

# Астрономия

## 5 декабря 2019

### 1 Расстояние до видимого горизонта

Астрономический (истинный, математический) горизонт не совпадает с видимым горизонтом, который состоит из точек, в которых луч зрения наблюдателя касается земной поверхности. Напомним, что плоскость астрономического горизонта располагается над земной поверхностью перпендикулярно отвесной линии, так что он всегда "приподнят" над видимым горизонтом. Найдём расстояние  $d$  до него. Пусть наблюдатель находится на высоте  $h$  над поверхностью земли, а радиус Земли  $R \approx 6370$  км.

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

(здесь 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  $d \approx 4.6$  км.

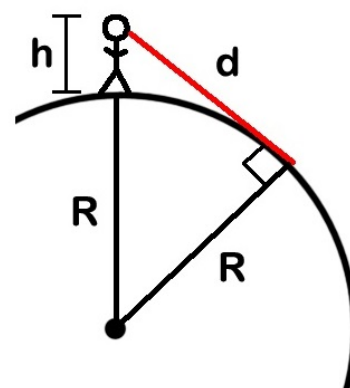


Рис.1. Расстояние до видимого горизонта

### 2 Первая экваториальная система координат

Для начала напомним, что прямое восхождение  $\alpha^1$ , как правило, измеряется не в градусах (от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ ), а в часовой мере – от 0 часов ( $0^h$ ) до 24 часов ( $24^h$ )<sup>2</sup>. Следовательно, каждый час как *мера угла* равен 15 градусам ( $1^h = 15^\circ$ ), а 1 градус равен 4 минутам времени ( $1^m = 4^\circ$ ). Проясним удобство такого обозначения позже. Ранее была описана *вторая экваториальная система координат*, в которой положение светила на небе описывалось двумя углами: склонением  $\delta$  и прямым восхождением  $\alpha$ , которые являются практически постоянными (следует помнить, что они очень медленно меняются из-за прецессии земной оси). Также была упомянута *первая экваториальная система координат*, в которой одной координатой является склонение  $\delta$ , а второй - часовой угол  $t$ . Вспомним, что вращение Земли вокруг своей оси порождает видимое суточное движение небесных светил, изменение положения которых относительно горизонта было описано ранее. А вот их положение относительно небесного меридиана как раз удобно описывать часовым углом  $t$ .

<sup>1</sup>Дуга небесного экватора от точки весеннего равноденствия до круга склонения светила, отсчитывается вдоль небесного экватора против часовой стрелки, если смотреть с северного полюса мира.

<sup>2</sup>В записи координаты часы, минуты и секунды часовой меры угла обозначаются как верхние индексы  $h$ ,  $m$  и  $s$ . Например:  $\alpha = 15^h 57^m 11^s$ . Иногда используются индексы на русском языке: "ч", "м" и "с".

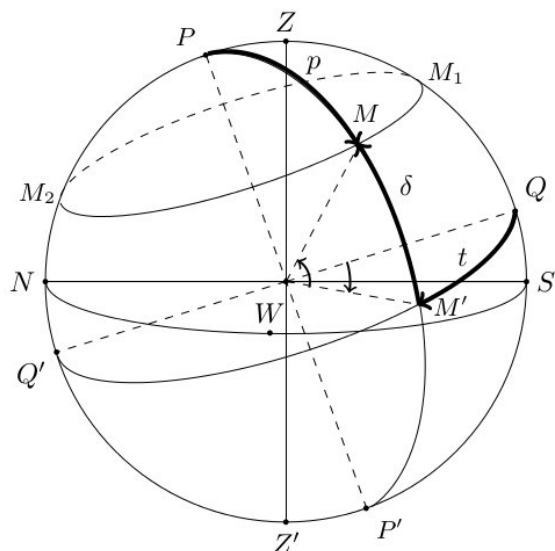


Рис.2. Первая экваториальная система координат, центр которой совмещён с центром горизонтальной ( $PP'$  - ось мира,  $QM'Q'$  - небесный экватор,  $ZZ'$  - отвесная линия,  $NS$  - полуденная линия,  $M_1MM_2$  - суточная параллель)

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 (иногда его ещё называют часовым кругом); вдоль этого круга как раз и отсчитывается склонение  $\delta$ . А вот **часовой угол**  $t$  светила - это дуга небесного экватора от верхней<sup>3</sup> точки небесного экватора (или, что то же самое, точки пересечения небесного экватора с небесным меридианом, которая на рисунке обозначена как  $Q$ , специального названия не имеет) до круга склонения светила. Он отсчитывается от южной части небесного меридиана по часовой стрелке, если смотреть с северного полюса мира. Как и прямое восхождение, этот угол измеряется в часовой мере (что и породило его название). Из-за суточного вращения Земли часовой угол каждой точки на небе непрерывно меняется пропорционально времени и используется при его измерении. Например, когда точка весеннего равноденствия<sup>4</sup> заходит, а это происходит в точке запада  $W$ , её часовой угол равен  $6^h$ , а когда восходит (в точке востока  $E$ ) -  $18^h$  (этот пример рекомендуем осмыслить самостоятельно).

