

# Астрономия - VII

## 21 декабря 2019

### 1 Звёздное время

Основной единицей звёздного времени  $s$  являются *звёздные сутки* - промежуток времени между двумя последовательными верхними кульминациями<sup>1</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. 1), откуда следует, что в верхней кульминации ( $t = 0$ ) любого светила выполняется равенство  $s = \alpha$ . То есть, если звёздное время в данной точке наблюдения равно прямому восхождению светила, то оно находится в верхней кульминации<sup>2</sup>.

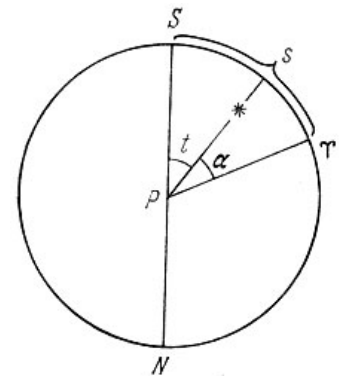


Рис.1. Плоскость небесного экватора, вид с северного полюса мира

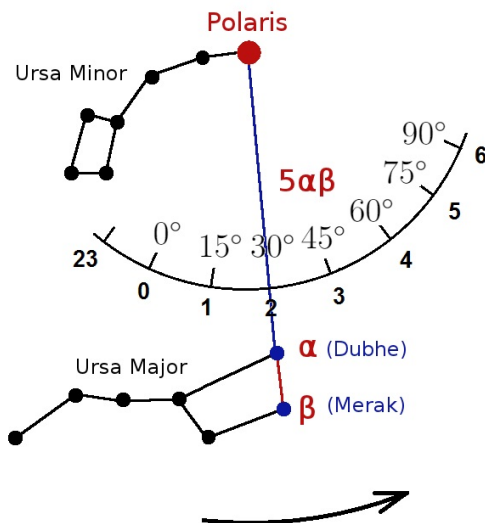


Рис.2. «Звёздная» часовая стрелка вращается на прикрепленном к небу мнимом 24-х часовом циферблате

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.

<sup>1</sup>Впрочем, можно рассматривать промежуток времени и между нижними кульминациями. Верхняя кульминация выбрана потому, что это точка неба, как правило, наиболее удобна для наблюдения.

<sup>2</sup>Иными словами, прямое восхождение светила равно длительности отрезка времени между верхними кульминациями точки весеннего равноденствия и этого светила (именно в такой последовательности).

## 2 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.

Два важных явления, которые мы не будем подробно разбирать: **рефракция** - преломление в атмосфере световых лучей от небесных светил, и изменение, в связи с этим, их положения на небосводе. 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. Упомянем также 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.

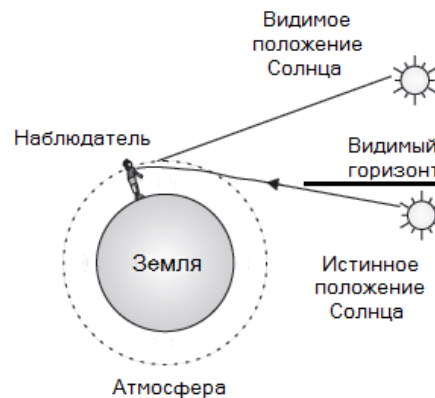


Рис.3. Рефракция всегда «приподнимает» изображения небесных светил над их истинным положением

## 3 Истинное солнечное время

Основной единицей солнечного времени являются солнечные сутки, однако эта величина неоднозначна. Сперва обозначим **истинные солнечные сутки** - промежуток времени между двумя последовательными верхними кульминациями центра видимого диска Солнца. Основывающееся на этой единице измерения *истинное солнечное время* является, по сути своей, часовым углом Солнца, но сдвинутым на  $12^h$  назад, оно отсчитывается от момента истинной полуночи, то есть, от направления на точку севера (а не от направления на точку юга, как у обычного часового угла). Таким образом, нижняя кульминация Солнца происходит в 0 солнечных часов, а верхняя – в 12 солнечных часов.

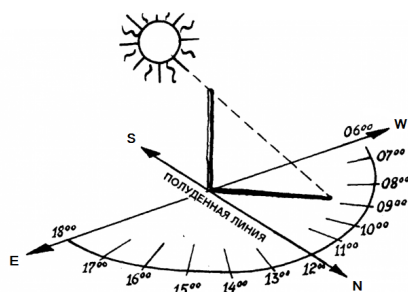


Рис.4. Солнечные часы

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<sup>3</sup> носит такое название: в солнечный полдень тень от высокого длинного предмета<sup>4</sup> параллельна этой линии (см. Рис. 4). В этот же момент тень от предмета будет наиболее короткой<sup>5</sup> и в северном полушарии направлена на север - эта идея лежит в основе работы солнечных часов. Момент нижней кульминации Солнца - истинная **полночь**.

