

# Астрономия - III

## 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 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.

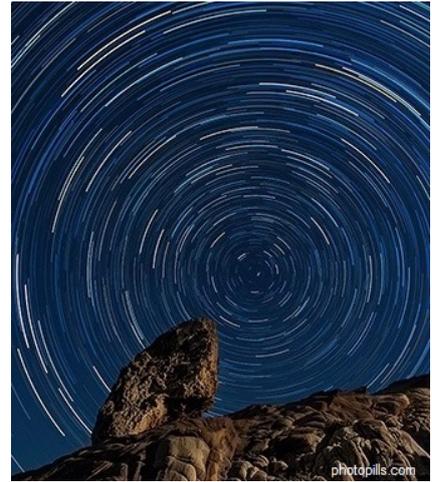


Рис.1. Фотография звёздного неба с большой выдержкой

## 2 Высота полюса мира над горизонтом

Полюс мира<sup>1</sup> является точкой на небесной сфере. В любой горизонтальной системе координат его азимут равен  $180^\circ$ , 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  $\varphi$  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. Это приводит к тому, что вид звёздного неба и видимые движения небесных светил (звёзд, Солнца, Луны и т.д.) на различных географических широтах различны.

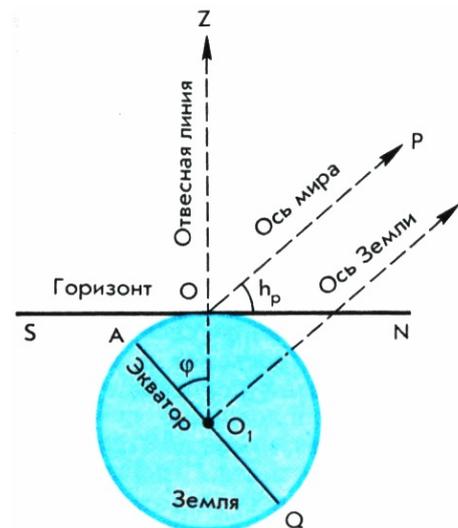


Рис. 2. Проекция горизонтальной системы координат на плоскость небесного меридиана

<sup>1</sup>Предполагается, 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 умеренных широтах

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 экватора<sup>2</sup> (см. Рис. 3), Как следствие, угол между плоскостью небесного экватора и направлением на светило остаётся постоянным. Этот угол, напомним, называется *склонением* и обозначается как  $\delta$ . 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. На Рис. 4 изображён вид звёздного неба, который видит наблюдатель с Рис. 3.

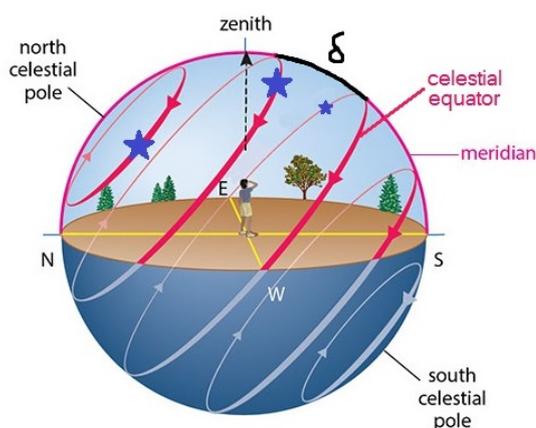


Рис. 3. Видимое движение звёзд в широтах, достаточно далёких от полюсов и экватора.

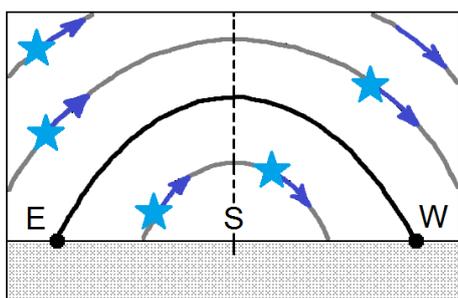


Рис. 4. Серые линии - траектории звёзд; пунктирная линия - небесный меридиан; чёрная линия - небесный экватор.

Точка пересечения суточной параллели светила с восточной частью горизонта<sup>3</sup> называется **точкой восхода**, а с западной частью - **точкой захода**. Момент пересечения светилом небесного меридиана<sup>4</sup> называется **кульминацией**. В течение суток все светила<sup>5</sup> 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.

