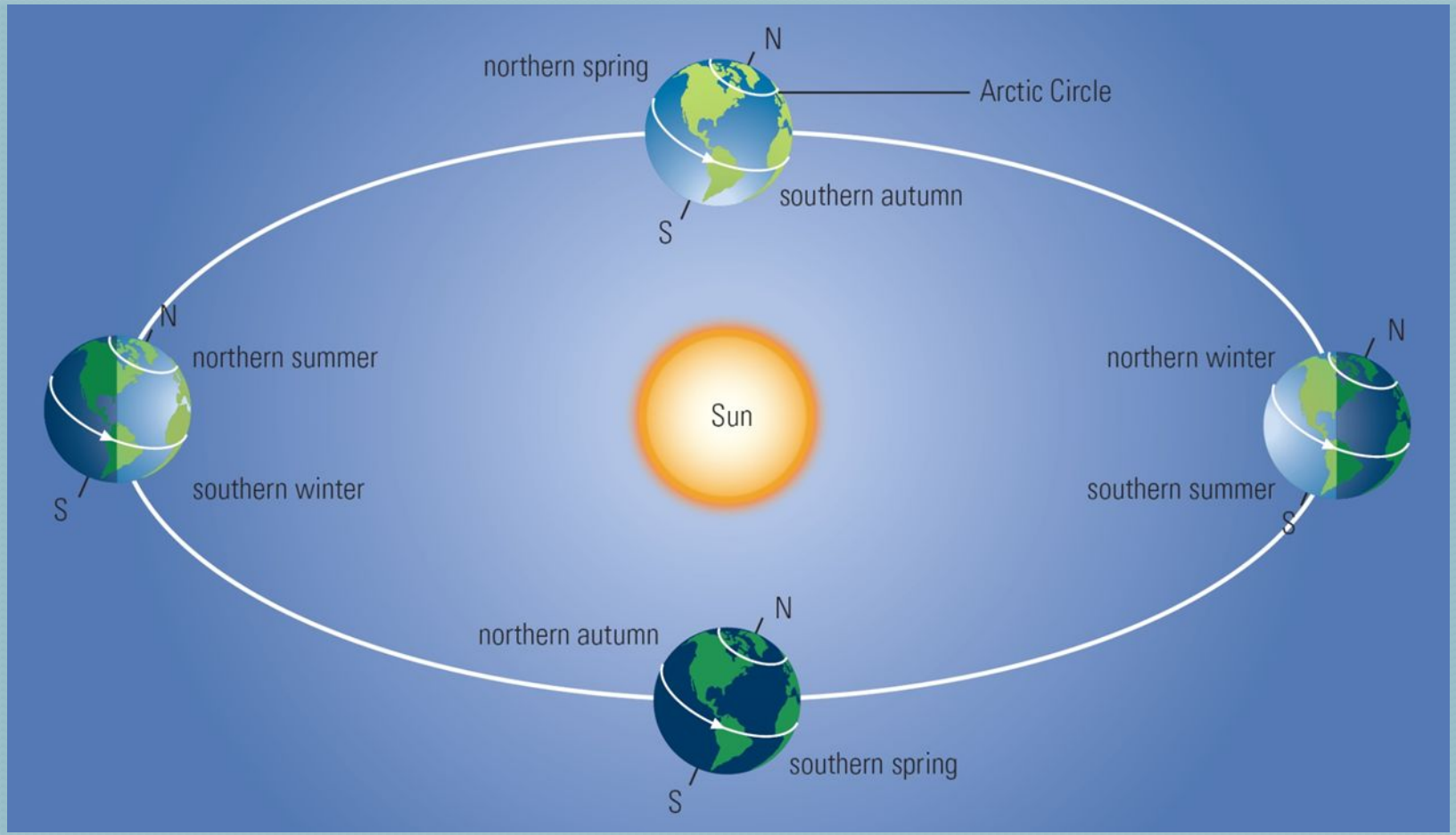
$$h_{min} = 90^{\circ} - \varphi - 23^{\circ}26'.$$

В остальные дни года высота Солнца в поддень лежит между значениями h_{max} и h_{min} причем в полярных областях высота Солнца может быть отрицательной, т. е. оно может быть невосходящим светилом.

Времена года



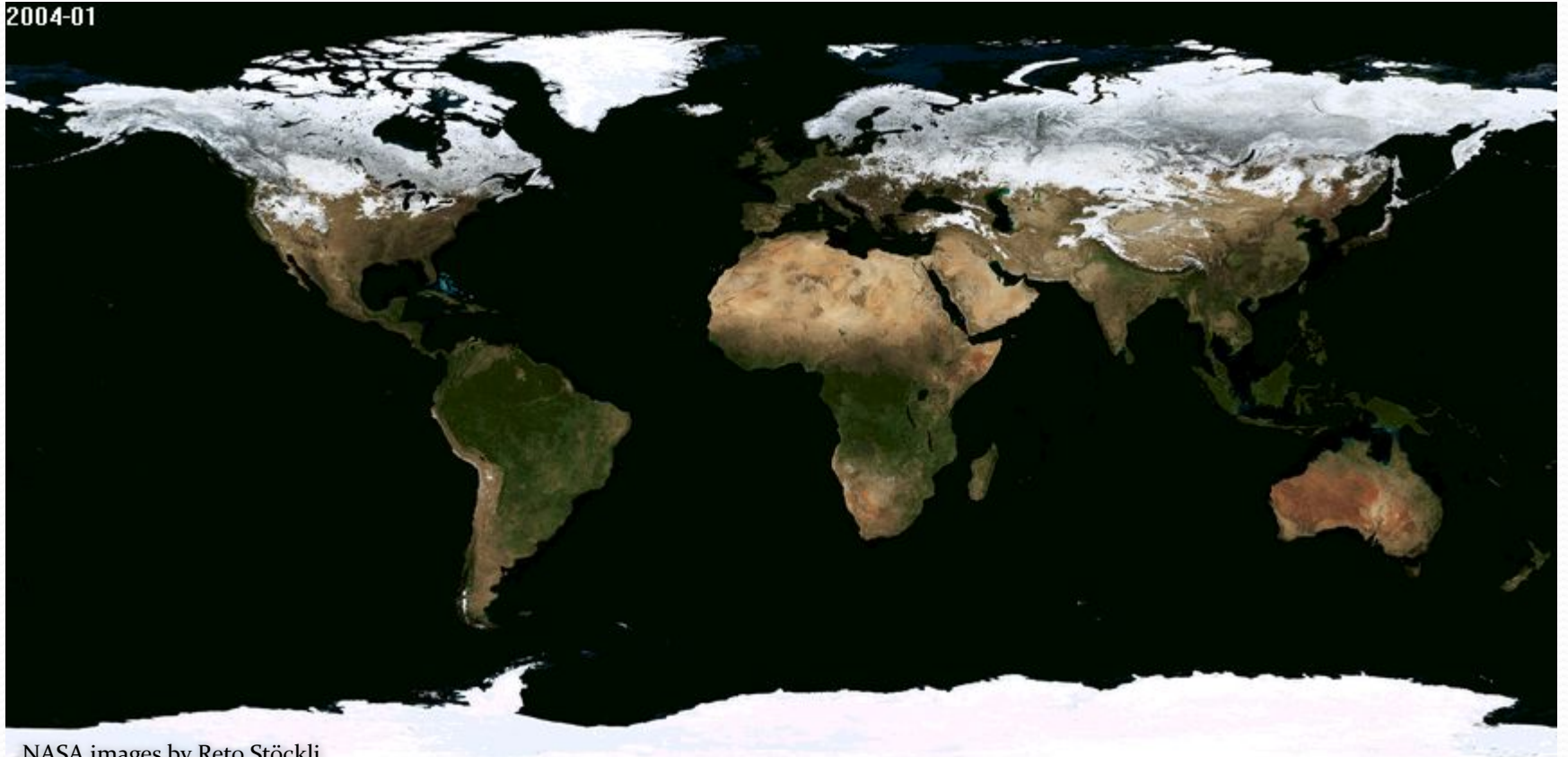
Изменение освещенности





Климатические пояса

2004-01



NASA images by Reto Stöckli

Движение Солнца и планет как отражение орбитального движения Земли

Время и его измерение

Время или часы?

Механика Ньютона основана на предположении о существовании абсолютной, не зависящей от пространственных координат, шкалы времени. Течение времени в этой шкале предполагается равномерным. Изучение такого абстрактного понятия времени — предмет философии. В астрономии, как и в экспериментальной физике, возникает важная задача измерения времени, т. е. практической реализации шкалы времени. Для этого необходимо течение всех наблюдаемых явлений связать с каким-либо периодическим процессом, который можно считать равномерным. Однако поскольку строго периодических явлений в природе нет, приходится использовать квазипериодические процессы, периодичность которых выполняется с определенной точностью. По этой причине все реализованные до сих пор шкалы времени не являются идеальными и содержат некоторую ошибку, выявить которую невозможно до тех пор, пока не будет найден более равномерный процесс, по сравнению с которым метки времени прежнего процесса можно измерить с более высокой точностью.

Физическое время неизмеримо – параметр закона причинно-следственных связей.

Часы – любой периодический процесс, с которым сравниваются длительности других процессов.

Точность шкалы времени определяется постоянством периода основного процесса, использованного для ее реализации. С древности установился счет времени солнечными сутками, т. е. оборотами Земли вокруг своей оси с учетом ее движения относительно Солнца. Однако неравномерность орбитального движения Земли вокруг Солнца приводит к тому, что продолжительность солнечных суток плавно меняется в течение года в пределах примерно ± 25 с. Этого достаточно для того, чтобы в течение года неравномерность шкалы времени, определяемая видимым движением Солнца, не превышала получаса, что уже существенно даже для повседневной жизни.

Значительно более постоянным оказывается период вращения Земли относительно далеких звезд. С его помощью устанавливается шкала времени с точностью до 10^{-3} с в течение нескольких месяцев. Эта точность определяется непредсказуемыми вариациями скорости вращения Земли после учета ряда известных неравномерностей. Однако только с изобретением атомных стандартов частоты точность шкалы времени удалось довести до 1 мкс за год.

