



Небесная сфера

- это сфера произвольного радиуса с центром в произвольной точке пространства, на которую проецируются небесные тела. Это модель, вводимая *астрономами* для удобства решения различных астрономических задач.

Небесная сфера и положение наблюдателя

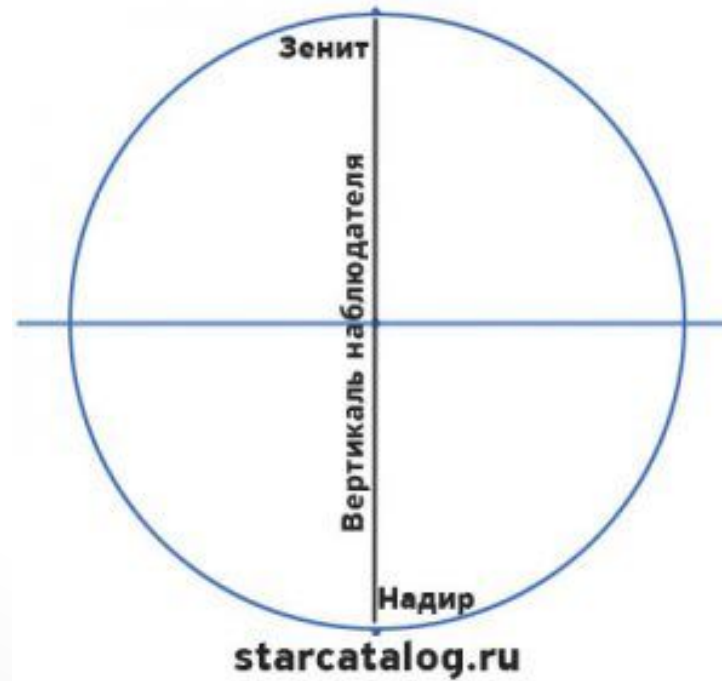
Если наблюдатель сдвинется, то
сдвинется и вся видимая им сфера



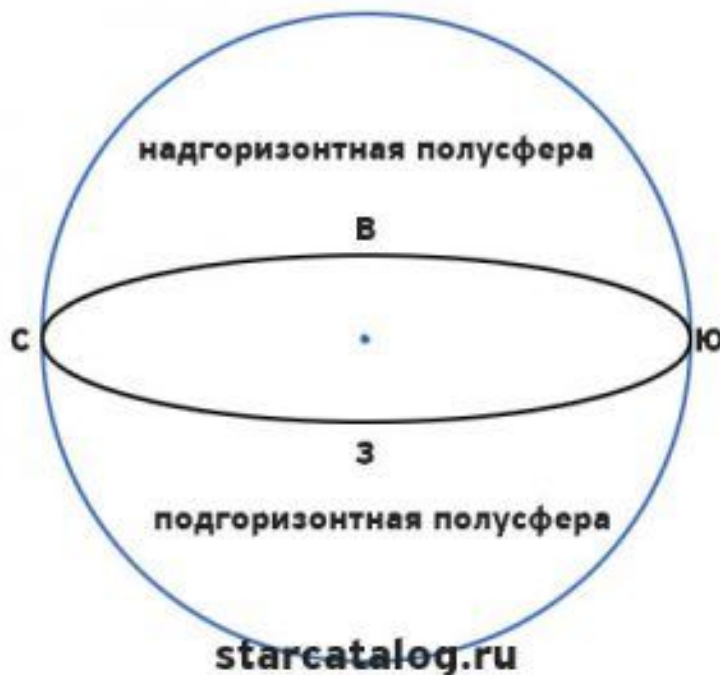
ЭЛЕМЕНТЫ НЕБЕСНОЙ СФЕРЫ



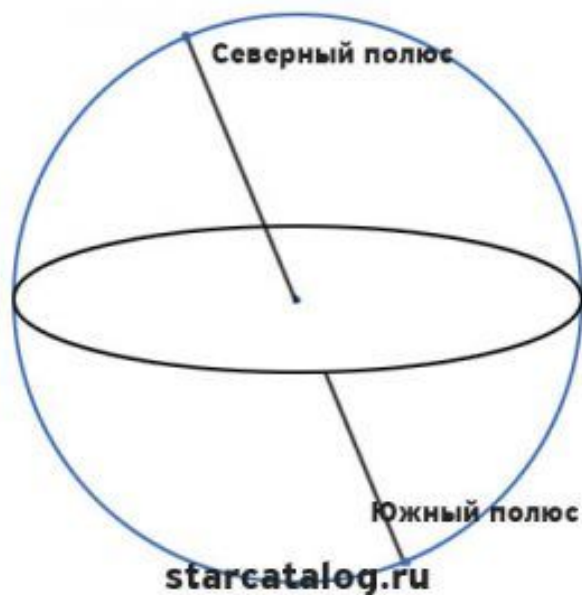
Вертикаль наблюдателя — прямая, проходящая через центр небесной сферы и совпадающая с направлением нити отвеса в точке наблюдателя. **Зенит** — точка пересечения вертикали наблюдателя с небесной сферой, расположенная над головой наблюдателя. **Надир** — точка, противоположная зениту.



Истинный горизонт — большой круг на небесной сфере, плоскость которого перпендикулярна к вертикали наблюдателя. Истинный горизонт делит небесную сферу на две части: *надгоризонтную полусферу*, в которой расположен зенит, и *подгоризонтную полусферу*, в которой расположен надир.

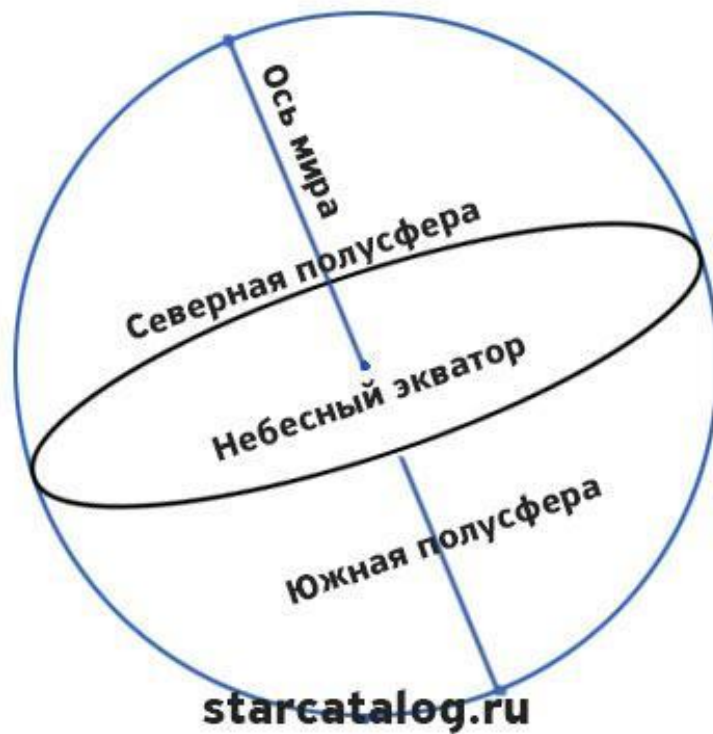


Ось мира (Земная ось) — прямая, вокруг которой происходит видимое суточное вращение небесной сферы. Ось мира параллельна оси вращения Земли, а для наблюдателя, находящегося на одном из полюсов Земли, она совпадает с осью вращения Земли. Видимое суточное вращение небесной сферы является отражением действительного суточного вращения Земли вокруг своей оси.

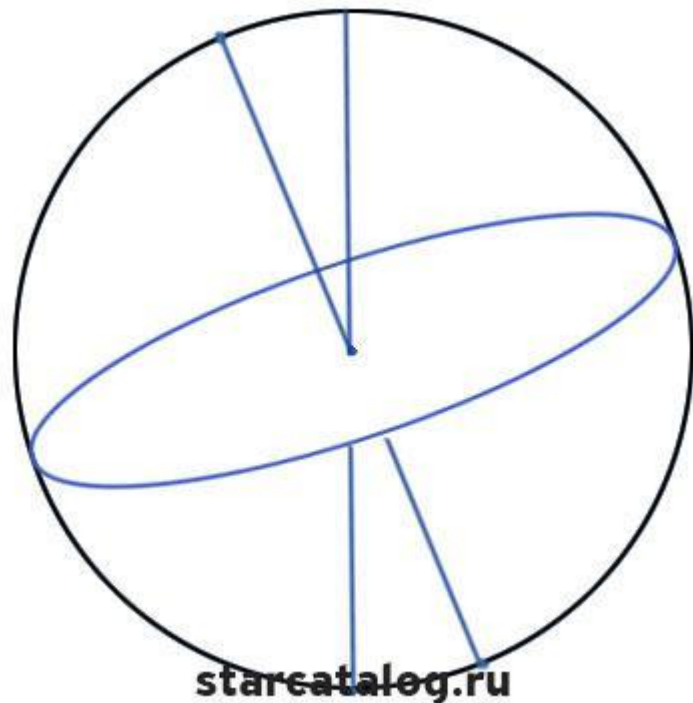


Полюсы мира — точки пересечения оси мира с небесной сферой. Полюс мира, находящийся в области созвездия Малой Медведицы — *Северный полюс* мира, а противоположный полюс — *Южный полюс*.

