

Астрономия - V

10 ноября и 7 декабря 2020

1 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.

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

(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.

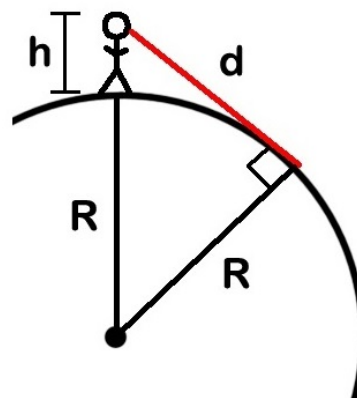


Рис.1. Расстояние до видимого горизонта

2 Системы небесных координат

Для описания положения точек на воображаемой небесной сфере используются различные системы небесных координат, которые отличаются друг от друга выбором основной плоскости и началом отсчёта. Выбор системы координат обусловлен поставленной задачей, в действительности положение небесных светил не зависит от этого выбора¹. В таких системах координаты точек задаются **двумя** углами, однозначно определяющими положение объектов на небесной сфере. Таким образом, системы небесных координат являются сферическими системами координат, в которых расстояние r не используется². По точно такому же принципу строятся географические координаты (широта и долгота) на Земле. Мы рассмотрим два типа наиболее часто используемых систем небесных координат.

2.1 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 δ), а другой – аналогом долготы – является **прямое восхождение** α . В такой форме эта система координат называется *второй экваториальной системой координат*. Есть ещё и *первая*, про неё расскажем позже. Её удобство заключается в том, что она не вращается вместе с Землёй, поэтому заданные в ней координаты можно считать *почти* (см. раздел 2.2) постоянными.

¹Простая аналогия: расстояние между двумя точками на плоскости не зависит от того, в каких величинах это расстояние измеряется. А вот координаты точек и векторов уже зависят от системы отсчёта.

²Причина этого заключается в огромной удалённости небесных светил: человеческий глаз не в состоянии оценить различия в расстояниях до них, и они представляются одинаково удалёнными.

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 большого круга небесной сферы от небесного экватора до светила (см. рисунок справа). Склонение измеряют от небесного экватора в пределах от 0° до $+90^\circ$ в сторону северного полюса мира и от 0° до -90° в сторону южного полюса мира³.

Прямое восхождение – дуга небесного экватора от точки весеннего равноденствия до круга склонения светила (то есть, до того большого круга небесной сферы, 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 сферы⁴, и принимает значения от 0 часов (0^h) до 24 часов (24^h)⁵, что в градусной мере соответствует значениям от 0° до 360° . Следовательно, каждый час как *мера угла* равен 15 градусам ($1^h = 15^\circ$), а 1 градус равен 4 минутам ($4^m = 1^\circ$).

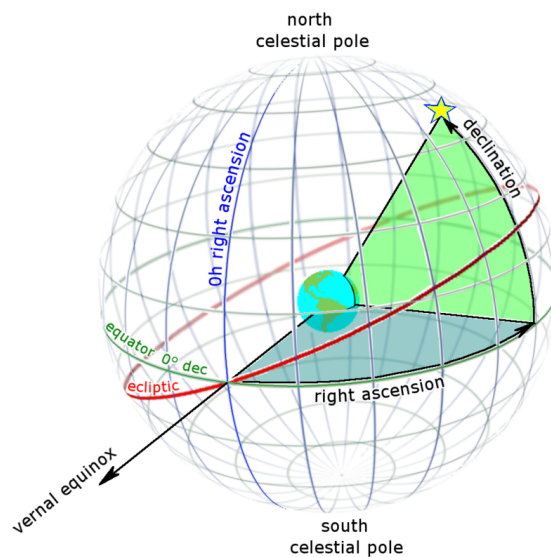


Рис.2. Вторая экваториальная система координат. *Vernal equinox* - точка весеннего равноденствия, *declination* - склонение, *right ascension* - прямое восхождение

2.2 Эпоха

Вследствие прецессии земной оси расположение плоскости небесного экватора постепенно смещается. В связи с этим для экваториальной системы необходимо указывать *эпоху*, то есть момент времени, для которого заданы определённые астрономические координаты. Эпоха определяет некоторое расположение основной плоскости и, соответственно, направление на точку весеннего равноденствия. Текущая эпоха, определённая международным соглашением — J2000.0 (если координаты какого-либо небесного светила зафиксированы на эту эпоху, то их положения указаны по состоянию на полдень 1 января 2000 года).

