

# Астрономия

## 14 ноября 2019

Для описания положения точек (в частности, каких-либо светил на небе) на воображаемой небесной сфере в астрономии используются различные **системы небесных координат**, в которых координаты задаются **двумя** углами, однозначно определяющими положение объектов на небесной сфере. Таким образом, система небесных координат является сферической системой координат, в которой расстояние  $r$  часто неизвестно и не используется.

Каждому небесному светилу соответствует точка небесной сферы, в которой её пересекает прямая, соединяющая центр светила и центр сферы, за который принимают глаз наблюдателя; при этом наблюдатель может находиться как на поверхности Земли, так и в других точках пространства (например, он может быть отнесён к центру Земли). Для наземного наблюдателя вращение небесной сферы воспроизводит суточное движение светил на небе.

Напомним некоторые геометрические понятия: **большой круг** — круг, получаемый при сечении шара плоскостью, проходящей через его центр (обозначен красным на рисунке справа); если сечение проходит не через центр шара, то оно образует **малый круг** (обозначен синим). Иногда эти круги отождествляют с ограничивающими их окружностями. Также напомним: дуга окружности может измеряться (помимо единиц длины) в угловых единицах. В таком случае дугу отождествляют с опирающимся на неё центральным углом большого круга. Большими кругами Земли являются, например, меридианы и самая длинная параллель — экватор (другие параллели образуют малые круги). Эклиптика и небесный экватор являются большими кругами на небесной сфере.

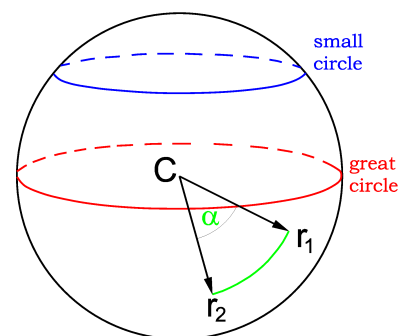


Рис.1. Большой и малый круги

Мы рассмотрим два типа наиболее часто используемых систем небесных координат.

## 1 Экваториальная система координат

В этой системе координат основной плоскостью является плоскость небесного экватора. Начало координат находится в центре Земли. Одной из координат при этом является астрономический аналог широты — **склонение** (обозначается символом  $\delta$ ), а другой — аналогом долготы — является либо **часовой угол**  $t$ , либо **прямое восхождение**  $\alpha$ . Если в качестве второй координаты выбран часовой угол, то выбранная система координат называется *первой экваториальной системой координат*, если прямое восхождение — то *второй экваториальной системой координат*. Общепринятой в астрономии является вторая экваториальная система координат. Её удобство заключается в том, что она не вращается вместе с Землёй, поэтому заданные в ней координаты можно считать *почти* постоянными.

Рассмотрим координаты, образующие **вторую экваториальную систему координат**:

- **Склонение** светила – угол между плоскостью небесного экватора и направлением на светило. Или, что то же самое, выраженная в градусной мере дуга небесного меридиана от небесного экватора до светила (см. рисунок справа). Склонение измеряют от небесного экватора в пределах от  $0^\circ$  до  $+90^\circ$  в сторону северного полюса мира и от  $0^\circ$  до  $-90^\circ$  в сторону южного полюса мира<sup>1</sup>.

- **Прямое восхождение** – дуга небесного экватора от точки весеннего равноденствия до круга склонения светила (то есть, до того небесного меридиана, на котором оно лежит). Или, что то же самое, угол между направлением на точку весеннего равноденствия и плоскостью круга склонения светила. Этот угол измеряется вдоль небесного экватора в сторону, противоположную суточному вращению небесной сферы<sup>2</sup>, и принимает значения от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  (в градусной мере) либо от 0 ч до 24 ч (в часовой мере<sup>3</sup>).

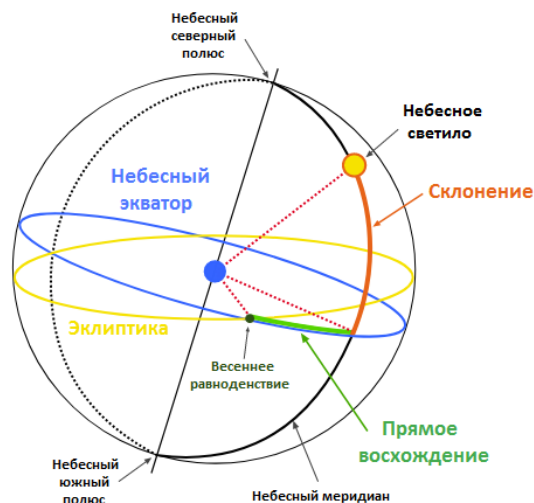


Рис.2. Вторая экваториальная система координат

Следует понимать, что вследствие прецессии земной оси расположение плоскости небесного экватора (а значит, и точек весеннего и осеннего равноденствий) постепенно смещается. В связи с этим для экваториальной системы координат всегда необходимо указывать *эпоху*<sup>4</sup>, которая определяет некоторое расположение основной плоскости и, соответственно, направление на точку весеннего равноденствия. Текущая эпоха, определённая международным соглашением — J2000.0 (если вы видите координаты какого-то небесного светила, зафиксированные на эту эпоху в экваториальной системе координат, то это значит, что их положения указаны по состоянию на полдень 1 января 2000 года).