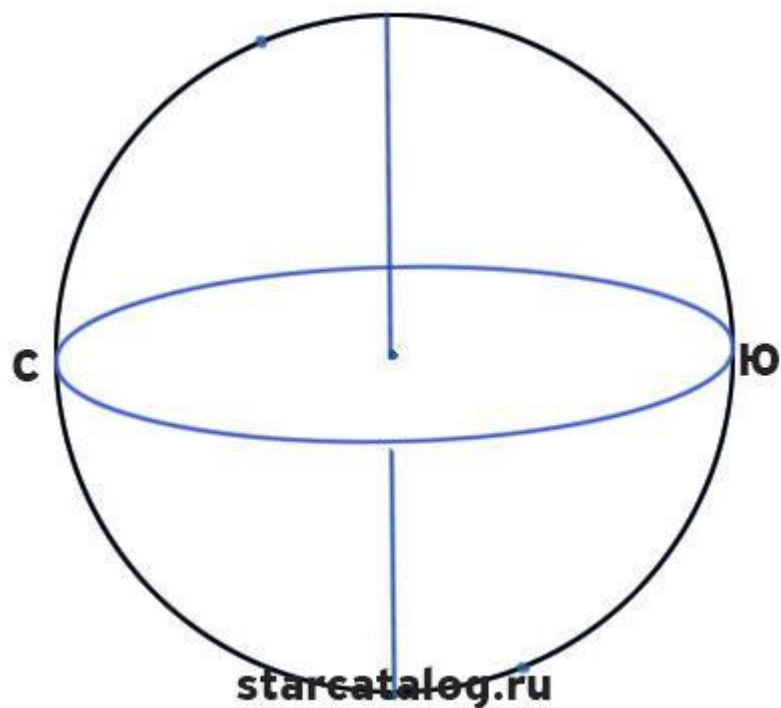
Небесный экватор — большой круг на небесной сфере, плоскость которого перпендикулярна к оси мира. Плоскость небесного экватора делит небесную сферу на *северную полусферу*, в которой расположен Северный полюс мира, и *южную полусферу*, в которой расположен Южный полюс мира.



Небесный меридиан, или меридиан наблюдателя — большой круг на небесной сфере, проходящий через полюсы мира, зенит и надир. Он совпадает с плоскостью земного меридиана наблюдателя и делит небесную сферу на *восточную* и *западную полусферы*.

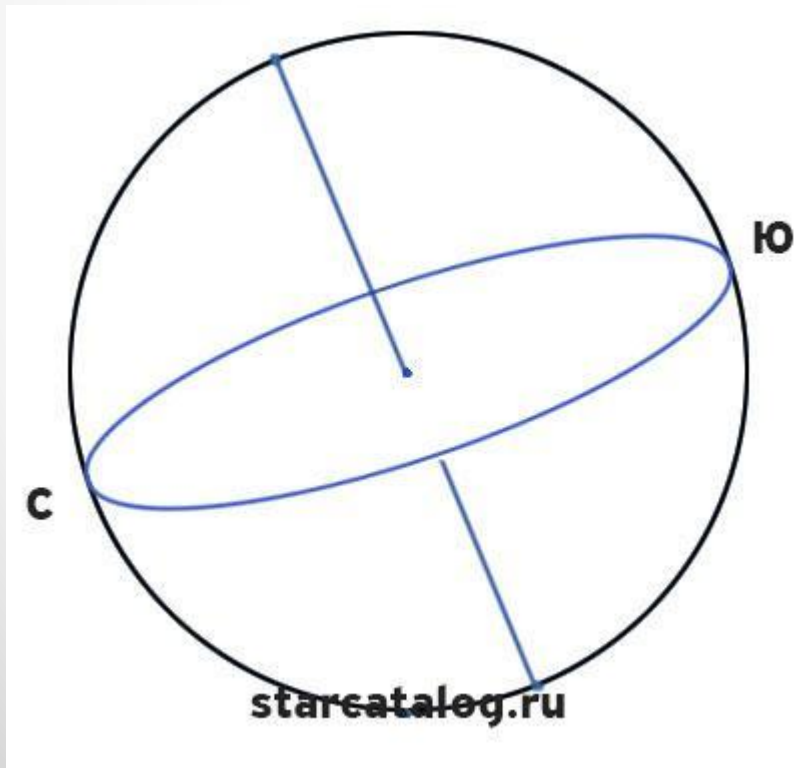


Точки севера и юга — точки пересечения небесного меридиана с истинным горизонтом. Точка, ближайшая к Северному полюсу мира, называется точкой севера истинного горизонта С, а точка, ближайшая к Южному полюсу мира, — точкой юга Ю. Точки востока и запада — точки пересечения небесного экватора с истинным горизонтом.

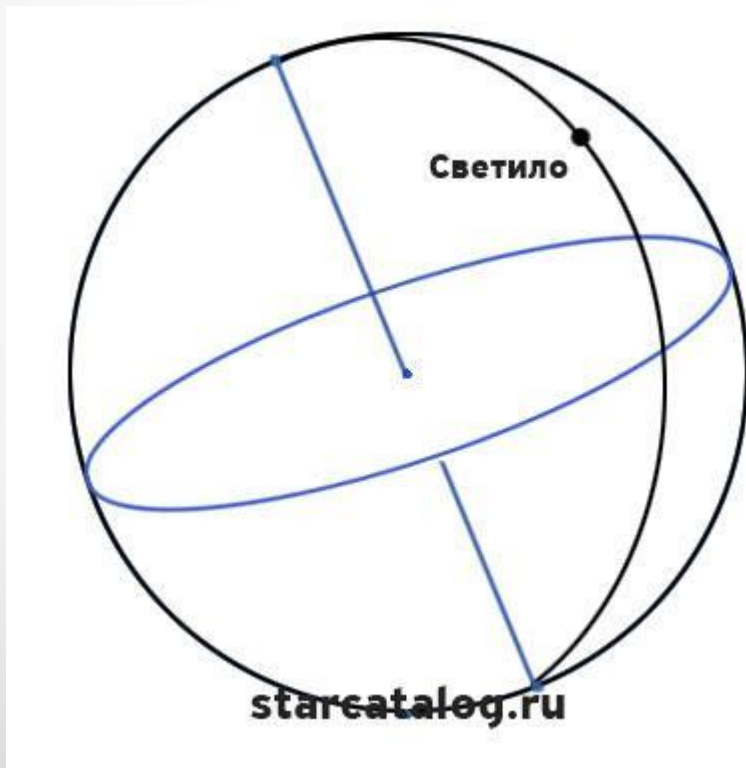


Полуденная линия — прямая линия в плоскости истинного горизонта, соединяющая точки севера и юга. Полуденной называется эта линия потому, что в полдень по местному истинному солнечному времени тень от вертикального шеста совпадает с этой линией, т. е. с истинным меридианом данной точки.

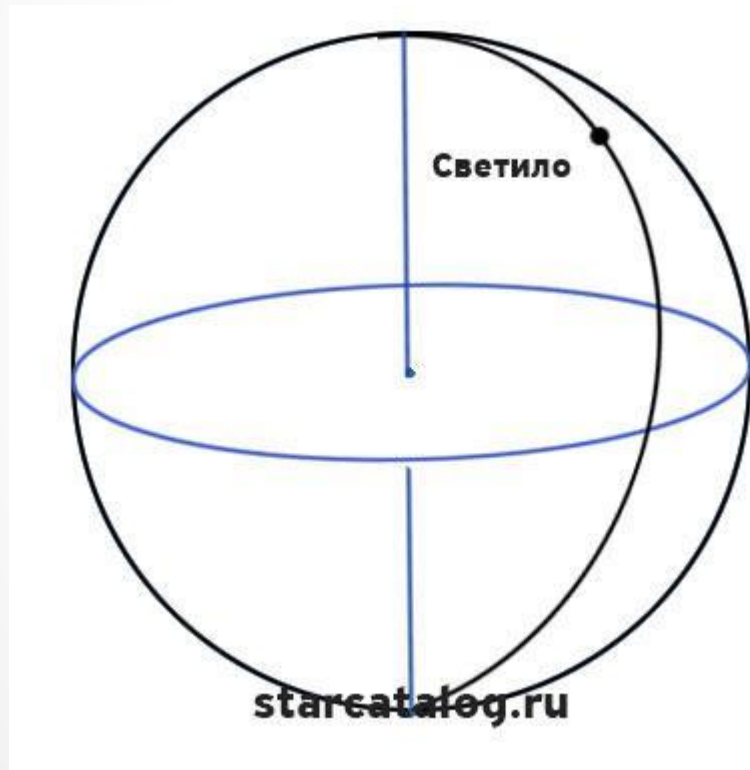
Южная и северная точки небесного экватора — точки пересечения небесного меридиана с небесным экватором. Точка, ближайшая к южной точке горизонта, называется *точкой юга небесного экватора*, а точка, ближайшая к северной точке горизонта, — *точкой севера небесного экватора*.



