

Астрономия - VI

14 декабря 2019

1 Что мы уже знаем

Земля равномерно вращается вокруг своей оси. Для наблюдателя в некоторой точке земного шара это выражается в вращении небесной сферы вокруг *оси мира*, и, как следствие, суточном движении Солнца и других небесных светил. Ось мира пересекает небесную сферу в двух точках - *северном и южном полюсах мира*. Если смотреть на небесную сферу изнутри, то в северном полушарии Земли её вращение происходит против часовой стрелки вокруг северного полюса мира (в южном полушарии - по часовой стрелке вокруг южного полюса мира). Для описания положения точек на небесной сфере на практике часто используется *горизонтальная система координат*. Она непосредственно связана с фиксированным местоположением наблюдателя на поверхности Земли. Координаты всех светил на небе в такой системе координат непрерывно изменяются.



Рис.1. Фотография звёздного неба с большой выдержкой

2 Высота полюса мира над горизонтом

Итак, полюс мира¹ является точкой на небесной сфере. В любой горизонтальной системе координат его азимут равен 180° , так как азимут считается от точки юга, а направление на полюс мира (в проекции на астрономический горизонт) совпадает с направлением на точку севера. Высота же полюса мира зависит от географической широты φ наблюдателя. Из рисунка видно, что высота полюса мира - это угол h_p между осью мира и полуденной линией NS (между точками севера и юга), которая лежит в плоскости астрономического горизонта. Нетрудно показать (попробуйте сделать это самостоятельно), что

$$h_p = \varphi.$$

Чем ближе наблюдатель находится к географическому полюсу, тем ближе к зениту находится полюс мира. Вид звёздного неба и видимые движения небесных светил на различных географических широтах различны.

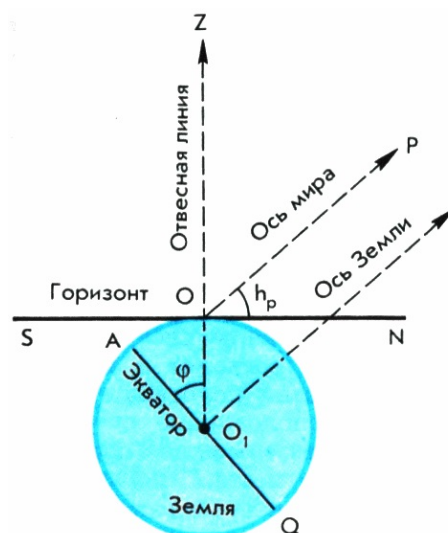


Рис.1. Проекция горизонтальной системы координат на плоскость небесного меридиана

¹Предполагается, что наблюдатель находится в северном полушарии Земли. Речь идёт о **северном** полюсе мира, но, после нетрудных преобразований, сказанное можно применить и к южному полюсу.

3 Движение небесных светил в умеренных² широтах

Рассмотрим некоторую горизонтальную систему координат. Все небесные светила при своём видимом суточном движении, вызванном осевым вращением Земли, перемещаются на небесной сфере по **суточным параллелям** - малым кругам небесной сферы, плоскость которых параллельна плоскости небесного экватора³ (см. Рис. 3), Как следствие, угол между плоскостью небесного экватора и направлением на светило остаётся постоянным. Этот угол, напомним, называется *склонением* и обозначается как δ . Неочевидный факт: в любой горизонтальной системе координат (кроме тех, в которых наблюдатель находится на полюсах Земли) небесный экватор пересекает астрономический горизонт как раз в точках востока и запада.