В соответствии с экспериментальными возможностями изменялось определение основной единицы времени — секунды. До обнаружения неравномерности вращения Земли секунда определялась как $\frac{1}{86400}$ доля периода вращения Земли. В 1956 г. было введено определение эфемеридной секунды как $\frac{1}{31556925.9747}$ доли периода обращения Солнца относительно точки весны на эпоху 1900,0. В настоящее время принята атомная секунда, равная 9192631770 периодам колебаний электромагнитной волны, излучаемой атомом ^{133}Cs , находящимся в основном состоянии.

Продолжительность традиционно используемого интервала времени, называемого сутками, зависит от избранной точки на небе. В астрономии за такие точки принимаются:

- а) точка весеннего равноденствия;
- б) центр видимого диска Солнца (истинное Солнце);
- в) «среднее Солнце» — фиктивная точка, положение которой на небе может быть вычислено теоретически для любого момента времени.

Определяемые этими точками три различных интервала времени называются соответственно звездными, истинными солнечными и средними солнечными сутками, а время, ими измеряемое, — звездным, истинным солнечным и средним солнечным временем.

Здесь необходимо отметить, что эти различные названия времен, так же как и все другие, с которыми мы познакомимся в дальнейшем, относятся к одному и тому же реальному и объективно существующему времени. Иными словами, никаких различных времен не существует, есть лишь различные способы его измерения и различные системы его счета.

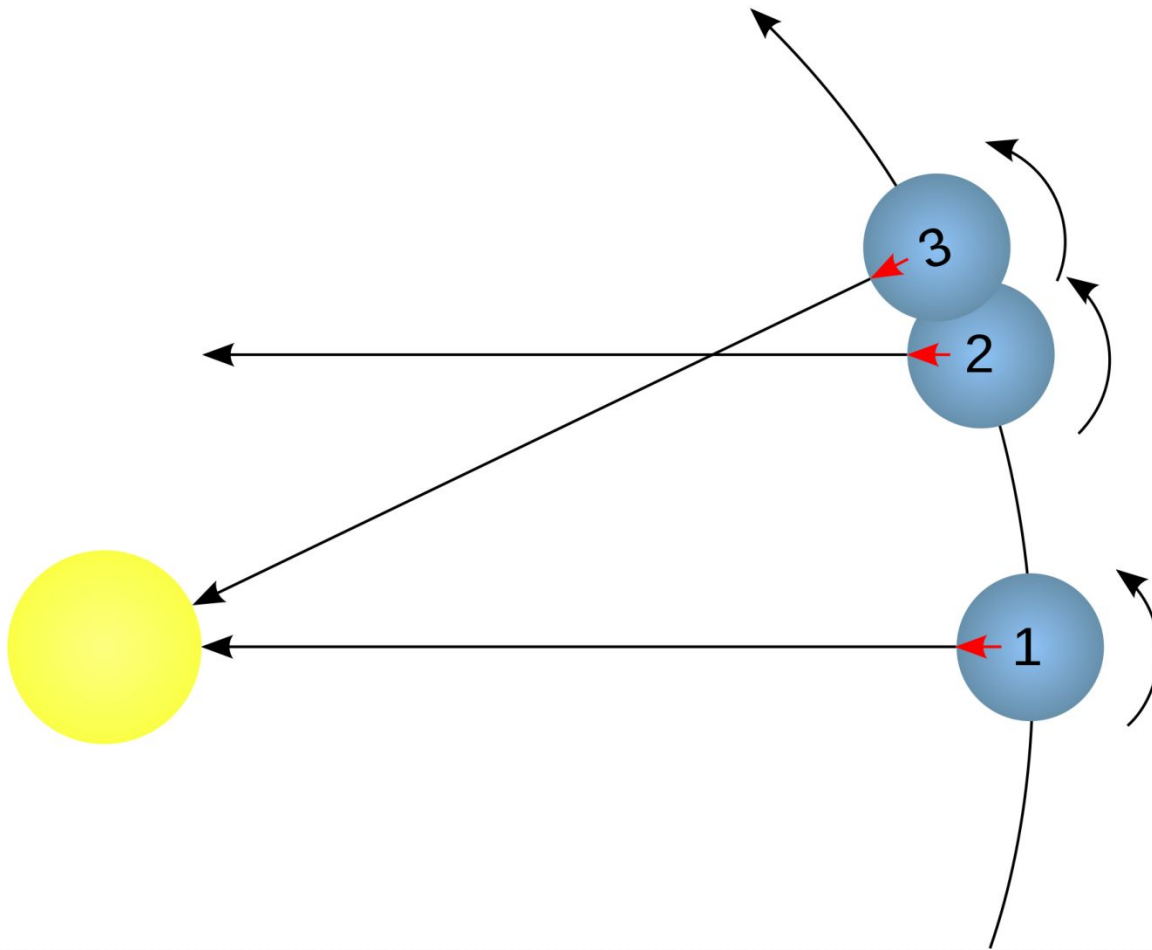
Сутки и их доли (часы, минуты и секунды) используются при измерении коротких промежутков времени. Для измерения больших промежутков времени служит другая единица меры, основанная на движении Земли вокруг Солнца и определяющая смену времен года на Земле. Она называется **тропический год** и равна промежутку времени между двумя одинаковыми пересечениями Солнцем небесного экватора при его движении по эклиптике. Этот промежуток зависит от периода движения Земли по орбите и еще от скорости прецессии. Прецессия приводит к тому, что взаимное положение экватора и эклиптики не остается постоянным. За год положение экватора изменяется таким образом, что Солнце «встречает» экватор раньше, чем завершается один оборот при движении Земли по орбите. Эта разница составляет 20 мин 24 с.

Тропическим годом называется промежуток времени между двумя последовательными прохождением центра истинного Солнца через точку весеннего равноденствия.

Из многолетних наблюдений установлено, что тропический год содержит 365,2422 средних солнечных суток. Из-за медленного движения точки весеннего равноденствия навстречу Солнцу, вызванного прецессией, относительно звезд Солнце оказывается в той же точке неба через промежуток времени на 20 мин 24 с больший, чем тропический год. Он называется **звездным (сидерическим) годом** и содержит 365,2564 средних солнечных суток.

Звездные сутки. Звездное время

Звездные сутки



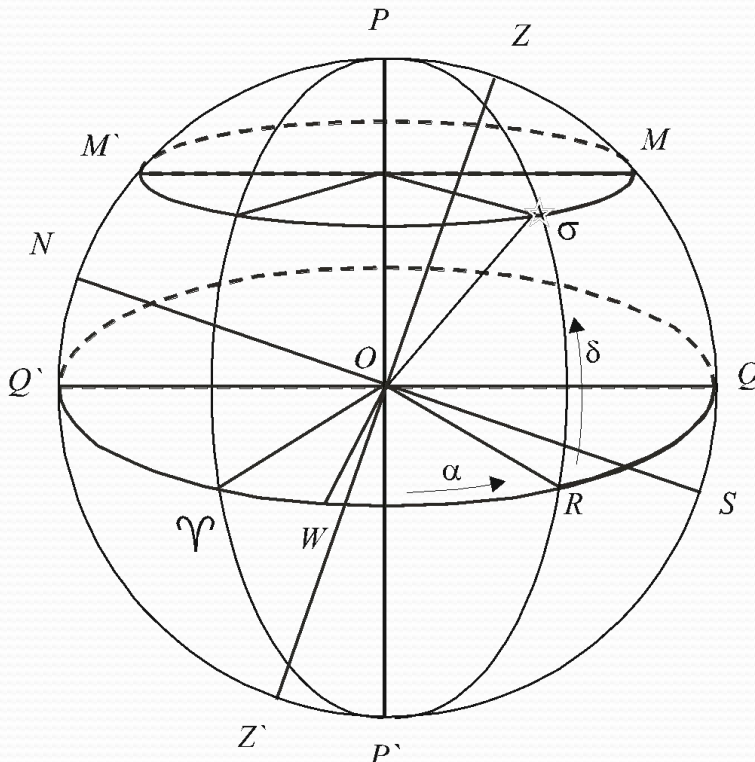
Звёздные сутки — период вращения какого-либо небесного тела вокруг собственной оси в инерциальной системе отсчёта, за которую обычно принимается система отсчёта, связанная с удалёнными звёздами. Для Земли это время, за которое Земля совершает один оборот вокруг своей оси по отношению к далёким звёздам.

На 2000-й год звёздные сутки на Земле равны $23^{\text{ч}}56^{\text{мин}}4,090530833^{\text{сек}} = 86164,090530833 \text{ с}$.

Часовой угол точки весеннего равноденствия называется **звездным временем s** .

Промежуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями точки весеннего равноденствия на одном и том же географическом меридиане называется **звездными сутками**.

За начало звездных суток на данном меридиане принимается момент верхней кульминации точки весеннего равноденствия.



$$s = t_{\gamma}$$

$$s = \alpha_* + t_*$$

$$s = \alpha_* \text{ в верхней кульминации}$$

$$s = \alpha_* + 12^h \text{ в нижней кульминации}$$

Местное истинное звёздное время (англ. Local Apparent Sidereal Time, LAST) — часовой угол истинной точки весеннего равноденствия $\Upsilon_{\text{ист}}$ для данного места (для местного меридиана).

Гринвичское истинное звёздное время или звёздное истинное время по Гринвичу (англ. Greenwich Apparent Sidereal Time, GAST) — часовой угол истинной точки весеннего равноденствия $\Upsilon_{\text{ист}}$ на гринвичском меридиане.

Рассматривается истинная точка весеннего равноденствия $\Upsilon_{\text{ист}}$, обладающая прецессионным и нутационным движением. Она смещается в плоскости эклиптики со скоростью $50,25''$ в год вследствие общей прецессии по долготе и одновременно периодически колеблется из-за нутации.

Исключение всей нутации дает **среднюю точку весеннего равноденствия** $\Upsilon_{\text{сред}}$, определяющую среднее звездное время.

Местное среднее звёздное время (англ. Local Mean Sidereal Time, LMST) — часовой угол средней точки весеннего равноденствия $\Upsilon_{\text{сред}}$.

Гринвичское среднее звёздное время или звёздное среднее время по Гринвичу (англ. Greenwich Mean Sidereal Time, GMST) — часовой угол средней точки весеннего равноденствия $\Upsilon_{\text{сред}}$ на гринвичском меридиане.

Истинное солнечное время. Среднее солнечное время



Истинное солнечное время

Сутки, связанные с видимым движением Солнца вокруг Земли, называются **солнечными**. Они начинаются в момент нижней кульминации Солнца на данном меридиане (т.е. в полночь).