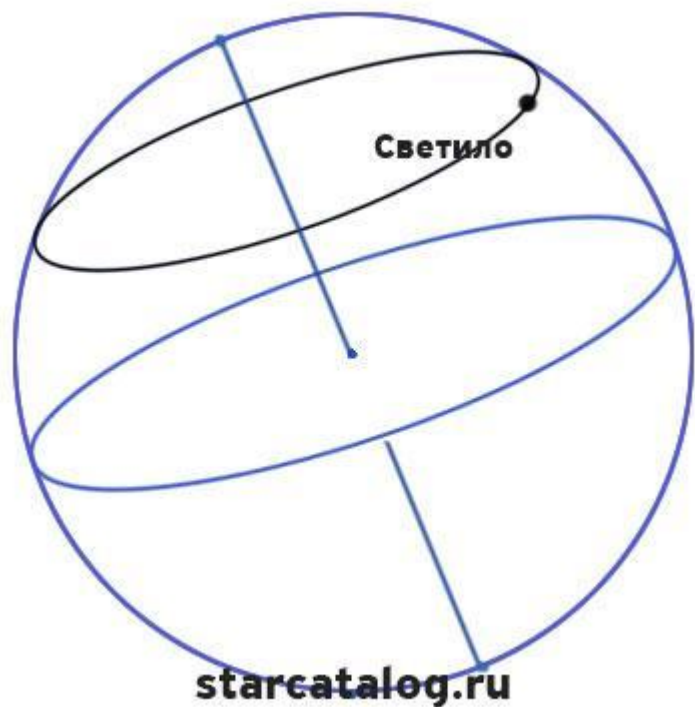
Вертикал светила или круг высоты — большой круг на небесной сфере, проходящий через зенит, надир и светило. Первый вертикал — вертикал, проходящий через точки востока и запада.



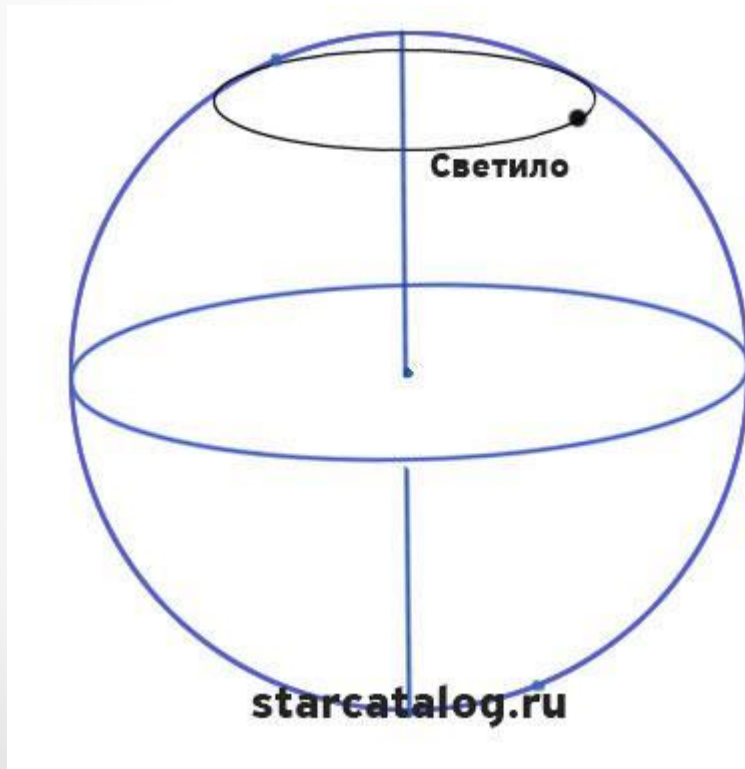
Круг склонения или часовой круг светила — большой круг на небесной сфере, проходящий через полюсы мира и светило.



Суточная параллель светила — малый круг на небесной сфере, проведенный через светило параллельно плоскости небесного экватора. Видимое суточное движение светил происходит по суточным параллелям.



Альмукуантарат светила — малый круг на небесной сфере, проведенный через светило параллельно плоскости истинного горизонта.



СИСТЕМА НЕБЕСНЫХ КООРДИНАТ

Все отмеченные выше элементы небесной сферы активно используются для решения практических задач ориентирования в пространстве и определения положения светил.

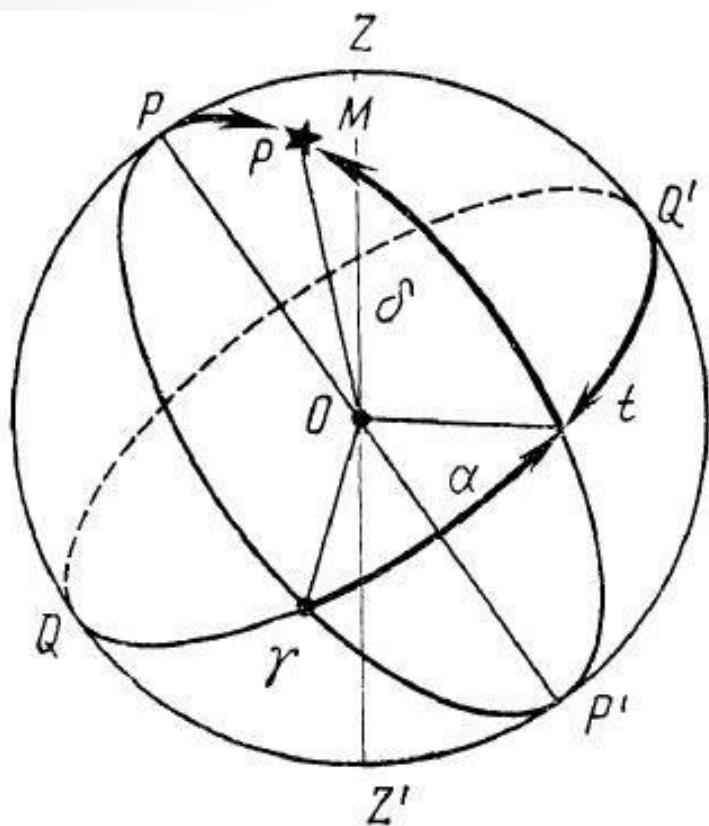
В зависимости от целей и условий измерения применяют две отличающиеся системы **сферических небесных координат**.

В одной системе светило ориентируют относительно истинного горизонта и называют эту систему *горизонтальной системой координат*, а в другой — относительно небесного экватора и называют *экваториальной системой координат*.

В каждой из этих систем положение светила на небесной сфере определяется двумя угловыми величинами подобно тому, как при помощи широты и долготы определяется положение точек на поверхности Земли.

Экваториальная система небесных координат

Основной плоскостью является плоскость небесного экватора, а полюсами являются полюсы мира. Положение светила в этой системе координат определяется склонением и часовым углом светила.



Склонением светила δ называется угол, заключенный между плоскостью небесного экватора и направлением на светило из центра небесной сферы. Склонение светила измеряется от 0 до $\pm 90^\circ$. Положительное склонение отсчитывается в направлении к Северному полюсу мира, а отрицательное — к Южному.

Часовым углом светила t называется двугранный угол в плоскости небесного экватора, заключенный между плоскостью небесного меридиана и плоскостью круга склонения светила.

Часовой угол отсчитывается от южного направления небесного меридиана по ходу часовой стрелки (к западу) до круга склонения светила от 0 до 360° .

Важно знать, что отсчет часового угла светила ведется в направлении суточного вращения небесной сферы.

Прямым восхождением светила α называется угол, заключенный между плоскостью круга склонения точки весеннего равноденствия (начального круга склонения) и плоскостью круга склонения светила.

Точкой весеннего равноденствия называется точка пересечения плоскости небесного экватора центром Солнца (21 марта) при его видимом годовом движении по небесной сфере. Эту точку принято обозначать символом созвездия Овен, в котором она находилась в эпоху зарождения астрономии.