2.3 Горизонтальная система координат

В этой системе координат основной плоскостью является плоскость астрономического горизонта (см. далее). Начало координат в этой системе совмещено с наблюдателем в фиксированной точке на поверхности Земли (такая система координат называется *топоцентрической*). Важно понимать, что вследствие этого горизонтальная система координат уникальна для каждой точки на Земле. В системе отсчёта, в которой наблюдатель неподвижен, небесная сфера вращается⁶, а значит, координаты всех небесных светил непрерывно изменяются в течение суток. Поэтому, кстати, горизонтальная система координат непригодна для составления карт звёздного неба.

³Соответственно, объект на небесном экваторе имеет склонение 0° , склонение южного полюса небесной сферы равно -90° , северного полюса $+90^\circ$. При записи склонения следует указывать его знак!

⁴То есть против часовой стрелки, если смотреть с северного полюса мира.

⁵В 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".

⁶Так как точка, в которой находится наблюдатель, вращается вместе с Землёй.

Некоторые важные понятия, относящиеся к **горизонтальной системе координат**:

Зенит – направление на точку небесной сферы, расположенную над наблюдателем.

Надир – направление, указывающее непосредственно вниз под наблюдателя (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 линии⁷.

Небесный меридиан – большой круг небесной сферы, плоскость которого проходит через отвесную линию и ось мира.

Полуденная линия (NS) – линия пересечения плоскости небесного меридиана и плоскости математического горизонта.

Круг высоты (вертикал) небесного светила – большой полукруг небесной сферы, проходящий через светило, зенит и надир.

Альмукантарат⁸ – малый круг небесной сферы, плоскость которого параллельна плоскости математического горизонта (небесный аналог земной параллели в горизонтальной системе координат).

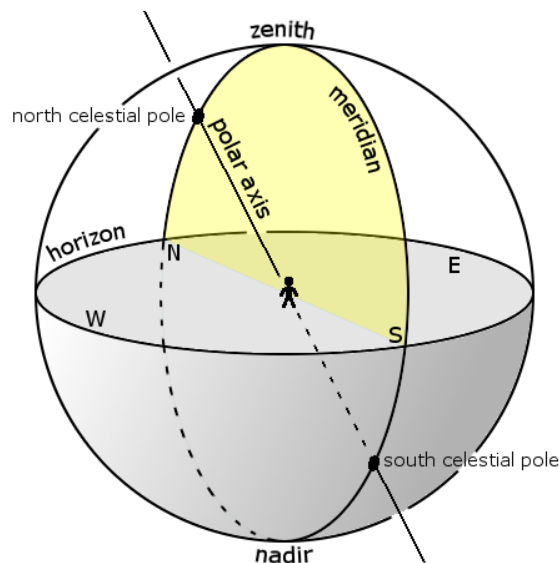


Рис.3. Горизонтальная система координат. Ось мира (*polar axis*) на рисунке параллельна оси вращения Земли, так как наблюдатель находится на поверхности Земли. Небесный меридиан (его плоскость выделена жёлтым цветом) пересекает горизонт в двух точках: точке севера (N) и точке юга (S) (не путайте эти точки с соответственно Северным и Южным полюсами). Точки востока (E) и запада (W) отстоят на 90 градусов от точки юга соответственно против и по ходу часовой стрелки, если смотреть из зенита.

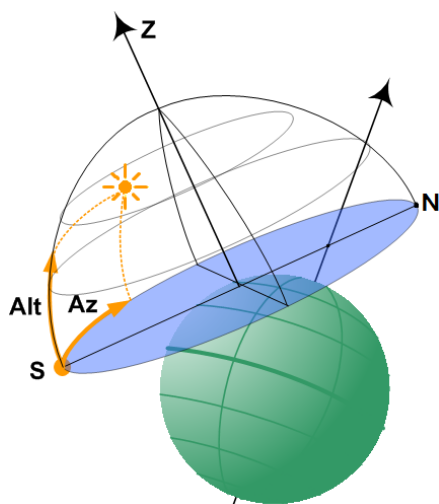


Рис.4. Горизонтальная система координат.

Синим цветом обозначена плоскость астрономического горизонта.

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° до $+90^\circ$ к зениту и от 0° до -90° 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° до 360° (иногда – от 0° до $+180^\circ$ к западу и от 0° до -180° к востоку). Из Рис. 4 видно, что для разных положений наблюдателя координаты одного и того же светила будут разными.

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

⁸От араб. «круг равных высот».