Смысл **часового угла** светила (это дуга небесного экватора от определённым образом выбранного меридиана до круга склонения светила) будет объяснён позже.

## 2 Горизонтальная система координат

В горизонтальной системе координат основной плоскостью является плоскость астрономического горизонта, а полюсами — зенит и надир. Начало координат в этой системе связано с наблюдателем в фиксированной точке на поверхности Земли. В системе отсчёта, в которой наблюдатель неподвижен, небесная сфера вращается<sup>5</sup>, а значит, координаты всех небесных светил непрерывно изменяются в течение суток<sup>6</sup>.

<sup>1</sup>Соответственно, объект на небесном экваторе имеет склонение  $0^\circ$ , склонение южного полюса небесной сферы равно  $-90^\circ$ , северного полюса —  $+90^\circ$ . **При записи склонения следует указывать знак!**

<sup>2</sup>То есть к востоку от видимого положения центра Солнца.

<sup>3</sup>Смысл такого обозначения будет понятен позже.

<sup>4</sup>То есть момент времени, для которого определены астрономические координаты.

<sup>5</sup>Так как точка, в которой находится наблюдатель, вращается вместе с Землёй.

<sup>6</sup>Поэтому горизонтальная система координат непригодна для составления карт звёздного неба!

Прежде, чем описывать использующиеся координаты, рассмотрим некоторые важные понятия, имеющие отношение к **горизонтальной системе координат**:

- **Зенит** – направление на точку небесной сферы, расположенную над головой наблюдателя.
- **Надир** – направление, указывающее непосредственно вниз под наблюдателя (если говорить более строго, надир — это направление, совпадающее с направлением действия силы гравитации в данной точке, а зенит – противоположное ему направление).
- **Отвесная (вертикальная) линия** – линия, соединяющая зенит и надир.
- **Астрономический (истинный, математический) горизонт** – большой круг небесной сферы, плоскость которого перпендикулярна к отвесной линии<sup>7</sup>.
- **Небесный меридиан** – большой круг небесной сферы, плоскость которого проходит через отвесную линию и ось мира.
- **Полуденная линия** – линия пересечения плоскости небесного меридиана и плоскости математического горизонта.

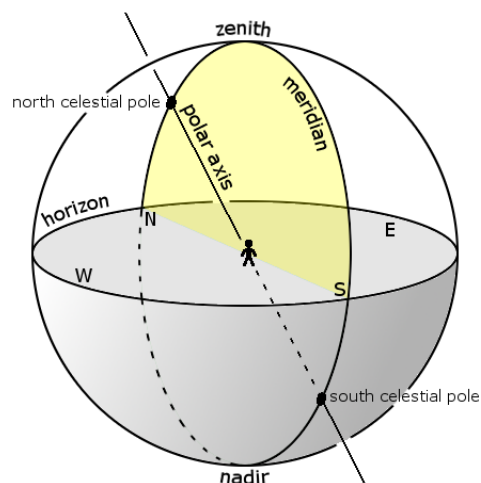


Рис.3. Горизонтальная система координат. Полярная ось на рисунке параллельна настоящей оси мира, так как наблюдатель находится на поверхности Земли

- **Круг высоты (вертикал) светила** – большой полукруг небесной сферы, проходящий через светило, зенит и надир. Не путать с небесным меридианом!
- **Альмукантарат**<sup>8</sup> – малый круг небесной сферы, плоскость которого параллельна плоскости математического горизонта (небесный аналог земной параллели).

Полуденная линия и небесный меридиан пересекают математический горизонт в двух точках: точке севера (N) и точке юга (S)<sup>9</sup>. Точки востока (E) и запада (W) берутся отстоящими на 90 градусов от точки юга соответственно против и по ходу часовой стрелки, если смотреть из зенита. Это неочевидно, но небесный экватор пересекает астрономический горизонт как раз в точках востока и запада.

В горизонтальной системе координат одной координатой является **высота (Altitude)  $h$**  – дуга вертикала светила от плоскости математического горизонта до направления на него. Высоты отсчитываются в пределах от  $0^\circ$  до  $+90^\circ$  к зениту и от  $0^\circ$  до  $-90^\circ$  к надиру. Другой координатой является **азимут (Azimuth)  $A$**  – дуга математического горизонта от точки юга до вертикала светила. Обычно азимуты отсчитываются в сторону суточного вращения небесной сферы, то есть к западу от точки юга, в пределах от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  (иногда – от  $0^\circ$  до  $+180^\circ$  к западу и от  $0^\circ$  до  $-180^\circ$  к востоку). Особенности изменения координат небесных тел будут разобраны позже.

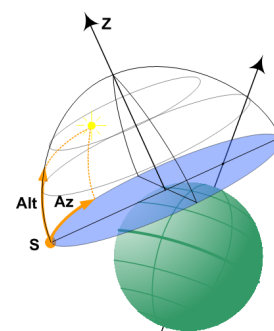


Рис.3. Горизонтальная система координат

<sup>7</sup>Он не совпадает с видимым горизонтом вследствие приподнятости точки наблюдения над земной поверхностью, а также по причине искривления лучей света в атмосфере.

<sup>8</sup>От араб. «круг равных высот».

<sup>9</sup>Не следует путать точки севера и юга с соответственно Северным и Южным полюсами.