Солнечные сутки – промежуток времени между двумя одноимёнными (верхними или нижними) кульминациями (прохождениями через меридиан) центра Солнца в данной точке Земли (или иного небесного тела).

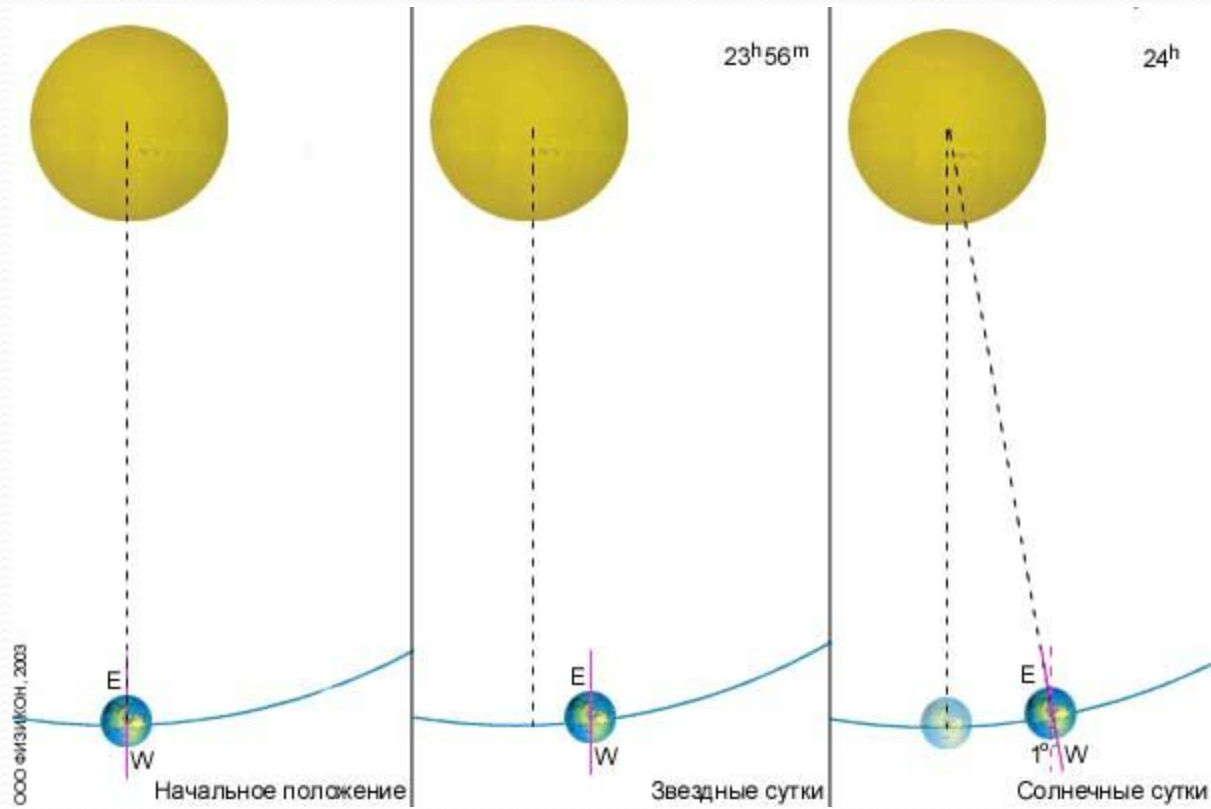
Время, протекшее от нижней кульминации Солнца до любого другого его положения, выраженное в долях истинных солнечных суток (в истинных солнечных часах, минутах и секундах), называется **истинным солнечным временем** T_{\odot} .

Солнечные сутки не одинаковы – из-за эксцентриситета земной орбиты зимой в северном полушарии сутки длятся немного больше, чем летом, а в южном – наоборот. Кроме того, плоскость эклиптики наклонена к плоскости земного экватора.

Вследствие движения Земли вокруг Солнца оно смещается для земного наблюдателя на фоне звезд на 1° за сутки. Проходит 4 минуты, прежде чем Земля «догоняет» его.

Итак, Земля делает один оборот вокруг своей оси за 23 часа 56 минут.

24 часа – **средние солнечные сутки** – время оборота Земли относительно центра Солнца.

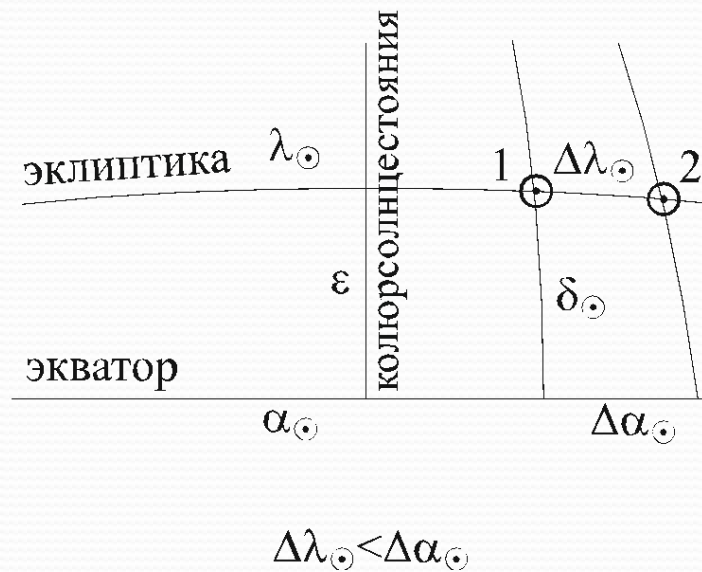
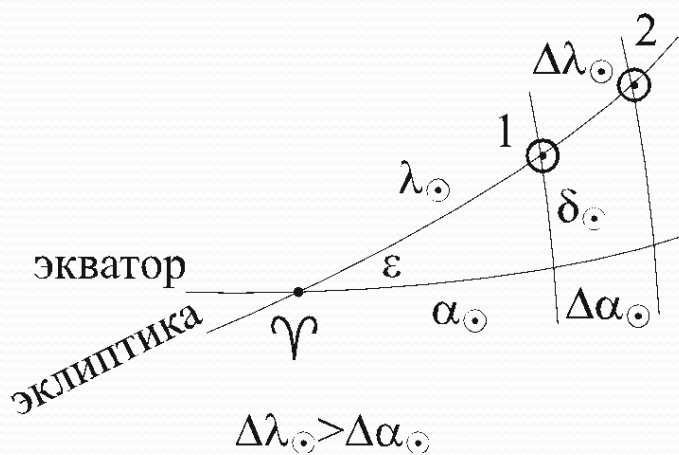


Неравномерность истинного солнечного времени

Из-за эллиптичности земной орбиты линейная скорость движения и угловая скорость вращения Земли вокруг Солнца изменяется в течение года. Медленнее всего Земля движется по орбите, находясь в афелии — самой удалённой от Солнца точке орбиты, быстрее всего — находясь в перигелии. Это является существенной причиной изменения длительности солнечных суток в течение года. А наклон приводит к движению Солнца по небесной сфере вверх и вниз от экватора в течение года. При этом прямое восхождение Солнца вблизи равноденствий изменяется быстрее (так как скорость изменения склонения Солнца максимальна и складывается с постоянной экваториальной скоростью), чем во время солнцестояний, когда скорость изменения склонения меняет направление, следовательно равна нулю, когда оно движется параллельно экватору.

Вклад эллиптичности орбиты в колебание длительности солнечных суток можно описать синусоидой с амплитудой $+7,931$ в перигелии и $-7,92$ в афелии секунд и периодом в 1 год. Есть и другие периодические эффекты, вносящие вклад в длину солнечных суток и зависящие от времени, но они невелики (возмущения от Луны и планет и т. д.).

Колебание продолжительности солнечных суток приводит к тому, что истинное солнечное время также колеблется относительно среднего солнечного времени. А именно: в результате накопления отклонений продолжительности солнечных суток от 24 часов солнечные часы спешат или отстают до $7,638$ минут в течение года



Среднее солнечное время

Чтобы получить сутки постоянной продолжительности и в то же время связанные с движением Солнца, в астрономии введены понятия двух фиктивных точек — среднего эклиптического и среднего экваториального солнца. Среднее эклиптическое солнце равномерно движется по эклиптике со средней скоростью Солнца и совпадает с ним около 3 января и 4 июля.

Среднее экваториальное солнце равномерно движется по небесному экватору с постоянной скоростью среднего эклиптического солнца и одновременно с ним проходит точку весеннего равноденствия.

Следовательно, в каждый момент времени прямое восхождение среднего экваториального солнца равно долготе среднего эклиптического солнца. Их же прямые восхождения одинаковы только четыре раза в году, а именно, в моменты прохождения ими точек равноденствий и в моменты прохождения средним эклиптическим солнцем точек солнцестояний. Введением среднего экваториального солнца, у которого суточные приращения $\Delta\alpha$ прямого восхождения одинаковы, устраняется непостоянство продолжительности солнечных суток и неравномерность истинного солнечного времени.

Промежуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями среднего экваториального солнца на одном и том же географическом меридиане называется средними солнечными сутками или просто средними сутками.

Из определения среднего экваториального солнца следует, что продолжительность средних солнечных суток равна среднему значению продолжительности истинных солнечных суток за год.

За начало средних солнечных суток на данном меридиане принимается момент нижней кульминации среднего экваториального солнца (средняя полночь).

Время, протекшее от нижней кульминации среднего экваториального солнца до любого другого его положения, выраженное в долях средних солнечных суток (в средних часах, минутах и секундах), называется средним солнечным временем или просто средним временем T_m .

Уравнение времени

Уравнение времени — астрономическое понятие, разница между средним солнечным временем (средним местным временем наблюдателя), которое показывают обычные часы, и истинным солнечным временем, измеренным на том же меридиане. Кривая уравнения времени является суммой двух синусоид - с периодами 1 год и 6 месяцев. Синусоида с годовым периодом даёт разность между истинным и средним временем, обусловленную неравномерным движением Солнца по эклиптике. Эта часть уравнения времени называется **уравнением центра** или **уравнением от эксцентриситета**. Синусоида с периодом 6 месяцев представляет разность времён, вызванную наклоном эклиптики к небесному экватору и называется **уравнением от наклона эклиптики**.

$$\eta = T_m - T_{\odot}$$

Проще говоря, уравнение времени — разница между временем, которое показывают обычные часы, и временем, которое показывают солнечные часы.