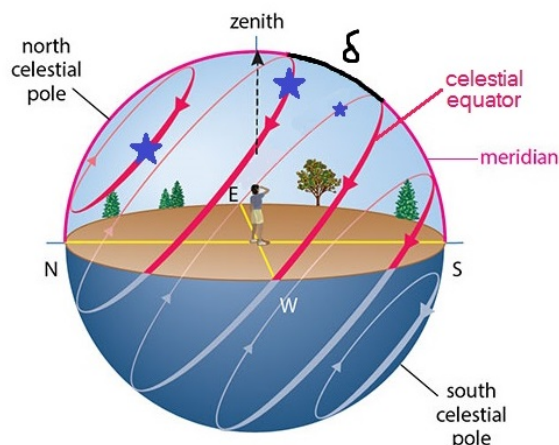


Рис.3. Видимое движение звёзд в умеренных широтах

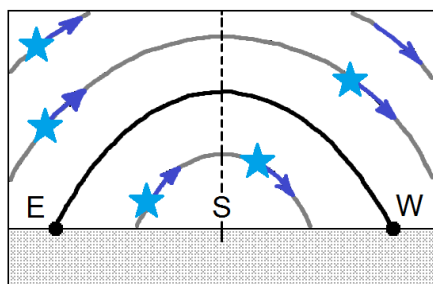


Рис.4. Серые линии - траектории звёзд; пунктирная линия - небесный меридиан; чёрная линия - небесный экватор.

Точка пересечения суточной параллели светила с восточной частью горизонта⁴ называется **точкой восхода**, а с западной частью - **точкой захода**. Момент пересечения светилом небесного меридиана⁵ называется **кульминацией**. В течение суток все светила⁶ дважды пересекают небесный меридиан, причём (видно из Рис. 3 и 4) в той точке пересечения, которая лежит ближе от северного полюса мира к точке юга S , высота светила (угол между горизонтом и направлением на него) максимальна - эта точка называется **верхней кульминацией**. Напротив, в точке, которая лежит ближе от северного полюса мира к точке севера N , высота светила минимальна - эта точка называется **нижней кульминацией**.

По характеру движения все небесные светила можно разделить на три группы. **Незаходящие** светила - такие, у которых и верхняя, и нижняя кульминации происходят над горизонтом, они не пересекают горизонт в своём видимом суточном движении и всегда находятся над ним. Те небесные светила, что в своём суточном движении пересекают горизонт, называют **восходящими и заходящими** - у них верхняя кульминация происходит над горизонтом, а нижняя - под ним. Наконец, существуют **невосходящие** светила - такие, у которых и верхняя, и нижняя кульминация происходят под горизонтом.

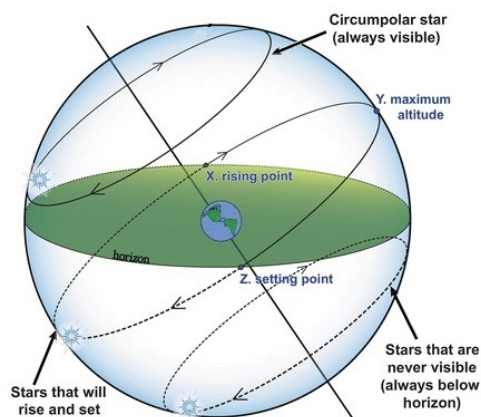


Рис.5. Три группы звёзд

²Достаточно далёких от полюсов и экватора.

³Соответственно, плоскости суточных параллелей перпендикулярны оси мира. Сетка экваториальной системы координат жёстко "прикреплена" к небесной сфере, и поэтому также вращается вместе с ней.

⁴Той, что лежит в сторону точки востока от полуденной линии.

⁵Или, что то же самое, точка пересечения суточной параллели светила и небесного меридиана.

⁶Если точнее, центр светила (это существенно для неточечных источников - например, Солнца).

4 Координаты небесных светил в кульминациях

Деление всех небесных светил на три вышеописанные группы зависит от географической широты φ наблюдателя и от склонения δ светила. В зависимости от значений этих величин математические выражения для максимальной высоты светила будут различны.