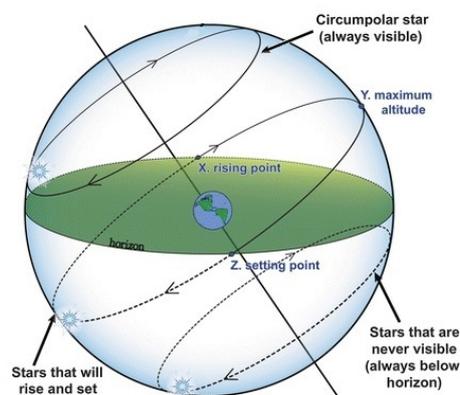


Рис. 5. Три группы звёзд

<sup>2</sup>Соответственно, плоскости суточных параллелей перпендикулярны оси мира. Сетка экваториальной системы координат жёстко "прикреплена" к небесной сфере, и поэтому также вращается вместе с ней.

<sup>3</sup>Той, что лежит в сторону точки востока от полуденной линии.

<sup>4</sup>Или, что то же самое, точка пересечения суточной параллели светила и небесного меридиана.

<sup>5</sup>Если точнее, центр светила (это существенно для неточечных источников - например, Солнца).

Деление всех небесных светил на три вышеописанные группы зависит от географической широты  $\varphi$  наблюдателя и от склонения  $\delta$  светила. В зависимости от этих величин математические выражения для значения высоты светила в кульминациях будут различны.

## 4 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.

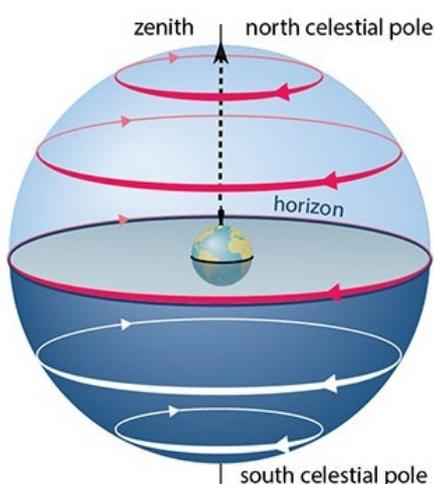


Рис. 6. Движение небесных светил на северном полюсе

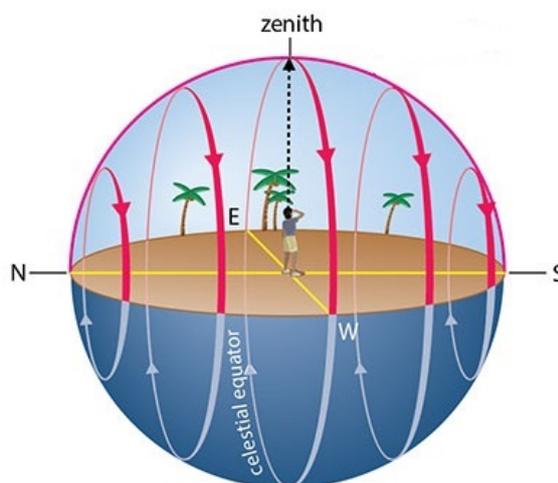


Рис. 7. Движение небесных светил на экваторе

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.

## 5 Расстояние до видимого горизонта

Видимый горизонт состоит из точек, в которых луч зрения наблюдателя касается земной поверхности. Найдём расстояние  $d$  до него. Пусть наблюдатель находится на высоте  $h$  над поверхностью земли, а радиус Земли  $R \approx 6370$  км.

$$(R + h)^2 = d^2 + R^2 \Rightarrow 2Rh + h^2 = d^2 \Rightarrow d \approx \sqrt{2Rh}$$

(мы пренебрегли слагаемым  $h^2$  ввиду малости отношения  $h/R$ ). Подставляя радиус Земли, получаем, что  $d \approx 3.57\sqrt{h}$ , где  $d$  - в километрах, а  $h$  - в метрах. Таким образом, расстояние до горизонта с высоты человеческого роста ( $h \approx 1.75$  м) равно примерно 4.6 км; с высоты полёта пассажирского самолёта ( $h \approx 10000$  м) расстояние до видимого горизонта составляет около 350 км.

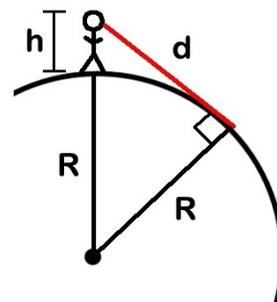


Рис. 8. Расстояние до видимого горизонта