Уравнение времени обращается в ноль четыре раза в году: 16 апреля, 14 июня, 1 сентября и 25 декабря.

Соответственно, в каждое время года существует свой максимум уравнения времени: около 12 февраля — +14,3 мин, 15 мая — -3,8 мин, 27 июля — +6,4 мин и 4 ноября — -16,4 мин. Точные величины уравнения времени даются в астрономических ежегодниках.

Уравнение времени. График выше нуля — солнечные часы «спешат», ниже нуля — солнечные часы «отстают»

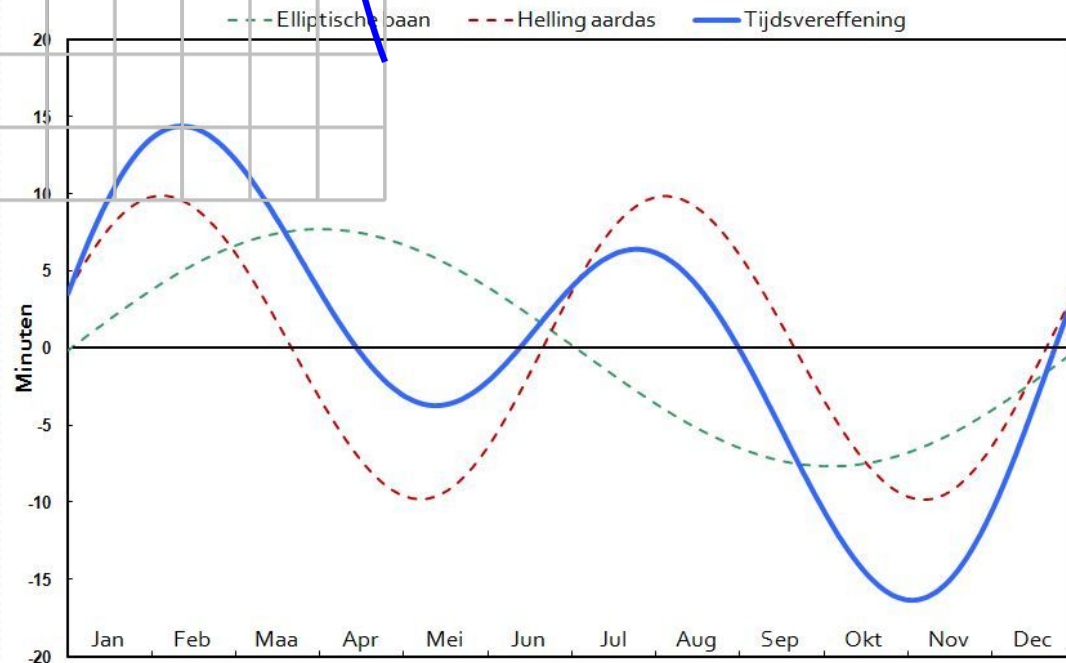
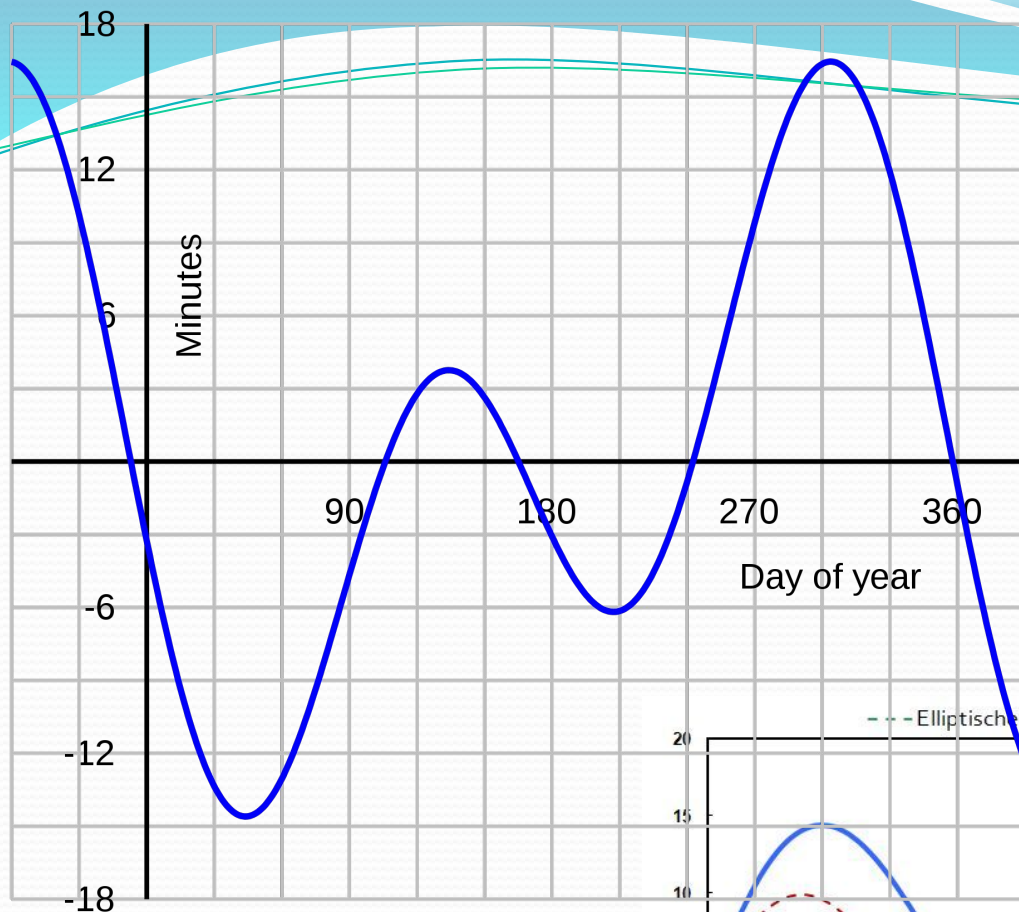


График уравнения времени (синяя линия) и двух его составляющих

Аналемма

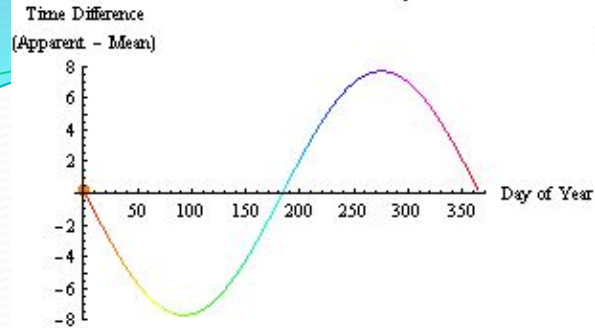
Аналёмма (греч. ἀνάλημμα, «основа, фундамент») — кривая, соединяющая ряд последовательных положений центральной звезды планетарной системы (в нашем случае — Солнца) на небосводе одной из планет этой системы в одно и то же время в течение года.

Форма аналеммы определяется наклоном земной оси к плоскости эклиптики и эллиптичностью земной орбиты. Наивысшее положение солнца на аналемме соответствует летнему солнцестоянию, наинизшее — зимнему. Положение в середине «восьмёрки» солнце занимает два раза в год, в весеннее и осеннее равноденствия.

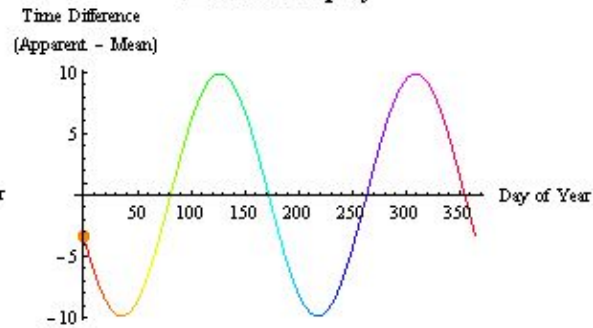
Благодаря эллиптичности земной орбиты положения вблизи верхнего экстремума положения солнца расположены теснее, а вблизи нижнего — реже. Это связано с тем, что Земля проходит перигелий в начале января. Таким образом, вблизи зимнего солнцестояния в декабре Земля движется по орбите быстрее, а вблизи летнего — медленнее (так как находится рядом с афелием своей орбиты). Поскольку солнцестояния опережают дни прохождений перигелия и афелия примерно на две недели, «восьмёрка» аналеммы слегка ассимметрична.

1. Влияние эксцентриситета
2. Влияние наклона эклиптики
3. Сумма — Уравнение времени
4. Позиция истинного Солнца относительно среднего Солнца

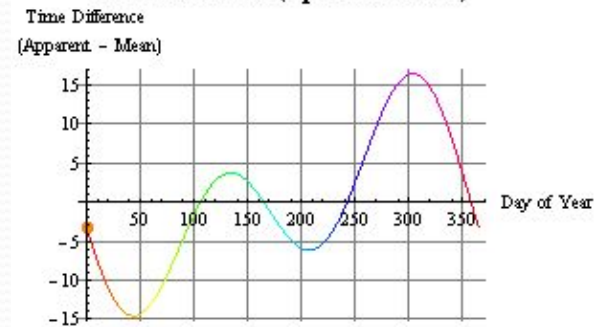
Effect of Orbit Eccentricity



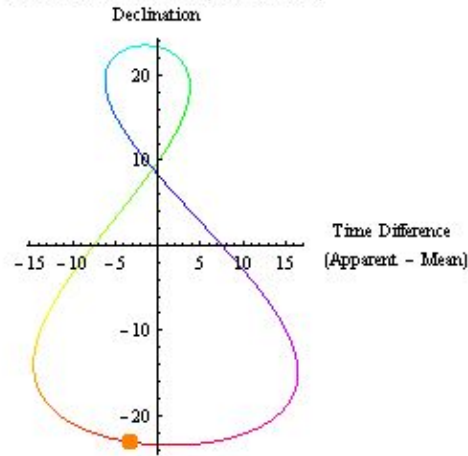
Effect of Obliquity



Combined Effects (Equation of Time)