Сначала рассмотрим те из них, у которых склонение меньше широты наблюдателя ($\delta < \varphi$), и у которых, как следствие, верхняя кульминация происходит к югу от зенита. Координаты светила в кульминациях:

$$\text{в верхней: } h_{\max} = \delta + (90^\circ - \varphi), \quad A = 0^\circ,$$

$$\text{в нижней: } h_{\min} = \delta - (90^\circ - \varphi), \quad A = 180^\circ,$$

что видно из Рис. 6, на котором изображен вид с востока на плоскость небесного меридиана; напомним, что A - азимут, который отсчитывается от точки юга. У всех незаходящих звёзд $h_{\min} > 0$, у невосходящих - $h_{\max} < 0$. Это значит, что на заданной широте φ звезда не заходит, если для её склонения выполняется следующее условие: $\delta > 90^\circ - \varphi$; звезда не восходит, если $\delta < -(90^\circ - \varphi)$.

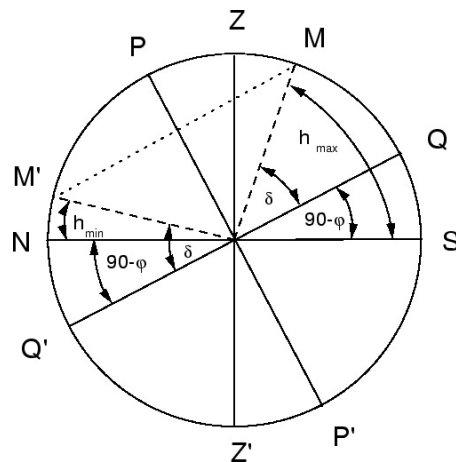


Рис.6. Высоты светил в кульминациях при $\delta < \varphi$

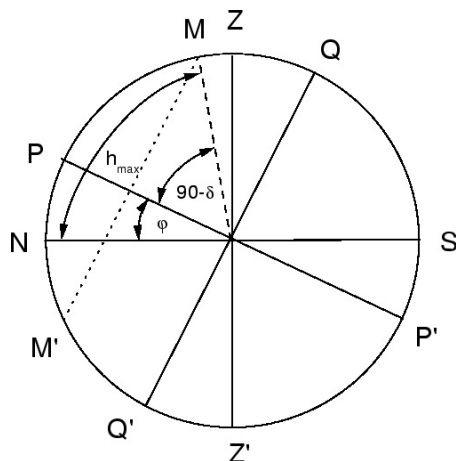


Рис.7. Высоты светил в кульминациях при $\delta > \varphi$

Обозначения на Рис. 6 и 7: ZZ' - отвесная линия, NS - полуденная линия, PP' - ось мира, QQ' - небесный экватор, M - верхняя кульминация, M' - нижняя кульминация. Если же выполняется условие $\delta > \varphi$, то верхняя кульминация происходит к северу от зенита и значения высот (видно из Рис. 7) равны:

$$h_{\max} = \varphi + (90^\circ - \delta), \quad A = 180^\circ,$$

$$h_{\max} = \varphi - (90^\circ - \delta), \quad A = 180^\circ.$$

Видно, что при $\delta = \varphi$ верхняя кульминация светила происходит точно в зените, а нижняя - точно в надире. **Уточнение:** в отличие от звёзд, у Солнца и планет склонение меняется в течение года из-за орбитального движения Земли.

5 Движение небесных светил на экваторе и полюсах

Немного иначе выглядит картина звёздного неба на географических полюсах ($\varphi = \pm 90^\circ$). На северном географическом полюсе северный полюс мира совпадает с зенитом, а небесный экватор - с горизонтом. Это значит, что все светила в этой точке будут двигаться параллельно горизонту против часовой стрелки, при этом звёзды *северного полушария неба* будут незаходящими, а *южного полушария неба* - невосходящими. На южном полюсе ситуация схожая с точностью до наоборот: южный географический полюс совпадает с зенитом, а звёзды вращаются по часовой стрелке.

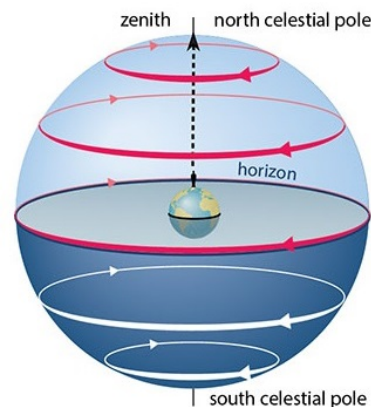


Рис.8. Движение небесных светил на северном полюсе

На земном экваторе ($\varphi = 0^\circ$) полюса мира совпадают с точками севера и юга (ось мира лежит в плоскости горизонта), а небесный экватор проходит через зенит, из-за чего суточные параллели всех звёзд лежат в плоскостях, перпендикулярных горизонту. Для наблюдателя на экваторе все светила являются восходящими и заходящими.

