

Астрономия - II

1 Сферическая система координат

Мы живём в трёхмерном мире, и для определения положения какой-либо точки в пространстве нам нужны три величины. Если в качестве системы отсчёта использовать *декартову систему координат*, то этими тремя величинами будут абсцисса, ордината и аппликата точки вдоль осей Ox , Oy , Oz соответственно. Однако часто на практике удобнее использовать *сферическую систему координат*, в которой тремя величинами, определяющими положение точки в пространстве, являются кратчайшее расстояние до начала координат r , *зенитный* угол θ и *азимутальный* угол φ (см. рисунок справа). В зависимости от задачи, в которой используется сферическая система координат, углы θ и φ могут называться по-другому и отсчитываться не от тех направлений, от которых они отсчитываются на рисунке, а на диапазоны их значений могут накладываться различные ограничения. Например, в астрономии обычно используется угол не между радиус-вектором \vec{r} и осью Oz (на рисунке обозначен как θ), а между \vec{r} и плоскостью Oxy (он равен $90^\circ - \theta$).

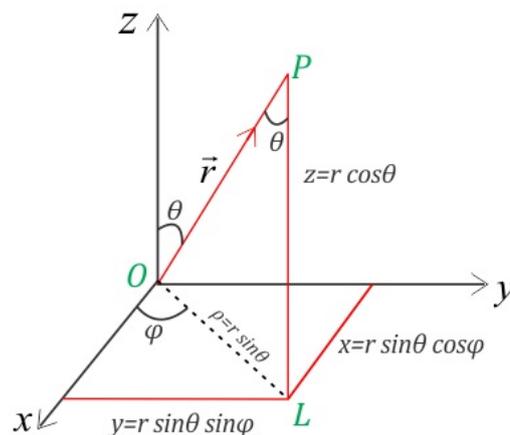


Рис. 1. Связь сферической и декартовой систем координат

2 Системы небесных координат

Для описания положения точек на воображаемой небесной сфере (в которых могут находиться небесные светила) используются различные системы небесных координат, которые отличаются друг от друга выбором основной плоскости и началом отсчёта. 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 используется¹. 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. Её удобство заключается в том, что она вращается вместе с небесной сферой, поэтому заданные в ней координаты различных небесных светил (например, звёзд) можно считать *почти* (см. раздел 2.2) постоянными.

¹Причина этого заключается в огромной удалённости небесных светил: человеческий глаз не в состоянии оценить различия в расстояниях до них, и они представляются одинаково удалёнными.

В экваториальной системе координат, или, выражаясь более точно, в той её форме, которая называется **второй** э.с.к., положение точки на небе задаётся склонением, которое обозначается символом δ (астрономический аналог широты), и прямым восхождением α . Существует ещё одна форма э.с.к. – *первая*, о которой будет рассказано позже.

Склонение светила – угол между плоскостью небесного экватора и направлением на светило (см. рисунок справа). Его 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 мира².

Прямое восхождение – дуга небесного экватора от точки весеннего равноденствия до круга склонения светила (то есть, до того большого круга небесной сферы, вдоль которого отсчитывается его склонение). Этот угол измеряется вдоль небесного экватора в сторону, противоположную суточному вращению небесной сферы³, и принимает значения от 0 часов (0^h) до 24 часов (24^h)⁴, 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 ($4^m = 1^\circ$).

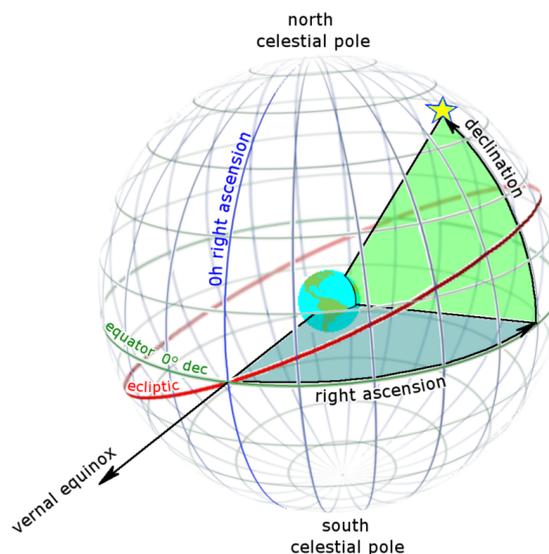


Рис. 2. Вторая экваториальная система координат. *Vernal equinox* – точка весеннего равноденствия, *declination* – склонение, *right ascension* – прямое восхождение

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 вращается⁵, а значит, координаты всех небесных светил непрерывно изменяются в течение суток. Поэтому, кстати, горизонтальная система координат непригодна для составления карт звёздного неба.

²Соответственно, 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!

³То есть против часовой стрелки, если смотреть с северного полюса мира.

⁴В 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".

⁵Так как точка, в которой находится наблюдатель, вращается вместе с Землёй.

Рассмотрим элементы **горизонтальной системы 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 линии⁶.

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.

Альмукантарат⁷ – малый круг небесной сферы, плоскость которого параллельна плоскости математического горизонта (небесный аналог земной параллели в горизонтальной системе координат).

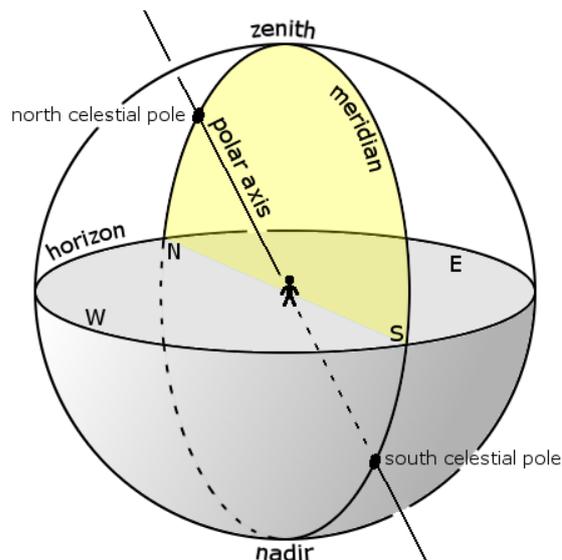


Рис. 3. Горизонтальная система координат.

Наблюдатель находится на поверхности Земли. Ось мира (*polar axis*) на рисунке параллельна оси вращения 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.

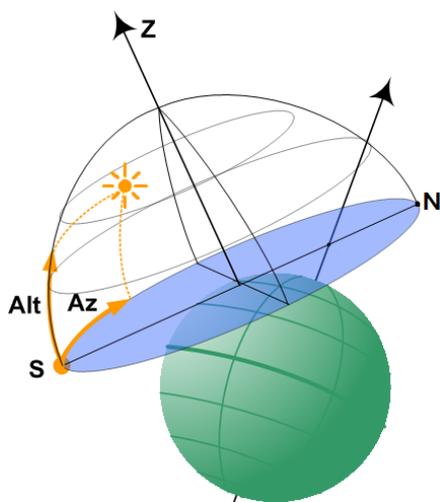


Рис. 4. Горизонтальная система координат. Синим цветом обозначена плоскость астрономического горизонта.

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.

⁶Он не совпадает с видимым горизонтом вследствие приподнятости точки наблюдения над земной поверхностью, а также по причине искривления лучей света в атмосфере.

⁷От араб. «круг равных высот».