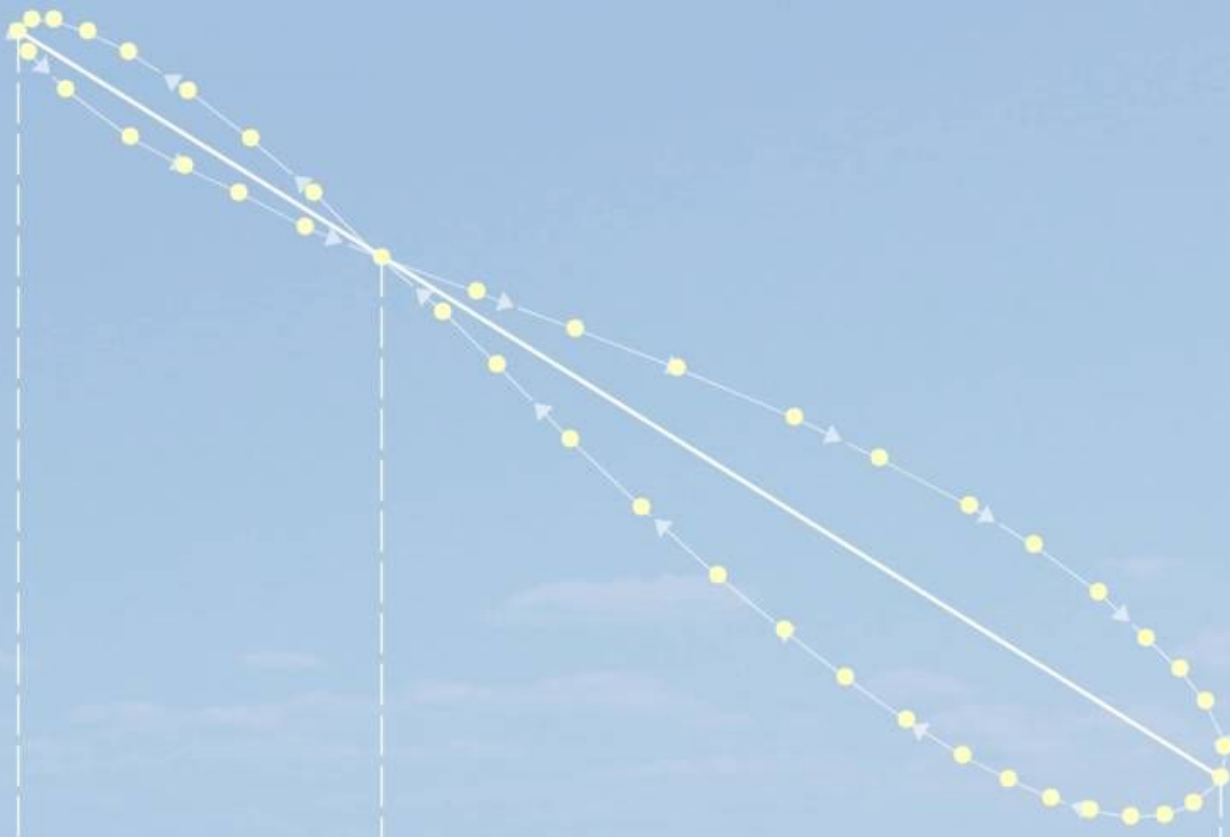
Sun Position Trace (Analemma)



NO

O

SO



21.6.

15.4./1.9.

22.12.

времени. Полукачественный

ПОДХОД

21 марта (день весеннего равноденствия) обе кульминации точки γ (ВК и НК) происходят практически одновременно с теми же кульминациями Солнца. Но уже через несколько суток кульминации Солнца по сравнению с кульминациями γ начнут запаздывать, поскольку оно смещается к востоку относительно звезд, причем разность между их кульминациями будет возрастать в соответствии с возрастанием прямого восхождения Солнца, а оно ежесуточно возрастает в среднем на 4 минуты (более точно на $3^m56.5^s$).

Запишем в таблице экваториальные координаты Солнца в характерные дни года и соответствующие значения звездного времени в момент верхней кульминации Солнца для этих дат.

Даты	α_{\odot}	δ_{\odot}	Звездное время в полдень ($t_{\odot} = 0^h$)	Часовой угол t_{\odot} в 0^h звездного времени ($t_{\gamma} = 0^h$)
21.03; В. Р.	0^h	0°	$S = t_{\gamma} = 0^h$	$t_{\odot} = 0^h$ (полдень)
22.06; Л. С.	6^h	$+23^{\circ}26'$	$S = t_{\gamma} = 6^h$	$t_{\odot} = -6^h$ (утро)
23.09; О. Р.	12^h	0°	$S = t_{\gamma} = 12^h$	$t_{\odot} = 12^h$ (полночь)
22.12; З. С.	18^h	$-23^{\circ}26'$	$S = t_{\gamma} = 18^h$	$t_{\odot} = 6^h$ (вечер)

Из таблицы следует, что начало звездных суток (т. е. ВК точки весеннего равноденствия) в разные дни года приходится на различные часы солнечных суток. Поскольку солнечные сутки продолжительнее звездных, то в течение каждых солнечных суток непременно происходит кульминация точки весеннего равноденствия. Более того, для каждой звезды, в зависимости от ее прямого восхождения, можно найти дату, когда в определенные солнечные сутки происходят две верхние кульминации звезды: одна в полночь, другая — незадолго до следующей полуночи. Таковую дату для этой звезды называют *критической*, она указана в АЕ (см. табл. «Видимые места звезд»).

На основании приведенной выше табл. легко определить приближенное звездное время в полдень либо в полночь для любой даты, и узнать, какие звезды проходят наш меридиан в эти моменты суток.

Пример: воспользуемся данными этой таблицы и найдем приближенное звездное время в полночь 10-го июля.

Ближайшей характерной датой для привязки является 22 июня (ЛС), когда $\alpha_{\odot} = 6^h$. Звездное время в полночь (НК $_{\odot}$) в эту дату: $S = \alpha_{\odot} + t_{\odot} = 6^h + 12^h 0^m = 18^h 0^m$. С 22 июня по 10 июля проходит 18 суток. За этот период α_{\odot} возрастает на $4^m \cdot 18 = 72^m = 1^h 12^m$. Следовательно, звездное время в полночь в момент НК $_{\odot}$ на 10 июля, когда $\alpha_{\odot} = 7^h 12^m$, составит: $S_{НК_{\odot}} = 7^h 12^m + 12^h 0^m = 19^h 12^m$.

Понятие о современном атомном времени, понятие о координатном и собственном времени

Шкала атомного времени TAI (по-французски, *Temps Atomique International*) была построена в середине XX в. Она основана на использовании квантовых стандартов частоты и повторяющимся с большой точностью естественном процессе: резонансном переходе атомов с одного энергетического уровня на другой. Шкала TAI равномерна на длительных промежутках времени и не зависит от вращения Земли.

За единицу измерения времени принимается **атомная секунда** (секунда СИ), определяемая в соответствии с резолюцией XIII конференции Международного комитета мер и весов (1967 г.) как промежуток времени, в течение которого совершается 9192631770 колебаний, соответствующих частоте излучения атома ^{133}Cs при резонансном переходе между энергетическими уровнями сверхтонкой структуры основного состояния при отсутствии внешних магнитных полей на уровне моря. Длительность секунды TAI была выбрана такой, чтобы она соответствовала длительности секунды эфемеридного времени ET для 1900 г. Атомная секунда определена с точностью порядка $2 \cdot 10^{-9}$ относительно эфемеридной секунды.

Каждый атомный стандарт частоты определяет собственную шкалу времени, которая находится интегрированием частоты, определяемой квантовым переходом между конкретными состояниями атомов цезия (Cs), водорода (H), рубидия (Rb), ртути (Hg) и др. Поэтому стандарты частоты бывают цезиевые, водородные, рубидиевые и др. Цезиевые и водородные стандарты составляют основу национальных эталонов времени и используются для формирования национальных и международной шкал атомного времени.

При интегрировании частоты начало шкалы времени не определено. Следовательно, нуль-пункты различных шкал атомного времени могут не совпадать. Кроме того разность нуль-пунктов шкал может изменяться из-за случайных и систематических погрешностей (или вариаций хода) атомных стандартов частоты. Со случайными и систематическими вариациями частоты связаны две важнейшие характеристики атомных часов: нестабильность и точность.

Нестабильность частоты определяется дисперсией Аллана.

В идеальном случае на выходе генератора частоты имеется синусоидальный сигнал вида:

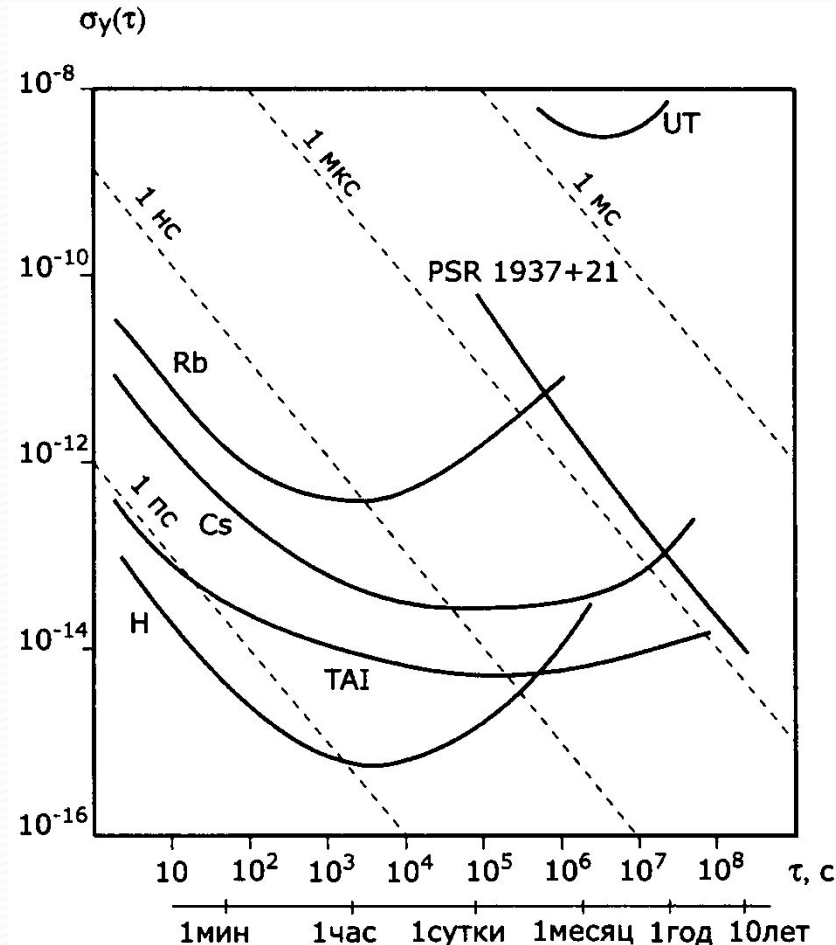
$$V(t) = V_0 \cos 2\pi\nu_0 t,$$

ν_0 – номинальная частота генератора. Однако в действительности сигнал представляется выражением

$$V(t) = V_0 \cos[2\pi\nu_0 t + \varphi(t)],$$

где $\varphi(t)$ – фаза, меняющаяся со временем случайным образом.