Прямое восхождение светила отсчитывается в плоскости небесного экватора от точки весеннего равноденствия против хода часовой стрелки (к востоку) до круга склонения светила от 0 до 360° . Прямое восхождение светила и его часовой угол можно измерять не только углом, но и дугой небесного экватора, а склонение и полярное расстояние светила — дугой круга склонения.

В астрономии экваториальная система небесных координат дополнительно подразделяется на две системы.

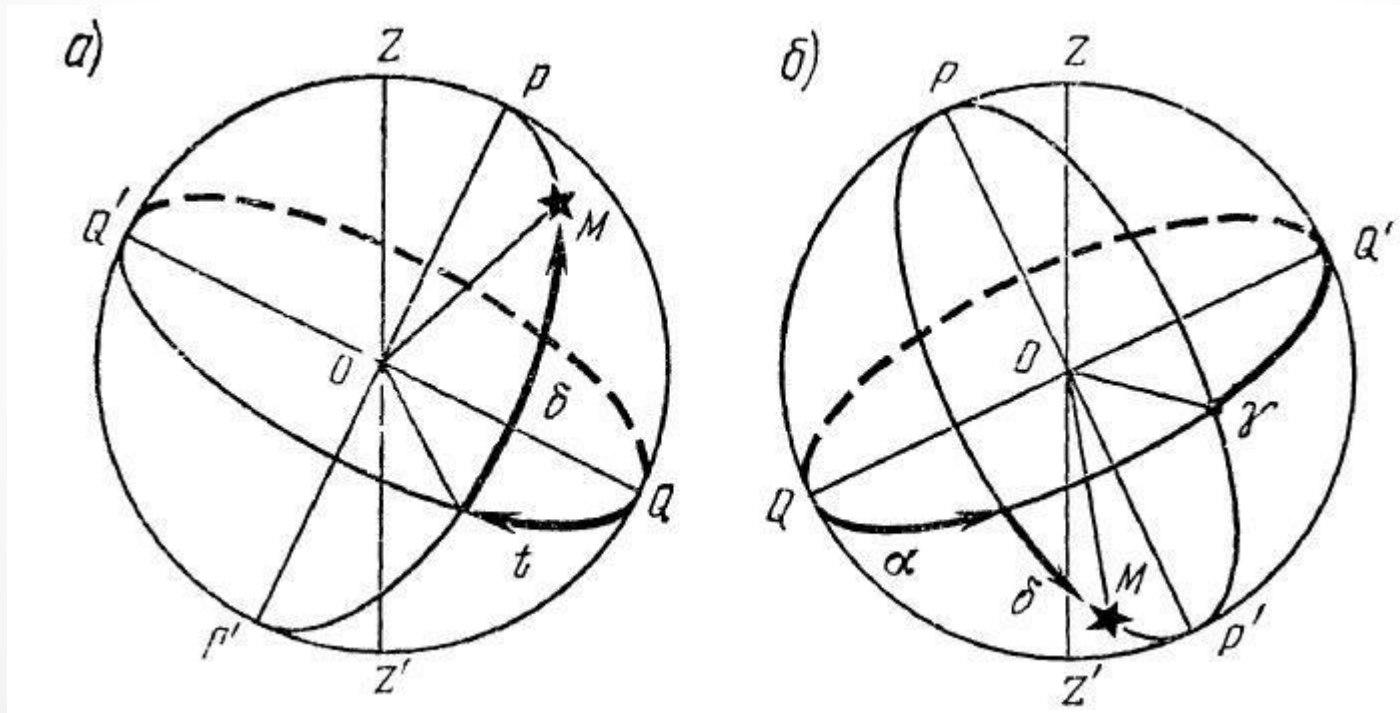
В первой экваториальной системе положение светила на небесной сфере **определяется склонением и часовым углом**, а во второй — **прямым восхождением и склонением светила**.

Первая экваториальная система берется в основу при разработке и создании астрономических компасов, а также при составлении расчетных таблиц. Вторую экваториальную систему используют для составления звездных карт и таблиц экваториальных координат звезд.

Экваториальная система небесных координат является более практичной по сравнению с горизонтальной. Основным ее достоинством является то, что экваториальные координаты светил не зависят от места наблюдателя на земной поверхности, за исключением местного часового угла. Часовой угол светила зависит не только от долготы места наблюдателя, но и от времени наблюдения. Он непрерывно изменяется пропорционально времени, и это позволяет учитывать в астрокомпасах при помощи часового механизма его изменение за счет вращения Земли.

Пример 1. Западный часовой угол светила $t_3 = 230^\circ$; склонение светила $\delta = +60^\circ$.

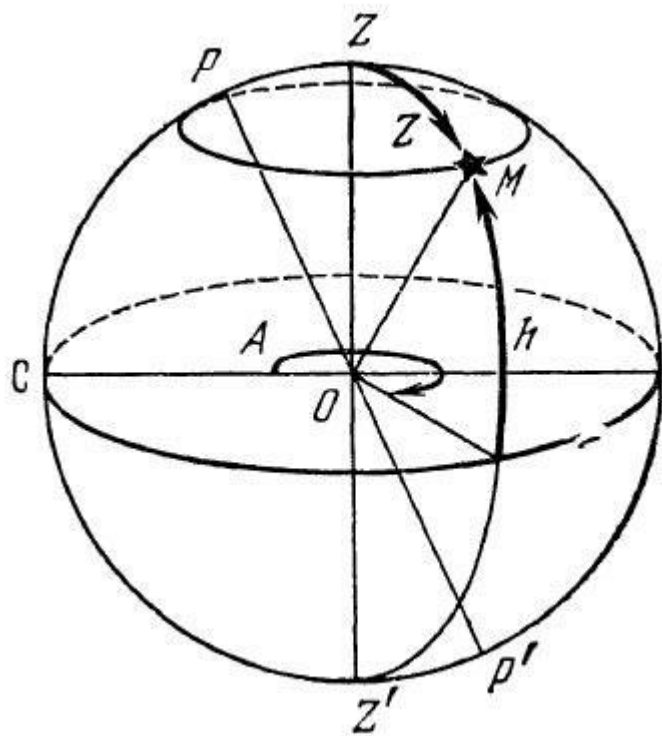
Пример 2. Прямое восхождение светила $\alpha = 300^\circ$; склонение светила $\delta = -60^\circ$.



Горизонтальная система небесных координат

Основной плоскостью является плоскость истинного горизонта, а полюсами являются *зенит* и *надир* (самая верхняя и с самая нижняя точки) небесной сферы.

Положение светила в горизонтальной системе координат определяется азимутом и высотой светила.



Азимутом светила А называется двугранный угол в плоскости истинного горизонта, заключенный между плоскостью небесного меридиана и плоскостью вертикала светила. Азимут отсчитывается от северного направления небесного меридиана по ходу часовой стрелки от 0 до 360° . Светила, находящиеся на одном вертикале, имеют одинаковые азимуты.

Положение светила на вертикале определяется другой координатой — высотой.

Высотой светила h называется угол между плоскостью истинного горизонта и направлением на светило из центра небесной сферы. Высоту можно измерять также дугой вертикала от плоскости истинного горизонта до альмукантарата светила. Высота измеряется от 0 до $\pm 90^\circ$.