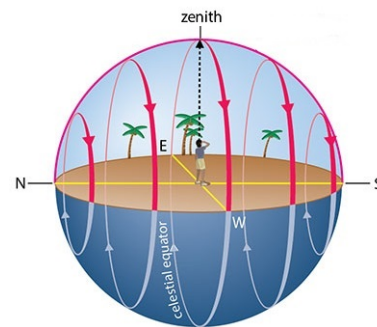


Рис.9. Движение небесных светил на экваторе

В южном полушарии Земли характер суточного движения небесных светил отличается от всего описанного выше только направлением вращения небесной сферы.

6 Первая экваториальная система координат

Для начала напомним, что прямое восхождение⁷ α , как правило, измеряется не в градусах (от 0° до 360°), а в часовой мере - от 0 часов (0^h) до 24 часов (24^h). Ранее была описана *вторая экваториальная система координат*, в которой положение светила на небе описывалось двумя углами: склонением δ и прямым восхождением α , которые являются практически постоянными (они очень медленно меняются из-за прецессии земной оси). Изменение положения небесных светил относительно горизонта было описано выше. А вот их положение относительно небесного меридиана удобно описывать такой величиной, как **часовой угол** t . Вместе с уже известным нам склонением δ часовой угол образует *первую экваториальную систему координат* (основной плоскостью в ней также является небесный экватор). Как и прямое восхождение, этот угол измеряется в часовой мере⁸.

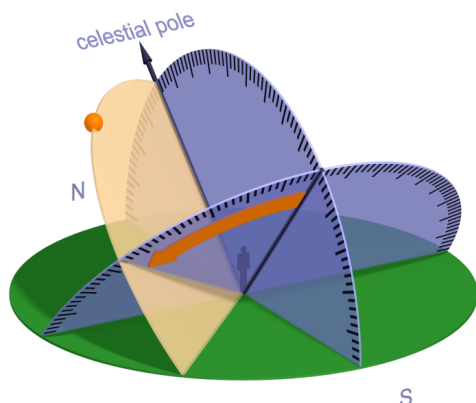


Рис.10. Первая экваториальная система координат, центр которой совмещён с центром горизонтальной; оранжевая стрелка - часовой угол

На рисунке слева изображена комбинация экваториальной и горизонтальной систем координат. Напомним, что **круг склонения** светила - это большой круг небесной сферы, проходящий через полюсы мира и данное светило (на рисунке обозначен жёлтым цветом); вдоль этого круга как раз и отсчитывается склонение δ . А вот **часовой угол** t светила - это дуга небесного экватора от верхней - максимально удалённой от горизонта - точки небесного экватора (или, что то же самое, точки пересечения небесного экватора с небесным меридианом; специального названия у неё нет) до круга склонения светила. Он отсчитывается от южной части небесного меридиана по часовой стрелке, если смотреть с северного полюса мира.

Из-за суточного вращения Земли часовой угол каждой точки на небе непрерывно меняется пропорционально времени, для измерения которого и была введена эта величина. Например, когда точка весеннего равноденствия⁹ находится в верхней кульминации, её часовой угол равен 0^h ; в нижней кульминации - 12^h ; когда она заходит (это происходит в точке запада W , так как она лежит на небесном экваторе), её часовой угол равен 6^h , а когда восходит (в точке востока E) - 18^h .

⁷ Дуга небесного экватора от точки весеннего равноденствия до круга склонения светила, отсчитывается вдоль небесного экватора против часовой стрелки, если смотреть с северного полюса мира.

⁸ Что и породило его название.

⁹ Которая, как и другие небесные светила, движется по небу из-за вращения небесной сферы.