При увеличении τ до определенной величины случайные флуктуации частоты усредняются, и дисперсия Аллана уменьшается; однако при дальнейшем увеличении τ начинается систематическое увеличение шумов, приводящее к увеличению дисперсии Аллана.



Нестабильность стандартов частоты как функция времени

В настоящее время нестабильность секунды TAI на интервалах времени от одного месяца до одного года равна или чуть меньше $1 \cdot 10^{-14}$. На больших интервалах усреднения нестабильность увеличивается (до $\sim 5 \cdot 10^{-14}$).

Идеальный стандарт будет генерировать постоянную во времени частоту. Однако, если величина частоты будет отличаться от номинальной (9192631770 Гц), то шкала этого стандарта будет равномерно расходиться с TAI. Отличие реальной частоты стандарта от номинальной называется его точностью. Точность секунды TAI равна примерно $5 \cdot 10^{-14}$ (одна сигма). Это означает, что шкала TAI расходится с идеальной шкалой времени примерно на 1 мкс в год.

Пунктирной линией на рисунке показано расхождение шкал времени на разных интервалах с идеальной равномерной шкалой.

Начало отсчета времени в шкале TAI было выбрано таким образом, чтобы показания часов в шкалах TAI и UT1 совпадали в момент 0^h UT 1 января 1958 г. Так как для этого момента разность $AT = ET - UT$ равнялась $32,184^S$, то связь атомной шкалы TAI с ET установлена соотношением

$$ET = TAI + 32,184^S.$$

Большое число водородных стандартов, используемых при вычислении TAI, обеспечивает высокую кратковременную стабильность шкалы, тогда как цезиевые стандарты гарантируют высокую точность, непрерывность шкалы и обеспечивают ее долговременную стабильность.

За период 1991-2006 гг. шкала эфемеридного времени ET заменена на **Геоцентрическое координатное время** (TCG) и **Барицентрическое координатное время** (TCB), которые и применяются в настоящее время. Эти шкалы отражают темп времени, скорректированного в соответствии с общей теорией относительности к часам, покоящимся относительно соответствующей нуль-точки вне гравитационного колодца Земли и Солнечной системы, соответственно. Из-за этого темп хода времени в данных шкалах несколько выше, чем скорость хода атомных часов на поверхности Земли, и соответственно они расходятся с локально определённым Международным атомным временем (TAI) линейно с некоторым колебаниями. Для учёта этого обстоятельства определена также шкала **Земного времени** (Terrestrial Time, TT), заменяющая TDT и выводимая как такое линейное рещкалирование TCG, чтобы TT давала среднюю длительность секунды, совпадающую с секундой атомного времени TAI.

Каждому событию соответствует точка четырехмерного пространства Минковского, в лоренцевых (или галилеевых) координатах, три координаты которой представляют собой декартовы координаты трёхмерного евклидова пространства, а четвёртая — координату ct , где c — скорость света, t — время события. Связь между пространственными расстояниями и промежутками времени, разделяющими события, характеризуется квадратом интервала:

$$ds^2 = c^2t^2 - x^2 - y^2 - z^2.$$

Интервал между двумя событиями, через которые проходит мировая линия инерциального наблюдателя, делённый на c , называется его **собственным временем**, так как эта величина совпадает со временем, измеренным движущимися вместе с наблюдателем часами. Для неинерциального наблюдателя собственное время между двумя событиями соответствует интегралу от интервала вдоль мировой линии.

Собственное время течет не быстрее, чем координатное время в неподвижной системе отсчета.

Всемирное время UTC, УТО, УТІ, эфемеридное время

Эфемеридное время, ET — равномерная шкала времени, основанная на определении секунды, введенном в 1952 г. на 8 съезде Международного Астрономического Союза, которое не зависит от изменяющейся скорости вращения Земли. В 1956 г. Генеральной конференцией по мерам и весам (CGPM) это определение было рекомендовано к использованию, а в 1960 г. эфемеридная секунда была принята за базовую единицу времени в Международной Системе единиц СИ. В 1967 г. в СИ было введено другое определение секунды, основанное на атомных часах. В 1984 г. шкала эфемеридного времени ET в астрономии была заменена на шкалу TDT динамического земного времени, которую в 2001 году сменила шкала TT земного времени.

Механизм — обращение Земли в течение года вокруг Солнца.

Масштаб — продолжительность одной эфемеридной секунды, равной $1/31556925.9747$ тропического года. Так как тропический год не является постоянным, то за эталон принята продолжительность тропического года в фундаментальную эпоху 1900.0 янв.0, 12^h ET., в таблицах Ньюкомба.

Нульпункт — фундаментальная эпоха 0 января 1900, 12^h ET на начальном меридиане.

Способ отсчета — через посредство системы Всемирного времени UT, прибавлением поправки на переход к эфемеридному времени:

$$ET = UT + \Delta T,$$

где ΔT — поправка на вековое замедление вращения Земли, которую в наше время определяют измерением положения Земли относительно внегалактических радиоисточников.

В первом приближении, систему ET можно представлять как систему, основанную на суточном вращении Земли, но исправленную из-за неравномерности этого вращения.

Так как эфемеридная секунда привязана к продолжительности вполне определенного года, эталон ET не может быть воспроизведен — это идеальное построение.

Всемирное время или UT (англ. Universal Time) — шкала времени, основанная на вращении Земли. Всемирное время является современной заменой среднего времени по Гринвичу (GMT), которое сейчас иногда некорректно используется в качестве синонима для всемирного координированного времени (UTC). Всемирное время введено 1 января 1925 года. Фактически термин «всемирное время» является многозначным, так как существует несколько версий всемирного времени, главными из которых является UT1 и UTC. Все версии всемирного времени основаны на вращении Земли относительно далеких небесных объектов (звёзд и квазаров), используя коэффициент масштабирования и другие подстройки для того, чтобы быть ближе к солнечному времени.

UT₀ — всемирное время, определяемое с помощью наблюдений суточного движения звёзд или внегалактических радиоисточников, а также Луны и искусственных спутников Земли. Для UT₀ не применяется коррекция для компенсации смещения географического полюса Земли от мгновенной оси вращения Земли. Это смещение, называемое движением полюсов, приводит к смещению положения каждой точки на Земле на несколько метров, поэтому различные наблюдатели будут получать различные значения UT₀ в тот же самый момент времени. Таким образом время UT₀, строго говоря, не является всемирным. Также UT₀ не является равномерным из-за неравномерности вращения Земли.

UT₁, или универсальное время — основная версия всемирного времени. Хотя концептуально это среднее солнечное время на долготе 0°, но измерения среднего Солнца трудноосуществимы, поэтому UT₁ вычисляется пропорционально углу вращения Земли относительно квазаров, а точнее относительно международной небесной системы координат (ICRS). Относительно ICRS определяют также угол вращения Земли (ERA), который является современной заменой гринвичскому среднему звёздному времени (GMST).

UTC (**всемирное координированное время**) — атомная шкала времени, аппроксимирующая UT₁. Это международный стандарт, на котором базируется гражданское время. В UTC в качестве единицы времени используется секунда СИ, таким образом UTC идёт синхронно с международным атомным временем (TAI). Обычно в дне UTC 86 400 секунд СИ, однако для поддержания расхождения UTC и UT₁ не более чем 0,9 с при необходимости 30 июня или 31 декабря добавляется (или, теоретически, вычитается) дополнительная секунда координации. К настоящему времени все секунды координации были положительными. В случаях, когда точность больше 1 с не требуется UTC можно использовать как аппроксимацию UT₁. Таким образом шкала времени UTC в отличие от других версий всемирного времени является равномерной, но зато не является непрерывной.

Календарь

Как создавались календари

Солнце движется по эклиптике неравномерно. От точки весеннего равноденствия (21 марта) до точки осеннего равноденствия (23 сентября) Солнце проходит за 186 суток, а от точки осеннего равноденствия до точки весеннего равноденствия за 179 суток (по календарю простого года).

Любая календарная система исходит прежде всего из основной единицы измерения времени — суток. Затем в ней содержатся более крупные отрезки времени, такие, как неделя, месяц, год, цикл, век и т. д. Как месяц, так и год по своей продолжительности могут быть различными.

В лунном календаре месяц — величина почти постоянная и отображает время обращения Луны вокруг Земли (29,530588 суток), а лунный год — величина условная. В солнечном календаре, наоборот, месяц — условная единица, а год — естественная, в нем зафиксировано время обращения Земли вокруг Солнца (365,2425 суток) .

Календари:

- солнечные
- лунные (хиджра) – 354-355 суток
- лунно-солнечные (иудейский) – 353-354-355-383-384-385 суток
- лунно-солнечные с учетом планетных циклов

Архаичные календари

Примерно три тысячи лет тому назад на территории современной Италии имел распространение календарь, за основу которого был принят сельскохозяйственный, а вернее, вегетационный период, т. е. период активной жизнедеятельности растительного мира. Древние римляне составили календарь, вегетационный год которого длится 295 суток и делится на десять месяцев. За начало года принимался месяц, на который приходился день весеннего равноденствия.

Солнечные календари

Прообразом почти всех солнечных календарей современной Европы можно считать древнеегипетский календарь, созданный по некоторым данным в IV тысячелетии до н. э.

Началом года этого календаря считался день, когда самая яркая звезда неба — Сириус впервые после более двухмесячного периода (примерно 70 суток) невидимости появляется на горизонте перед восходом Солнца. Египетские астрономы заметили также, что начало разлива Нила почти совпадает с моментом появления Сириуса, а в свою очередь оба эти явления совпадают с периодом летнего солнцестояния. За начало года приняли первый день первого месяца сезона наводнения, а продолжительность года определили в 365 суток.