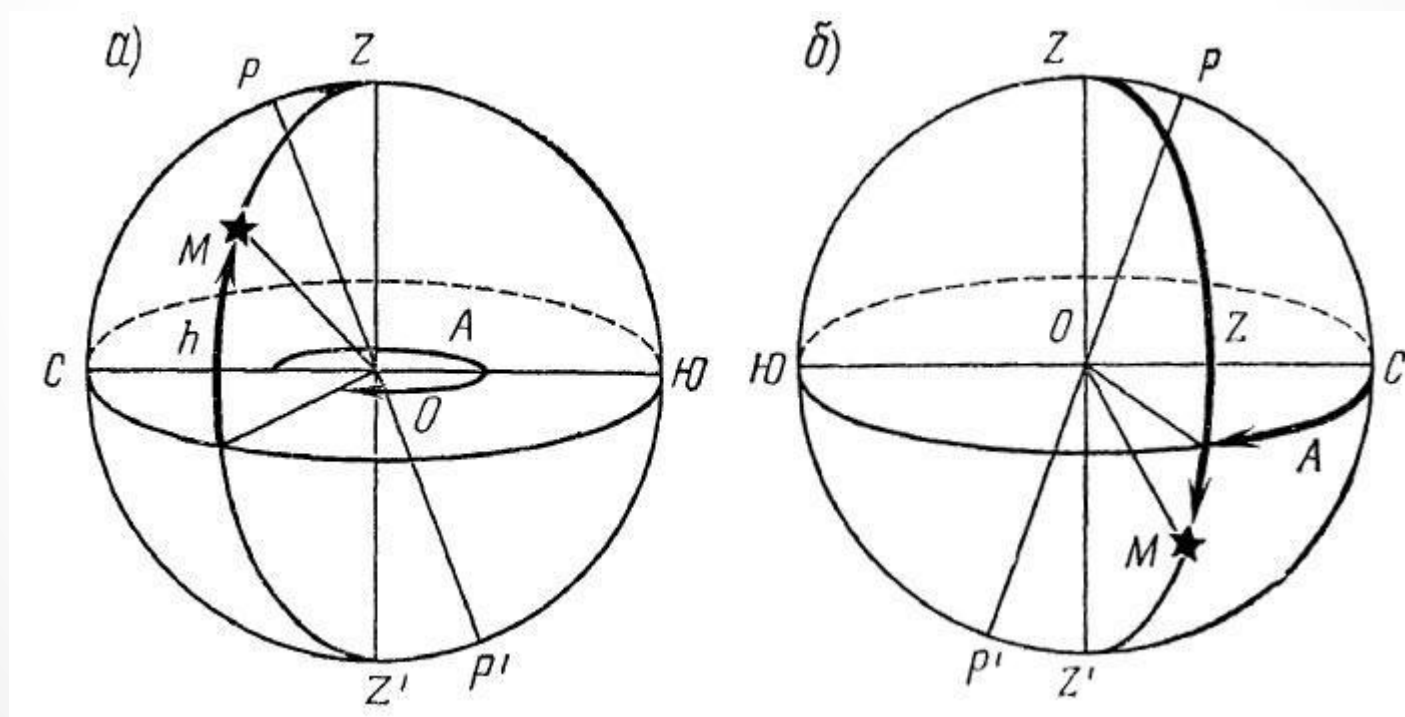
Положительные высоты светила отсчитываются к зениту, а отрицательные к надиру, т. е. светила, находящиеся над горизонтом, имеют положительную высоту, а находящиеся под горизонтом — отрицательную.

Горизонтальные координаты светил непрерывно и неравномерно изменяются вследствие суточного вращения Земли. Они изменяются также и с переменой места наблюдателя.

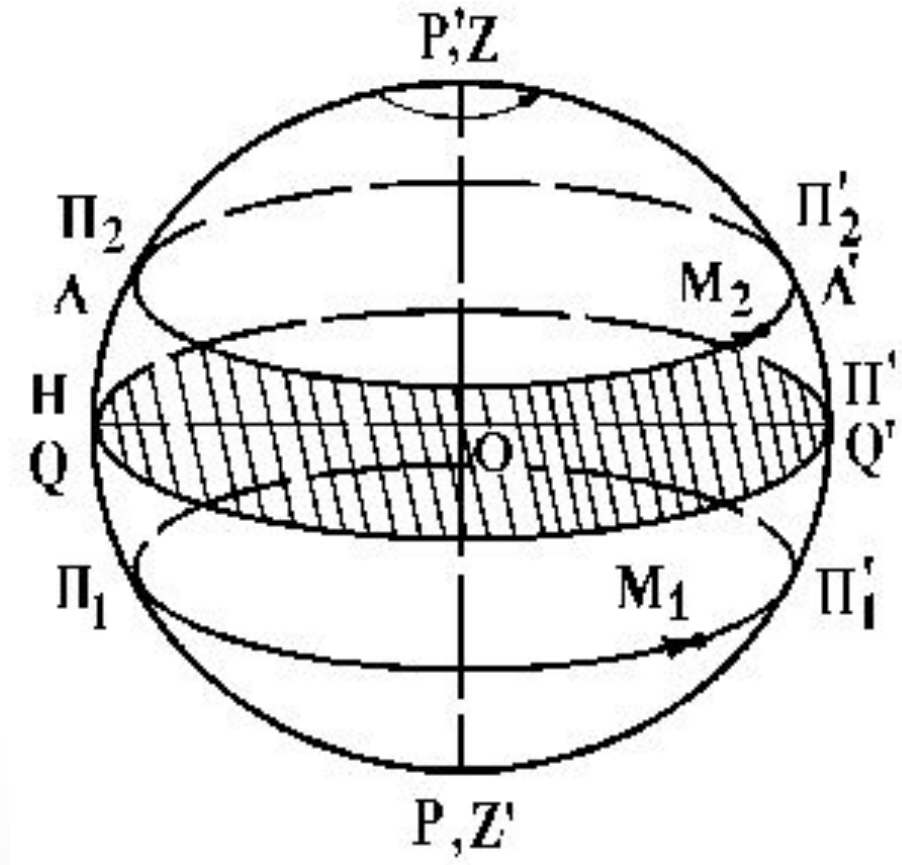
Однако горизонтальные координаты удобны тем, что их можно непосредственно измерить с помощью специальных приборов и по ним легко можно представить положение светила на небесной сфере.

Пример 1. Азимут светила $A = 300^\circ$; высота светила $h = +50^\circ$.

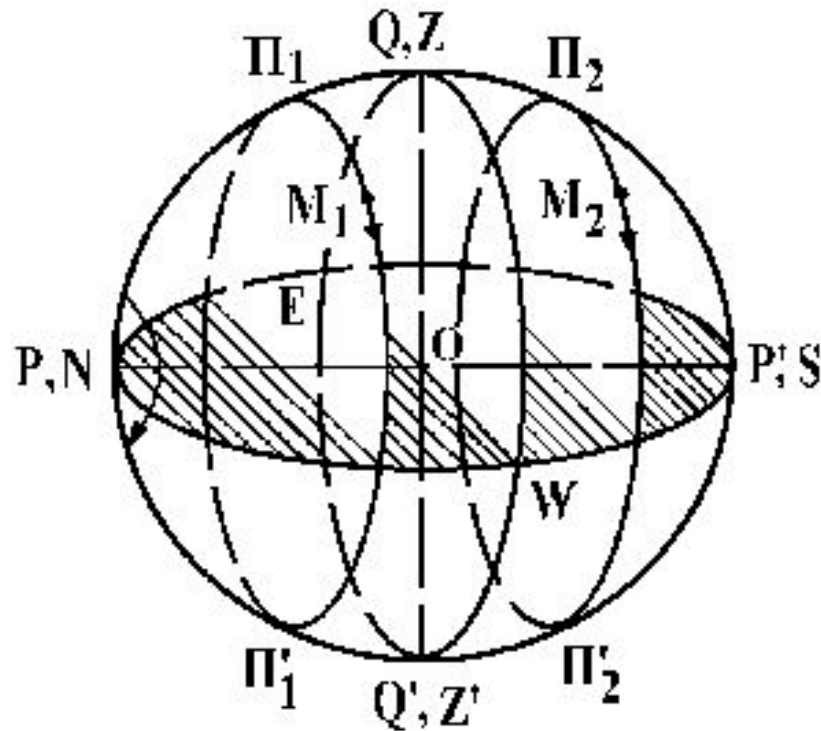
Пример 2. Азимут светила $A = 50^\circ$; зенитное расстояние светила $Z = 120^\circ$.



Суточное движение светил на географическом полюсе



Суточное движение светил на экваторе



Вследствие суточного вращения небесной сферы все светила описывают круги, плоскости которых параллельны плоскости небесного экватора, т.е. они движутся по суточным параллелям. Светило часть времени находится под плоскостью горизонта и не видно для наблюдателя.

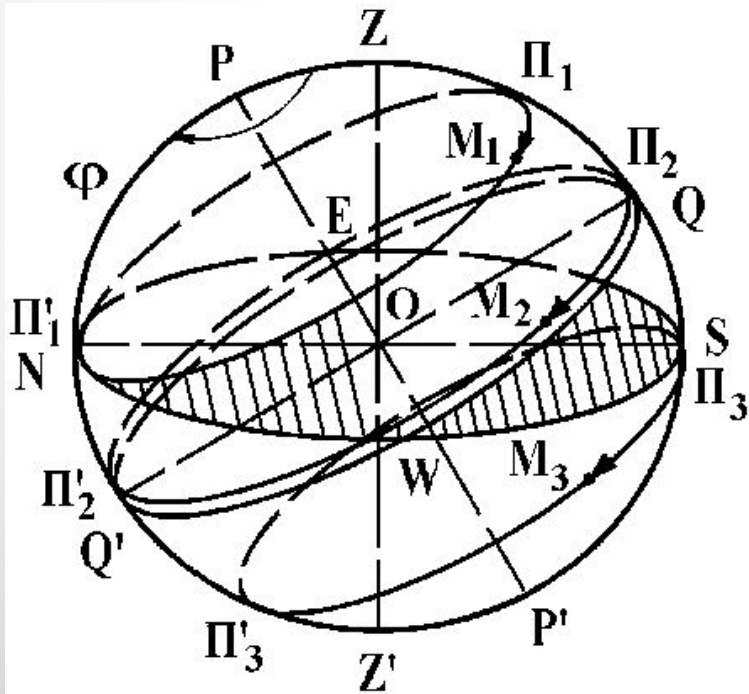
Точка пересечения суточной параллели светила и восточной части горизонта называется *точкой восхода светила*, а точка пересечения с западной частью горизонта *точкой захода светила*. Суточная параллель пересекает небесный меридиан в двух точках. Явление пересечения светил с небесным меридианом называется *кульминацией* светила. Кульминация называется *верхней*, если светило пересекает верхнюю часть меридиана, в которой находится точка зенита Z , и *нижней*, если светило пересекает небесный меридиан в его нижней части, содержащей точку надира Z' .