### 3 Звёздное время

Основной единицей звёздного времени  $s$  являются *звёздные сутки* - промежуток времени между двумя последовательными верхними кульминациями<sup>5</sup> какой-либо точки на небесной сфере. Для определённости обычно рассматривают кульминации точки весеннего равноденствия ( $\Upsilon$ ). Время, измеряемое звёздными сутками и их долями (звёздный час, минута и секунда), называется звёздным временем. Таким образом, звёздное время  $s$  - это часовой угол точки весеннего равноденствия. С учётом сказанного выше нетрудно вывести следующую зависимость для какого-либо светила:

$$t = s - \alpha$$

(см Рис. 2), откуда следует, что в верхней кульминации ( $t = 0$ ) любого светила выполняется равенство  $s = \alpha$ .

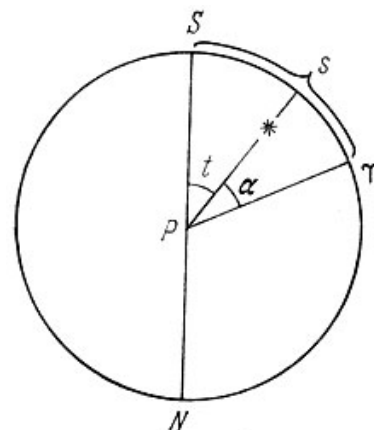


Рис.3. Небесный экватор, вид с северного полюса мира

<sup>3</sup>То есть максимально удалённой от горизонта.

<sup>4</sup>Которая, как и другие небесные светила, движется по небу из-за вращения небесной сферы.

<sup>5</sup>Впрочем, можно рассматривать промежуток времени и между нижними кульминациями.

То есть, если звёздное время в данной точке наблюдения равно прямому восхождению светила, то оно находится в верхней кульминации<sup>6</sup>.

Ход звёздного времени можно наглядно проиллюстрировать следующим образом. На ночном небе необходимо найти "ковш" в созвездии Большой Медведицы, взять расстояние между двумя крайними правыми звёздами (Дубхе и Мерак) и мысленно отложить его пять раз вдоль прямой, соединяющей эти звёзды; на отмеренном таким образом расстоянии будет находиться Полярная звезда ( $\alpha$  Малой Медведицы). Поскольку созвездие Большой Медведицы вращается вместе с небесной сферой вокруг северного полюса мира, который находится очень близко к Полярной звезде, вышеупомянутая прямая выполняет роль "небесной" часовой стрелки с центром в полюсе мира (которая, однако, вращается *против часовой стрелки*). При повороте на  $15^\circ$  проходит 1 час звёздного времени (шкала 23, 0, 1 и т.д.). За одни звёздные сутки (24 звёздных часа) стрелка совершит один оборот вместе с небесной сферой.

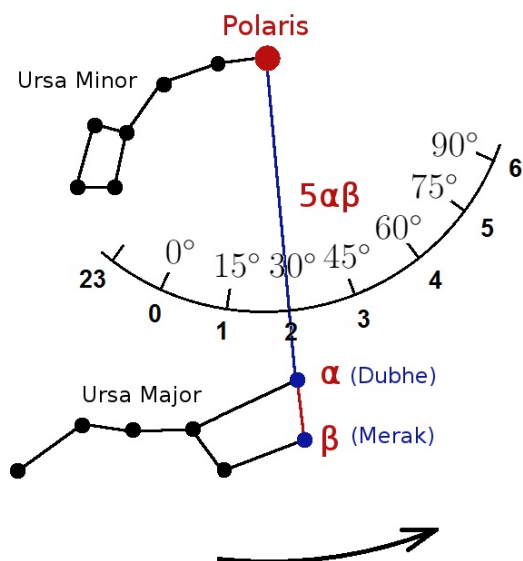


Рис.4. «Звёздная» часовая стрелка вращается на прикрепленном к небу мнимом 24-х часовом циферблате

## 4 Немного о Солнце

Солнце, как и все небесные светила, движется по небосводу по своей суточной параллели. Однако его видимый *угловой* размер на небе ( $\approx 0.5^\circ$ ) не позволяет считать его точечным источником (в отличие от других звёзд). Поэтому в дальнейшем для строгости под положением Солнца на небе будем подразумевать центр его видимого диска. Относительно небесного меридиана наблюдателя Солнце восходит на востоке и заходит на западе. В момент его верхней кульминации - истинный **полдень** - Солнце проходит через небесный меридиан наблюдателя. Именно поэтому полуденная линия (проекция небесного меридиана на горизонтальную плоскость) так называется: в солнечный полдень тень от высокого длинного предмета параллельна этой линии (кстати, в этот же момент тень от предмета будет наиболее короткой). Момент нижней кульминации Солнца - истинная **полночь**.

**Важное уточнение:** в этом изложении не учитывается **рефракция** - преломление в атмосфере световых лучей от небесных светил, и изменение, в связи с этим, их положения на небосводе<sup>7</sup>. Некоторыми следствиями этого явления являются сплющивание видимого диска Солнца или Луны вблизи горизонта и мерцание звёзд. В связи с наличием атмосферной рефракции понятия **восход** и **закат** применительно к Солнцу следует понимать как момент появления и исчезновения верхнего края солнечного диска над и под горизонтом соответственно. Также не рассматривается такое явление, как **сумерки** - это интервал времени, в течение которого Солнце находится под горизонтом, а естественная освещённость на Земле обеспечивается отражением солнечного света от верхних слоёв атмосферы.

<sup>6</sup>То есть в наиболее удобной для данного места наблюдения точке неба. Иными словами, прямое восхождение светила, выраженное в часовой мере, равно длительности отрезка времени, прошедшего между верхними кульминациями точки весеннего равноденствия и данного светила (в этой последовательности).

<sup>7</sup>Рефракция всегда «приподнимает» изображения небесных светил над их истинным положением.