Египетский календарный год делился на 12 тридцатидневных месяцев. После шли пять добавочных суток. Такой сравнительно стройный счет времени в значительной степени устранял недостатки существовавшего в то время лунного календаря. Но в древнеегипетском календаре ежегодно происходила ошибка. Действительная продолжительность года, или промежуток времени между двумя последовательными прохождениями центра Солнца через точку весеннего равноденствия равна 365,2422 солнечных суток, или 365 сут 5 ч 46 сек. В результате указанного несоответствия начало египетского календарного года ежегодно отступало от начала тропического года примерно на $1/4$ суток, а в четыре года — на одни сутки. Позднее египетский календарь по этой причине стал называться *блуждающим*.

У римлян первоначально был лунный год продолжительностью 354 дня, на 11 дней короче тропического года. Для согласования календарных чисел с временами года вставлялся через каждые два года добавочный месяц, содержащий 22 или 23 дня. Эта вставка вносила еще большую путаницу, так как производилась произвольно по усмотрению верховного жреца.

Юлий Цезарь (102—44 гг. до н. э.) во время своего пребывания в Египте изучил египетский солнечный календарь и предлагаемые астрономами Александрии календарные реформы, пришел к выводу о необходимости замены сложного и сумбурного римского лунно-солнечного календаря новым солнечным календарем. С этой целью Юлий Цезарь пригласил в Рим александрийского астронома и математика Созигена и с его помощью разработал, а в 46 г. до н. э. узаконил знаменитую календарную реформу.

В новом календаре год насчитывал 365.25 суток и не только приблизился к году Сириуса или тропическому солнечному году, но и несколько превысил их продолжительность. В каждых четырех годах нового календаря насчитывалось три года по 365 дней и один год (високосный) — 366. За начало года был принят первый день января. Чтобы перевести начало римского года на январь, Цезарю пришлось предшествующий год продлить до 445 вместо 355 суток, после чего начался отсчет по новому календарю.

Существенным недостатком юлианского календаря явилось то, что календарный год был на 0,0078 суток (11 мин 23,9 сек) длиннее тропического, равного 365,242196 средних солнечных суток. В результате образовалась разница, равная примерно одним суткам в 128 лет.

В 325 г. Никейский церковный собор принял юлианский календарь и установил единые во всей империи христианские праздничные дни, и в первую очередь пасхи. Вычисление дней начала пасхи (пасхалии) было поручено александрийским астрономам, которые учли не только такие астрономические явления, как первое весеннее полнолуние, но и евангельское указание о том, что Христос воскрес «по прошествии же субботы, на рассвете первого дня недели», т. е. в воскресенье. Таким образом, было установлено, что первый праздничный день пасхи должен совпадать с первым воскресеньем после весеннего полнолуния. Но так как солнечный год, принятый за 365,25 суток, не содержит кратного количества лунных месяцев (29,53 суток), то в различные годы одни и те же фазы Луны, а следовательно, и полнолуний приходятся на различные числа месяцев. Зная из астрономии, что день весеннего равноденствия приходится на 21 марта (в редких случаях он может быть 22, а еще реже — 20 марта), церковники установили так называемый «пасхальный предел», который начинается первым днем, следующим за днем весеннего равноденствия, и заканчивается 25 апреля .

Вышеуказанные календарные границы начала праздника пасхи обусловлены следующим расчетом: полнолуние, как и любая фаза Луны, может повторяться только через месяц. В году, в котором полнолуние придется на следующий день после дня весеннего равноденствия (21 марта) и день этот совпадет с воскресеньем, праздник пасхи начнется 22 марта.

Если же полнолуние придется на день весеннего равноденствия и даже если этот день окажется воскресеньем, то все равно его нельзя считать пасхальным днем, так как по правилу необходимо, чтобы было первое полнолуние после дня весеннего равноденствия. Следовательно, пасха наступит в следующее полнолуние, только через 29—30 дней, т. е. не раньше чем 19 апреля. Но если 19 апреля придется не на воскресенье, а на понедельник или какой-либо другой день, то праздник пасхи передвинется на соответствующее количество дней. Если первым днем после весеннего равноденствия будет понедельник, то воскресенье будет 25 апреля, если вторник, то 26 апреля и т. д.

Еще многие века западный мир пользовался юлианским календарем, хотя он и нуждался в реформе. Дело заключалось в том, что календарный день весеннего равноденствия, т. е. 21 марта, стал заметно не соответствовать реальному равноденствию. Эта разница произошла из-за того, что Созиген, создавая календарь, не учел открытия Гиппарха и принял продолжительность календарного года за 365,25 суток, т. е. взял несколько большую величину, чем продолжительность тропического года (365,242196). Ко второй половине XVI в. разница эта составила почти 10 суток. Недостаток юлианского календаря отмечали многие астрономы, в том числе и Улугбек.

В 1581 г. указом главы католической церкви папы Григория XIII была создана специальная комиссия, которая приняла проект, разработанный в свое время преподавателем Перуджийского университета Луиджи Лилио, и 24 февраля 1582 г. папа Григорий XIII издал специальную буллу о введении нового календаря. Допущенная неточность была исправлена, и счет дней был передвинут на 10 суток вперед. День весеннего равноденствия вновь пришелся на 21 марта. Чтобы не повторять ошибки прошлого, было решено в каждые 400 лет сокращать количество високосных лет на три года, т. е. вместо 100 високосных лет установить 97, а те вековые годы, число столетий которых не делится на четыре без остатка, не считать високосными годами. Поэтому годы 1700, 1800, 1900 и 2100 считаются простыми, а 1600, 2000, 2400 и 2800 — високосными. Новый календарь назвали григорианским или календарем нового стиля в отличие от юлианского, который теперь считается календарем старого стиля.

Григорианский календарь

Продолжительность григорианского года с учетом указанных исправлений составила $\frac{365 \cdot 303 + 366 \cdot 97}{400} = 365.242500$ суток. Таким образом, разница между тропическим и григорианским годом составит всего 0,000304 средних суток. Различие в одни сутки наступит почти через 4000 лет.

В зависимости от того, когда в том или ином государстве была проведена реформа, в год введения григорианского календаря добавлять к дате 10, 11, 12 или 13 суток. В период с 1582 по 1700 г. поправка составляет 10 суток, с 1700 по 1800 г. — 11 суток, с 1800 по 1900 г. — 12 суток, а с 1 марта 1900 г. по 28 февраля 2100 г. — 13 суток.

Тропический год = 365.242186 солнечных суток (-1.12 с за 100 лет)
Лунный месяц = 29.5305898 солнечных суток (+0.014 с за 100 лет)
Солнечные сутки (+1.5 с за 100 000 лет)

$$365.2422 = 360 + 5 + \frac{1}{4} - \frac{3}{400} - \frac{3}{10000}$$

Развитие солнечного календаря

Лунный календарь

Составители астрономических лунных календарей и таблиц, отображающих фазы Луны на многие годы, за начало синодического месяца приняли *новолуние*. Но так как момент новолуния визуально скрыт и является плодом точных математических расчетов, а в практике за новолуние принимаются появление на небосводе лунного серпа, что фактически бывает через 1—2 суток после астрономического новолуния, то наряду с таблицами астрономических новолуний стали создаваться таблицы и лунные календари, базирующиеся на визуальных новолуниях.

Продолжительность месяца лунного календаря, принятая за 29,5 суток, меньше его фактической продолжительности на 0,0306 суток, и календарный месяц заканчивается немного раньше синодического. Из-за этого табельное начало месяца лунного календаря, которое должно совпадать с новолунием, начинает постепенно отставать. За 30 лет эта разница возрастает примерно до 11 суток. Для устранения этой разницы арабы стали к каждому 30-летнему периоду добавлять 11 суток. В каждом 30-летнем периоде начали считать 19 обычных лет по 354 суток и 11 лет, високосных, по 355 суток. Тогда сумма календарных суток $(354 \cdot 19) + (355 \cdot 11)$ составила количество фактических суток 30-летнего периода, а именно 10 631 сутки. За високосные годы в арабском лунном календаре приняты следующие 11 лет каждого 30-летнего цикла: 2-й, 5-й, 7-й, 10-й, 13-й, 16-й, 18-й, 21-й, 24-й, 26-й, 29-й.

1. Летосчисление по хиджре началось в ночь с 15 на 16 июля 622 г., на 621 год 6 месяцев и 15 суток позднее григорианского календаря;

2. Мусульманский календарный лунный год, как простой (354 суток), так и високосный (355 суток), короче календарных солнечных лет примерно на 11 суток, или на $1/33$ солнечного года. Поэтому солнечный календарь систематически отстает от летосчисления по хиджре. Разница в $1/33$ часть года приводит к тому, что 33 лунных года примерно равны 32 солнечным годам.

Так как солнечный календарь основан на движении Земли вокруг Солнца, то из года в год все даты в нем приходятся на одно и то же время года. Поскольку лунный год короче солнечного, то день мусульманского Нового года приходится каждый раз на 11 суток раньше, чем в предыдущем году, и в течение 33 наших лет он обойдет все времена года; соответственно «блуждают» и все другие даты этого календаря.

Лунно-солнечные календари

Лунно-солнечные календари ставят своей задачей согласовывать лунный счет времени с солнечным.

Эти календари приняты в Израиле, Иране и других странах. В Иране распространены три календаря: иранский календарь лунной хиджры, календарь солнечной хиджры (берет свое начало от 622 г. н. э.) и григорианский календарь. В иранских провинциях можно встретить и солнечно-юпитерный календарь животного цикла.

Как известно, в календаре солнечной хиджры, так же как и в лунной хиджре, за начальную дату эры принят 622 г. н. э.

Простой год солнечной хиджры имеет, так же как и григорианский, 365 дней, а високосный — 366. Год состоит из 12 месяцев, из которых первые шесть содержат по 31 дню, последующие пять — по 30 дней и последний месяц — в простом году 29 дней, а в високосном — 30.

Год начинается с момента вступления Солнца в созвездие Рыб, но по традиции на эклиптике стоит знак Овна (день весеннего равноденствия), что соответствует 20, 21 или 22 марта григорианского календаря. Колебания в датах начала иранского солнечного года, отражающиеся в григорианском календаре, являются следствием несовпадения високосных лет обеих систем.