<sup>3</sup>Проекция небесного меридиана на плоскость астрономического горизонта.

<sup>4</sup>Инструмент для таких измерений носит название **гномон** - вертикальный и высокий предмет. Им может быть, например, палка, воткнутая перпендикулярно земле, или колонна на площади города.

<sup>5</sup>Измерив в этот момент её длину и зная длину гномона, простыми геометрическими вычислениями можно получить значение географической широты, на которой производятся наблюдения.

## 4 Среднее солнечное время

Величина истинных солнечных суток непостоянна и колеблется в течение года. Во-первых, Земля движется вокруг Солнца по эллипсу неравномерно<sup>6</sup> (быстрее в области перигелия и медленнее в области афелия). Во-вторых, плоскость эклиптики наклонена к оси небесного экватора, и, как следствие, Солнце вблизи солнцестояний движется почти параллельно небесному экватору, а вблизи равноденствий - под максимальным углом к нему.

Измерять отрезки времени переменной единицей масштаба, конечно, неудобно, поэтому в практической деятельности человека используются не истинные, а **средние солнечные сутки** - средняя за год величина истинных солнечных суток. Эта величина (как и её доли) всегда остаётся постоянной, а время, измеряемое ею, называется *средним солнечным временем*. В силу вышеупомянутых особенностей орбитального движения Земли это время нельзя непосредственно измерить из астрономических наблюдений, его можно только вычислить. Связь между средним солнечным временем и истинным солнечным временем выражается через **уравнение времени** - разность между этими двумя величинами. В течение года они отличаются друг от друга не более, чем на четверть часа.

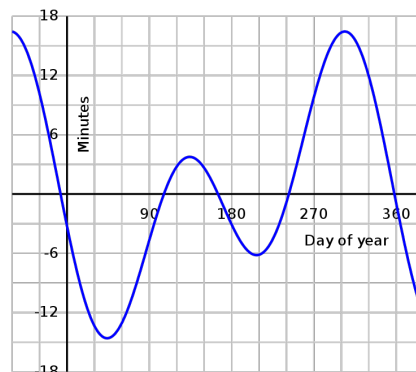


Рис.5. Уравнение времени  
(истинное солнечное время  
минус среднее солнечное время)

## 5 Разница между солнечными и звёздными сутками

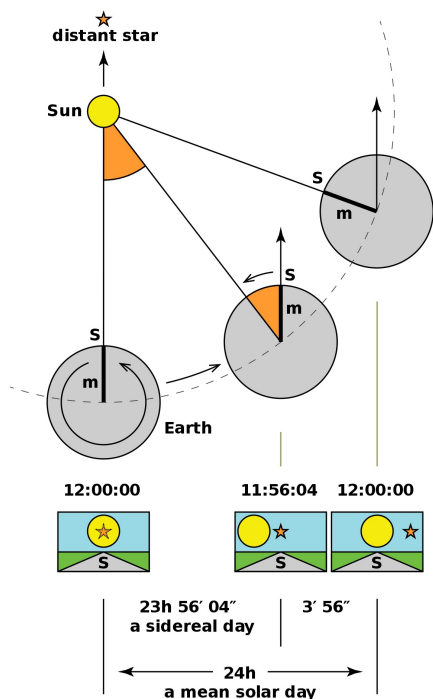


Рис.5. Разница между солнечными и звёздными сутками

Необходимо понимать, что использование разных обозначений для измеряемого времени не означает, что мы измеряем два каких-то независимых друг от друга времени. Фактически, это две разные линейки для измерения времени. Нетрудно показать, что истинные солнечные сутки длиннее звёздных. Пусть в определённый день Солнце и некоторая звезда кульминируют одновременно<sup>7</sup>. Как мы уже знаем, ровно через одни звёздные сутки после этого момента звезда опять окажется в кульминации. Но Солнце будет немного "отставать" от этой звезды, так как Земля пройдёт небольшое расстояние по орбите и направление на Солнце изменится, оно сместится по эклиптике (на фоне неба) ближе к востоку. Иными словами, Солнце движется среди звезд в сторону вращения Земли, и для того, чтобы его догнать, Земле надо сделать относительно звезд чуть больше одного оборота. Таким образом, солнечные сутки длиннее звёздных, разница между ними составляет примерно 4 минуты - за такое время Солнце дойдёт до верхней кульминации в том же месте наблюдения.

<sup>6</sup>Для наблюдателя, находящегося на Земле, это выражается в том, что видимое движение Солнца по эклиптике относительно неподвижных звёзд то ускоряется, то замедляется.

<sup>7</sup>Этот пример мысленный, так как звезду за Солнцем мы физически не сможем увидеть.