В том случае, когда нижняя кульминация происходит над горизонтом ($h > 0$), такое светило называется *незаходящим*, а если даже во время верхней кульминации светило находится под горизонтом ($h < 0$), то оно называется *невосходящим*.

Таким образом, все светила на небесной сфере разбиваются на три большие группы - незаходящие, невосходящие и светила, которые восходят и заходят. Принадлежность светила к той или иной группе определяется его склонением и широтой места наблюдения.

Незаходящие, восходящие и заходящие, невосходящие светила

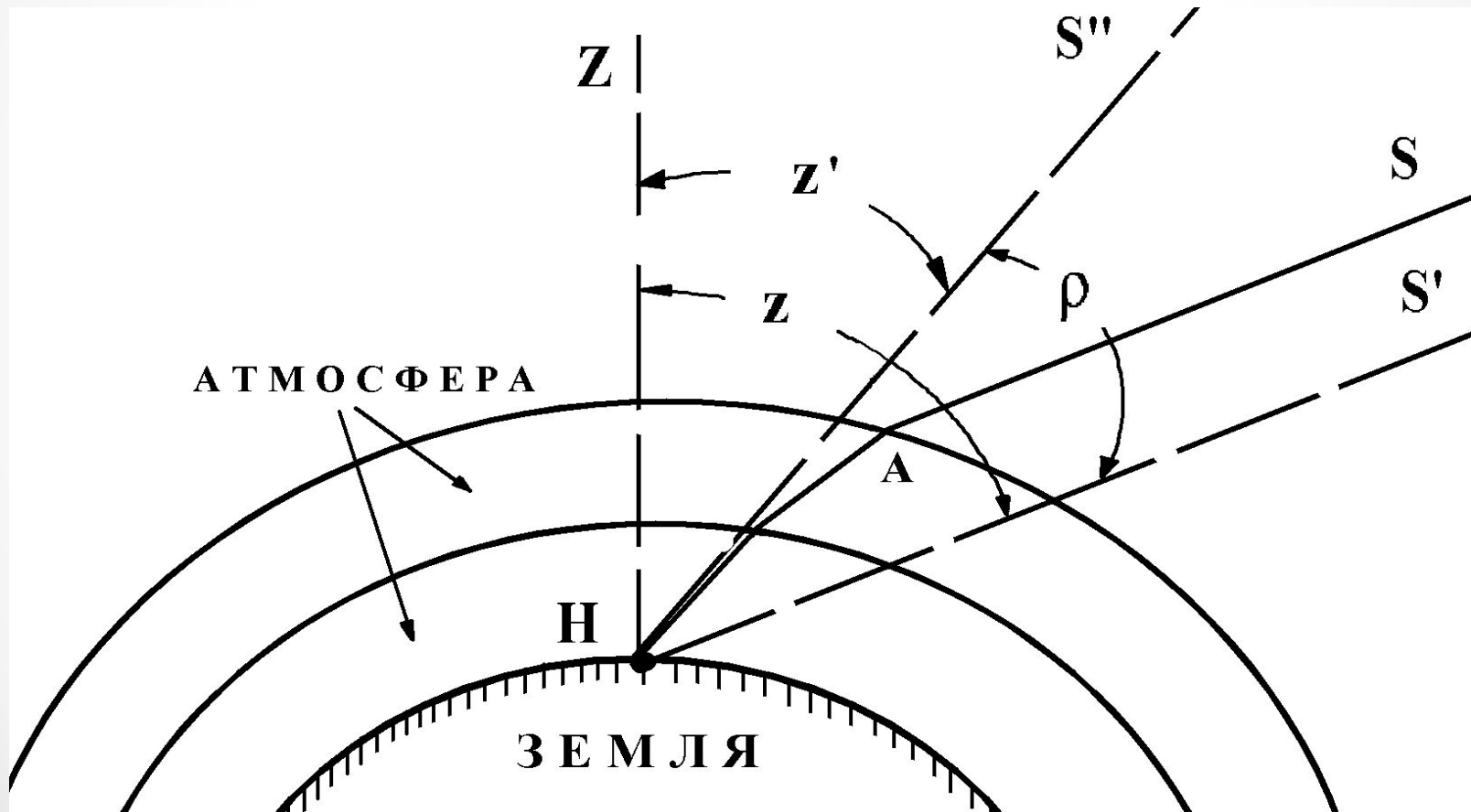
Светило называется незаходящим, если вся его суточная параллель расположена выше горизонта: тогда видны обе кульминации – такие звёзды расположены недалеко от северного полюса мира. Светило называется невосходящим, если вся его суточная параллель расположена ниже горизонта: такие звёзды находятся в южном полушарии и никогда не видны у нас.



Остальные часть суток над горизонтом, а часть - под горизонтом, это заходящие (восходящие).

Атмосферная рефракция

Это преломление в атмосфере световых лучей от небесных светил, и изменение, в связи с этим, их положения на небосводе.



Атмосферная рефракция

Фактическое положение Солнца ниже горизонта (жёлтый диск) и его видимое положение (оранжевый) во время восхода/захода.

Восход видимый и истинный отличаются примерно на 3 минуты. 1 минуту разницы даёт прохождение через горизонт половины солнечного диска (16' угловых минут), ещё 2 минуты 20 сек — рефракция (35' угловых минут)



Видимое годовое движение Солнца на небесной сфере

Истинное движение Земли

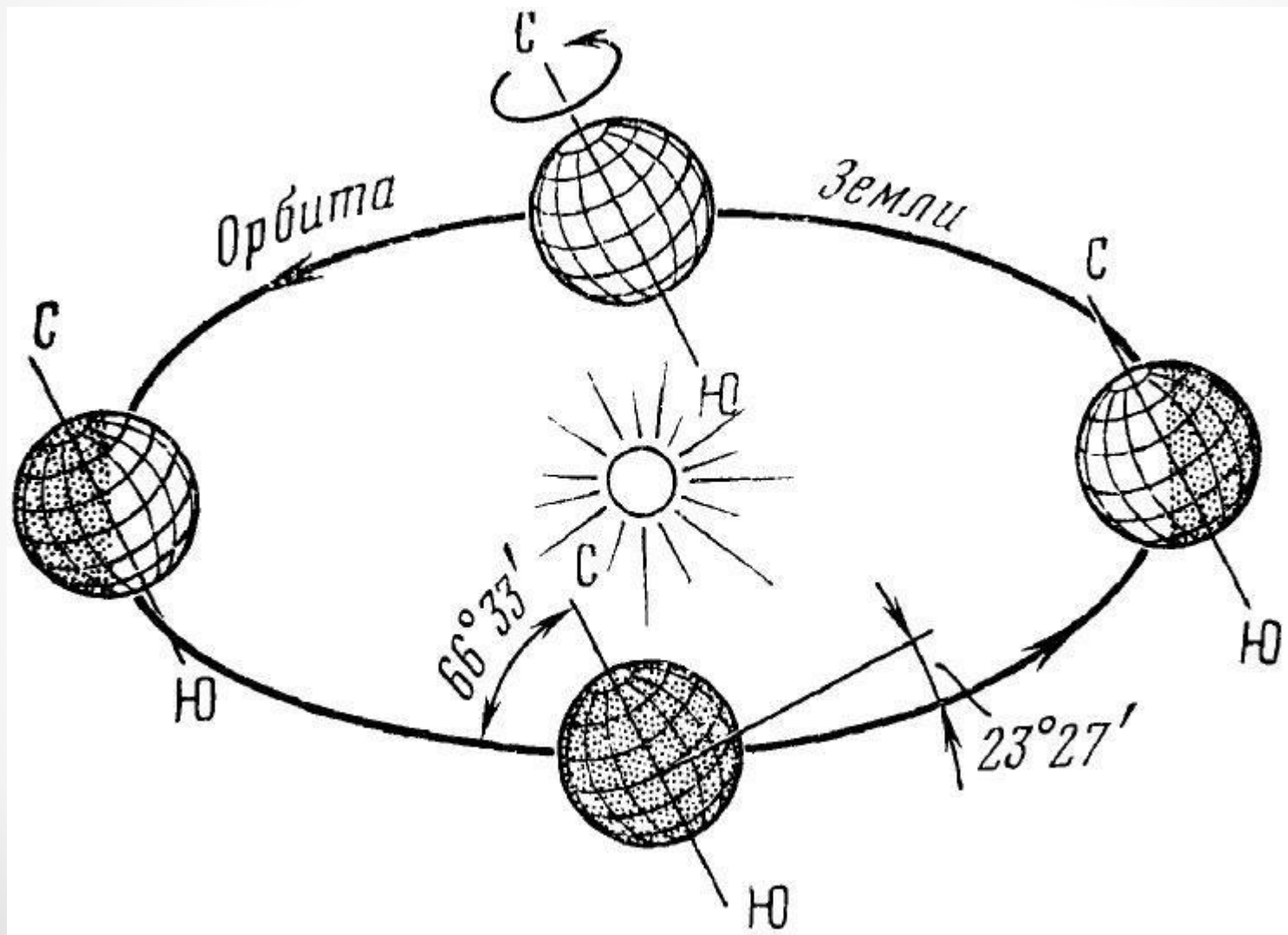
Земля является одной из планет солнечной системы. Она непрерывно вращается вокруг своей оси.