Распределение дней по месяцам иранского солнечного календаря произвольно. Земля движется вокруг Солнца неравномерно. От момента весеннего равноденствия (21 марта) до осеннего равноденствия (23 сентября) Солнце проходит по эклиптике такую же дугу, как от момента осеннего равноденствия до весеннего. Половина всей окружности равна 180° , но первую половину этой окружности — от 21 марта до 23 сентября — Солнце проходит за 186 суток (за шесть первых месяцев солнечного календаря), а вторую — с 23 сентября по 21 марта — за 179 суток.

Високосные годы распределяются по следующей системе: в каждом 33-летнем цикле имеется восемь високосных лет, из них семь раз високос повторяется через каждые четыре года, а восьмой — через пять лет. За начало летосчисления принят 622 г. н. э. — первый год хиджры.

Месяцы современного иранского солнечного календаря делятся на недели по семь дней. Неделя начинается с субботы. Официальный нерабочий день — пятница.

Лунно-солнечный календарь получил широкое распространение в современном государстве Израиль, в котором, как и в странах Восточной Азии, счет годов ведется по Солнцу, а месяцев — по Луне. Календарь этот пришел на смену древнееврейскому лунному календарю с постоянным количеством дней в году, равным 354 суткам. Сутки начинались в 6 ч вечера. В году было 12 месяцев (четные — по 29, а нечетные — по 30 дней).

В IV в. до н. э. древнееврейский лунный календарь был заменен лунно-солнечным.

Поскольку продолжительность солнечного года превышает длительность лунного примерно на 11 суток, необходимо было согласовать смену лунных фаз с наступлением астрономического (солнечного) года, т. е. с весенним и зимним равноденствиями. Для этого был введен дополнительный тринадцатый месяц продолжительностью 30 дней, который вставлялся семь раз в каждые 19 лет. Год с 13 месяцами считается високосным и называется «иббур». Дополнительные месяцы известны под названием «эмбо-лисмических», что значит по-гречески «вставные». Порядок чередования високосных лет в еврейском 19-летнем цикле принят следующий: 3, 6, 8, 11, 14, 17 и 19.

Дополнительный месяц по этому календарю вставляется перед месяцем адар и носит это же название, а основной адар — адар второй. Так как солнечный год равен примерно 365,25 суток, то 19 солнечных лет составят 6939,75 суток, в то время как 19 лунно-солнечных календарных лет, включая вставные семь месяцев, составляют 6936 суток. Для того чтобы уравнять продолжительность 19-летних циклов, составители календарей, основываясь на религиозном учении, по которому началом года не могут быть воскресенье, среда и пятница, вводят в каждый 19-летний цикл недостающие дни путем передвижения начала года вперед на один день, если начало года пришлось на указанные дни недели.

Юлианский период

Юлианский период (юлианский цикл) - период длительностью 7980 лет, полученный перемножением периодов трех характерных для юлианского календаря 28 летнего, 19 летнего и 15 летнего циклов ($28 \times 19 \times 15 = 7980$). В течение 28 летнего цикла (**солнечный календарный цикл**) изменяется распределение дней семидневной недели по дням года; период в 19 лет (**метонов цикл**) связан с периодичностью фаз Луны; период в 15 лет (**римский индиктон**) употреблялся в налоговой системе древнего Рима. Юлианский цикл был предложен известным историком и хронологом Джозефом Скалигером (Joseph Justus Scaliger (1540-1609)).

Солнечный календарный цикл состоит из 28 лет и помогает установить связь между днем недели и порядковым днем месяца в юлианском календаре. Если бы не было високосных лет, то соответствие дней недели и чисел месяца регулярно повторялось бы с 7-летним циклом, поскольку в неделе 7 дней, и год может начинаться с любого из них; а также потому, что обычный год на 1 сутки длиннее 52 полных недель. Но введение раз в 4 года високосных лет делает цикл повторения всех возможных календарей в прежнем порядке 28-летним. Интервал между годами с одинаковым календарем изменяется от 6 до 28 лет.

Метонов цикл (лунный цикл) - 19-летний календарный цикл, показывающий соотношение лунного месяца и солнечного года. В цикле используется отношение 19 тропических годов = 235 синодических месяцев.

В каждом цикле распределение фаз Луны по дням повторяется с точностью до нескольких часов. Погрешность в сдвиге фаз Луны составляет 1 сутки за 219 лет.

Цикл назван он по имени греческого астронома и математика Метона (Meton), независимо открывшего его в 432 до н.э., хотя он был известен в Древнем Китае (с 2260 до н.э) и Древнем Вавилоне.

Метон считал длину года равной 365.25 суток, поэтому 19 лет у него составляли 6939 сут 18 ч, а 235 синодических месяцев (лунаций) равняются 6939 сут 16 ч 31 мин (примерно на 1.5 часа меньше). Поскольку 19 лет по 12 мес дают в сумме 228 мес, то в 7 годов 19 цикла вставляют по одному дополнительному месяцу (то есть цикл состоит из 12 лет по 12 мес и 7 лет по 13 мес). Считается, что Метон вставлял добавочные месяцы в 3-й, 6-й, 8-й, 11-й, 14-й и 19-й годы цикла. Длительность месяцев составляла 29 или 30 суток: у всех годов, содержащие по 12 мес, из длительность попеременно составляет 29 или 30 сут, 6 дополнительных месяцев имеют длительность 30 сут, а седьмой - 29 сут. Всего в цикле 110 месяцев по 29 дней и 125 месяцев по 30 дней.

Метонов цикл служил основой для построения многих лунно-солнечных календарей: греческого лунно-солнечного календаря, вавилонского, еврейского и некоторых других.

Начиная со средних веков порядковый номер года в цикле Метона (принимавшее значения от 1 до 19) стали называть Золотым Числом.

Индикт или индиктион (от лат. *indictio* - «объявление», «указание») - период в 15 лет, использовавшийся в летоисчислении Римской Империи и её приемницах, вошедший в обиход Православной Церкви.

В Римской Империи индиктом называлась цифра податей, которые следовало собрать в данном году. Таким образом, финансовый год в империи начинался «указанием» (*indictio*) императора, сколько нужно собрать податей. При этом каждые 15 лет производилась переоценка имений.

Выбор начальной точки отсчета юлианского цикла был произведен следующим образом: любой год внутри одного юлианского цикла можно охарактеризовать либо числом лет от начала периода, либо тремя числами (S,M,I) - положениями года в трех перечисленных выше циклах. При этом положение года в солнечном цикле (S) может меняться от 1 до 28, в метоновом (M) от 1 до 19 и в последнем от 1 до 15. Известно, что год рождения Христа (вычисленный Дионисием Малым в VI веке) имел значения указанных чисел (9,1,3). Тогда начальным годом цикла, определяемым числами (1,1,1), был 4713 до нашей эры по юлианскому календарю.

Начавшись 1 января 4713 года до нашей эры (по юлианскому календарю), первый юлианский период закончится 31 декабря 3267 года (по юлианскому календарю), что будет соответствовать 22 января 3268 года (по григорианскому летоисчислению),

Скалигер не был первым, кто составил юлианский цикл. Еще в XII веке Роджер, епископ Герфордский, описал 7980-летний цикл в одном из своих манускриптов. Но он не определял дату начала цикла.

Примерно через 250 лет после Скалигера на основе его идей Джон Гершель ввел в астрономию юлианские дни.

В большинстве источников (см., например, Э.В.Кононович "Курс общей астрономии") указано, что Скалигер дал периоду название юлианский в честь своего отца Юлиуса Скалигера (Julius Caesar Scaliger). Однако, в своей книге "De Emendatione Temporum: (Женева, 1629) Скалигер пишет: "Мы назвали его [период] Юлианским потому, что он пригнан под юлианские годы ..."

Юлианский день

Юлианские дни (юлианские даты) - система непрерывной нумерации дней. Юлианский день равен числу суток прошедших с гринвичского полудня (12:00 GMT) 1 января 4713 г. до нашей эры до заданного момента. Юлианские дни принято обозначать буквами JD. Величина JD может принимать нецелые значения, в этом случае ее можно использовать для определения момента события (или измерения интервала времени между двумя событиями) с любой точностью. Юлианские дни широко используется в астрономии и хронологии.

Начало III тысячелетия - полночь с 31 декабря 2000 года на 1 января 2001 года - приходится на $JD = 2,451,910.5$ (то есть первая половина суток 1 января 2001 года относится к юлианскому дню $JD=2,451,910$, а вторая - к $JD=2,451,911$).

Юлианские дни были введены в обращение Джоном Гершелем (John F. Herschel) в 1849 году в книге "Очерки по Астрономии" ("Outlines of Astronomy") на основе идей, разработанный известным историком и хронологом Джозефом Скалигером.

Система юлианских дней обладает двумя недостатками:

Юлианский день начинается в полдень, что не совпадает с принятым сегодня порядком гражданского времяисчисления, согласно которому сутки начинаются в полночь.

Величина JD, соответствующая современной эпохе, очень велика, причем старшие разряды этого числа на обозримых интервалах времени не изменяются.

Первая из указанных проблем была разрешена введением модифицированных юлианских дней (MJD), вторая - введением усеченных юлианских дат с более близким к современности началом отсчета.

Система непрерывного счета может быть привязана не только к гринвичской шкале времени, но и ко всемирному времени, ко всемирному координированному времени, к эфемеридному времени, к звездному времени. Для одного и того же заданного момента времени все эти юлианские даты имеют разные значения.

Модифицированная юлианская дата

Модифицированная юлианская дата (MJD) связана с обычной юлианской датой (JD) следующим соотношением:

$$\text{MJD} = \text{JD} - 2400000.5.$$

В отличие от юлианских дней, которые начинаются в гринвичский полдень, начало модифицированного юлианского дня приходится на полночь, что соответствует принятому сегодня делению времени на сутки. Кроме того с 1859 по 2130 годы значения MJD будут положительны и для их записи будет достаточно пяти значащих цифр (а не семи, как для JD).

Начало отсчета модифицированных юлианских дней (MJD=0) приходится на полночь с 16 на 17 ноября 1858 года по григорианскому календарю.

Приведенное выше определение MJD утверждено решением МАС.