Период вращения ее равен одним суткам, поэтому наблюдателю, находящемуся на Земле, кажется, что все небесные светила обращаются вокруг Земли с востока на запад с тем же периодом.

Но Земля не только вращается вокруг своей оси, но и обращается также вокруг Солнца по эллиптической орбите. Полный оборот вокруг Солнца она совершает за один год.

Ось вращения Земли наклонена к плоскости орбиты под углом $66^{\circ}33'$. Положение оси в пространстве при движении Земли вокруг Солнца все время остается почти неизменным. Поэтому Северное и Южное полушария попеременно бывают обращены в сторону Солнца, в результате чего на Земле происходит смена времен года.

Наклон оси вращения Земли к плоскости орбиты



При наблюдении неба можно заметить, что звезды на протяжении многих лет неизменно сохраняют свое взаимное расположение.

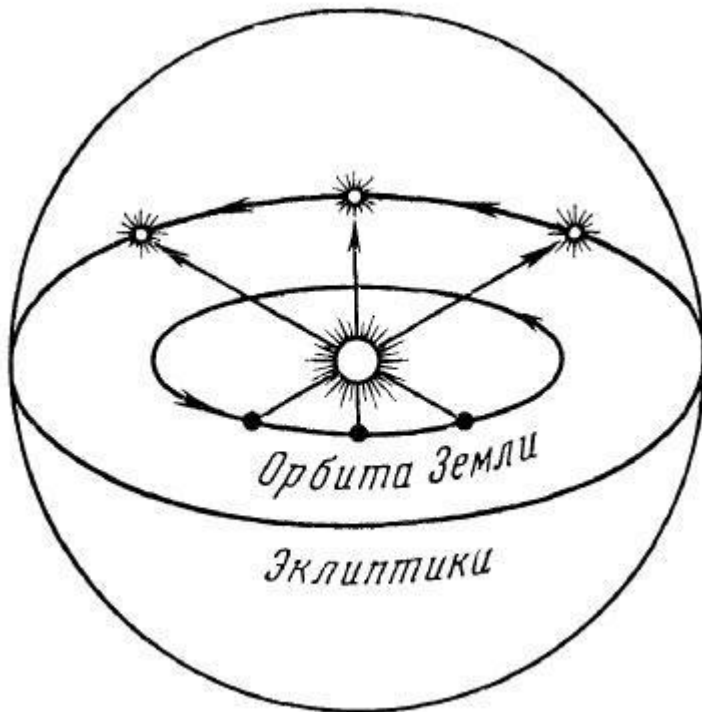
Звезды «неподвижны» лишь потому, что находятся очень далеко от нас. Расстояние до них так велико, что с любой точки земной орбиты они видны одинаково.

А вот тела же солнечной системы — Солнце, Луна и планеты, которые находятся сравнительно недалеко от Земли, и смену их положений мы можем легко заметить. Таким образом, Солнце наравне со всеми светилами участвует в суточном движении и одновременно имеет собственное видимое движение (оно называется годовым движением), обусловленное движением Земли вокруг Солнца.

Видимое годовое движение Солнца на небесной сфере

Из этого рисунка видно, что в зависимости от положения Земли на орбите наблюдатель с Земли будет видеть Солнце на фоне разных созвездий. Ему будет казаться, что оно все время перемещается по небесной сфере. Это движение является отражением обращения Земли вокруг Солнца. За год Солнце сделает полный оборот.

Большой круг на небесной сфере, по которому происходит видимое годовое движение Солнца, называется **эклиптикой**. Эклиптика — слово греческое и в переводе означает затмение. Этот круг назвали так потому, что затмения Солнца и Луны происходят только тогда, когда оба светила находятся на этом круге.



Плоскость эклиптики совпадает с плоскостью орбиты Земли.

Видимое годовое движение Солнца по эклиптике происходит в том же направлении, в котором Земля движется по орбите вокруг Солнца, т. е. оно перемещается к востоку. В течение года Солнце последовательно проходит по эклиптике 12 созвездий, которые образуют пояс Зодиака (зодиакальный пояс).

Пояс Зодиака образуют следующие созвездия: Рыбы, Овен, Телец, Близнецы, Рак, Лев, Дева, Весы, Скорпион, Стрелец, Козерог и Водолей.

Вследствие того, что плоскость земного экватора наклонена к плоскости орбиты Земли на $23^{\circ}27'$, *плоскость небесного экватора* также наклонена к плоскости эклиптики на угол $e=23^{\circ}27'$.

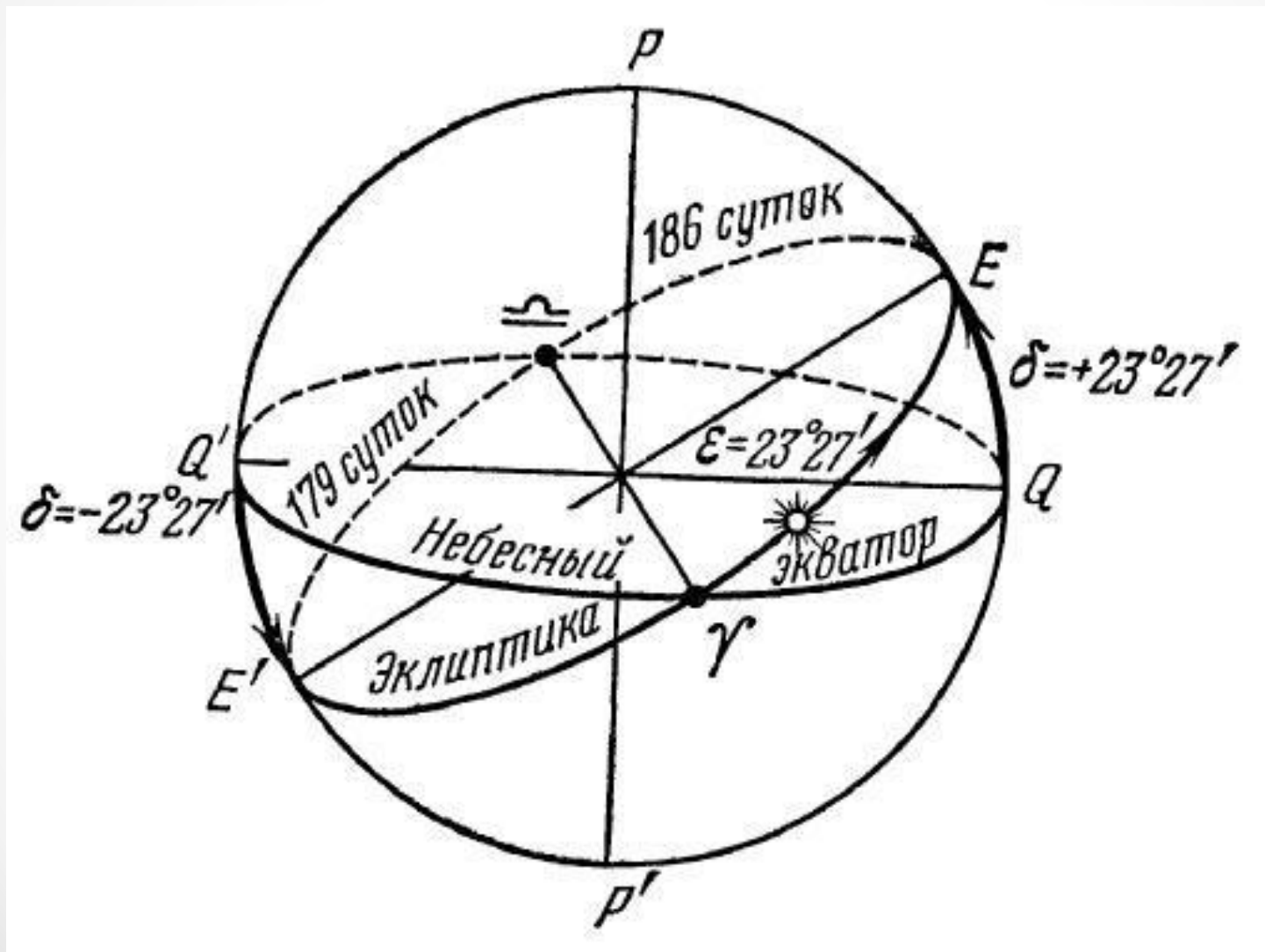
Наклон эклиптики к экватору не сохраняется постоянным (вследствие воздействия на Землю сил притяжения Солнца и Луны), поэтому в 1896 г. при утверждении астрономических постоянных решено было наклон эклиптики к экватору считать усреднено равным $23^{\circ}27'$.

Небесный экватор и плоскость эклиптики

Эклиптика пересекается с небесным экватором в двух точках, которые называются **точками весеннего и осеннего равноденствий**.

Точку весеннего равноденствия принято обозначать знаком созвездия Овен, а точку осеннего равноденствия — знаком созвездия Весов. Солнце в этих точках соответственно бывает 21 марта и 23 сентября. В эти дни на Земле день равен ночи, Солнце точно восходит в точке востока и заходит в точке запада.

*Точки весеннего и осеннего равноденствия —
места пересечения экватора и плоскости*



Точки эклиптики, отстоящие от точек равноденствий на 90° , называются **точками солнцестояний**. Точка E на эклиптике, в которой Солнце занимает самое высокое положение относительно небесного экватора, называется **точкой летнего солнцестояния**, а точка E', в которой оно занимает самое низкое положение, называется **точкой зимнего солнцестояния**.

В точке летнего солнцестояния Солнце бывает 22 июня, а в точке зимнего солнцестояния — 22 декабря. Когда Солнце находится в точке летнего солнцестояния день в Северном полушарии самый длинный, а ночь самая короткая, а когда оно находится в точке зимнего солнцестояния — наоборот.

В день летнего солнцестояния точки восхода и захода Солнца максимально удалены к северу от точек востока и запада на горизонте, а в день зимнего солнцестояния они имеют наибольшее удаление к югу.

Движение Солнца по эклиптике приводит к непрерывному изменению его экваториальных координат, ежедневному изменению полуденной высоты и перемещению по горизонту точек восхода и захода.

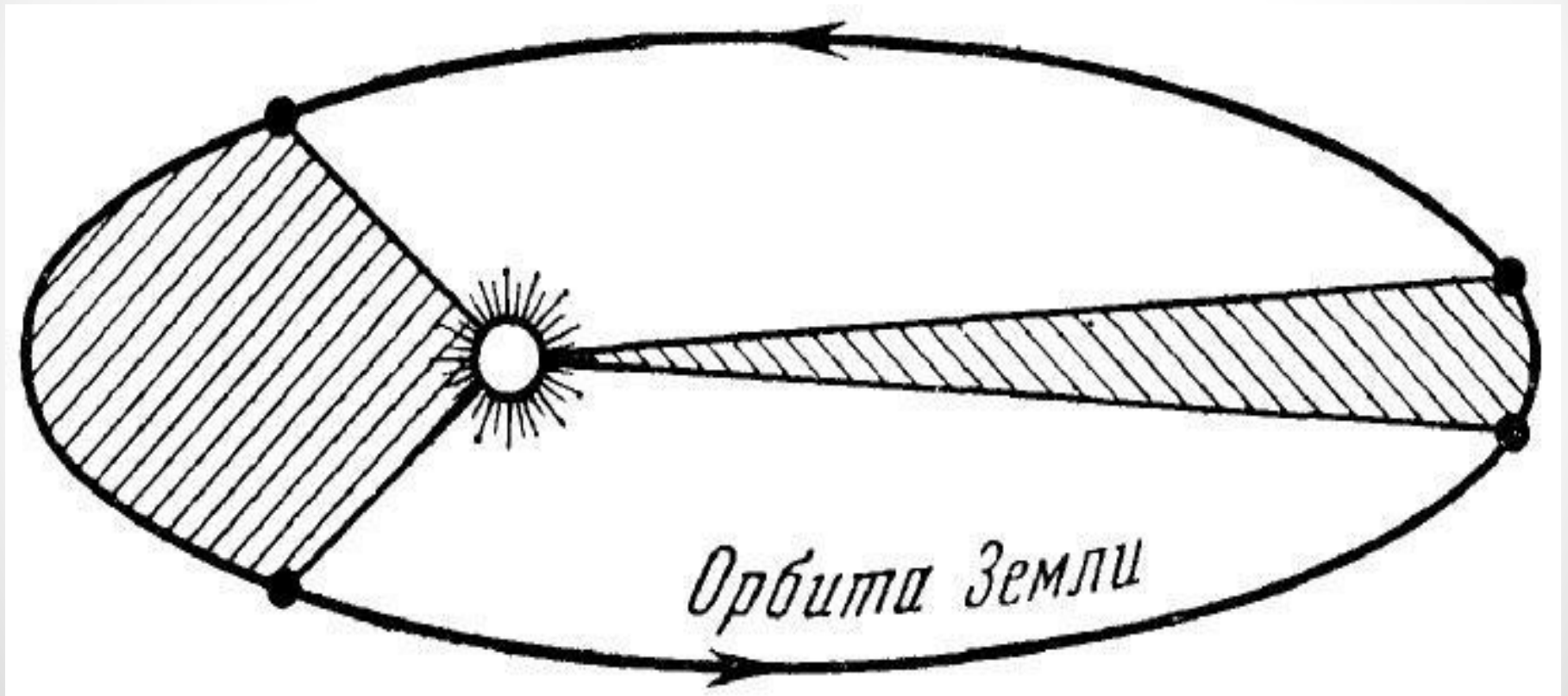
Известно, что склонение Солнца отсчитывается от плоскости небесного экватора, а прямое восхождение — от точки весеннего равноденствия. Поэтому когда Солнце находится в точке весеннего равноденствия, его склонение и прямое восхождение равны нулю. В течение года склонение Солнца в настоящий период изменяется от $+23^{\circ}26'$ до $-23^{\circ}26'$, переходя два раза в год через нуль, а прямое восхождение от 0 до 360° .

Экваториальные координаты Солнца в течение года

Экваториальные координаты Солнца в течение года изменяются неравномерно. Происходит это вследствие неравномерности движения Солнца по эклиптике и наклона эклиптики к экватору. Половину своего видимого годового пути Солнце проходит за 186 суток с 21 марта по 23 сентября, а вторую половину за 179 суток с 23 сентября по 21 марта.

Неравномерность движения Солнца по эклиптике связана с тем, что Земля на протяжении всего периода обращения вокруг Солнца движется по орбите не с одинаковой скоростью. Солнце находится в одном из фокусов эллиптической орбиты Земли.

Движение Земли по орбите



Из второго закона Кеплера известно, что линия, соединяющая Солнце и планету, за равные промежутки времени описывает равные площади. Согласно этому закону Земля, находясь ближе всего к Солнцу, т. е. в **перигелии**, движется быстрее, а находясь дальше всего от Солнца, т. е. в **афелии** — медленнее.

Ближе к Солнцу Земля бывает зимой, а летом — дальше. Поэтому в зимние дни она движется по орбите быстрее, чем в летние. Вследствие этого суточное изменение прямого восхождения Солнца в день зимнего солнцестояния равно $1^{\circ}07'$, тогда как в день летнего солнцестояния оно равно только $1^{\circ}02'$.

Различие скоростей движения Земли в каждой точке орбиты вызывает неравномерность изменения не только прямого восхождения, но и склонения Солнца. Однако за счет наклона эклиптики к экватору его изменение имеет другой характер. Наиболее быстро склонение Солнца изменяется вблизи точек равноденствия, а у точек солнцестояния оно почти не изменяется.

Знание характера изменения экваториальных координат Солнца позволяет производить приближенный расчет прямого восхождения и склонения Солнца.

Для выполнения такого расчета берут ближайшую дату с известными экваториальными координатами Солнца. Затем учитывают, что прямое восхождение Солнца за сутки изменяется в среднем на 1° , а склонение Солнца в течение месяца до и после прохождения точек равноденствия изменяется на $0,4^\circ$ в сутки; в течение месяца перед солнцестояниями и после них — на $0,1^\circ$ в сутки, а в течение промежуточных месяцев между указанными — на $0,3^\circ$.