



### Контрольные вопросы и задания

1. Что понимают под созвездием?
2. Каким образом созвездия получили свои названия? Приведите примеры названий созвездий.
3. По какому принципу строится шкала звездных величин Гиппарха? Что понимают под звездной величиной?
4. В чем заключается сущность системы классификации звезд по Байеру?
5. Опишите видимое суточное движение звезд. По какой причине происходит наблюдаемое явление суточного движения звезд?
6. Что понимают под небесной сферой? Дайте определения основным точкам, линиям и плоскостям небесной сферы.

## § 3. Небесные координаты

**1. Системы координат.** Положение светил определяется по отношению к точкам и кругам небесной сферы (см. рис. 12). Для этого введены небесные координаты, подобные географическим координатам на поверхности Земли.

В астрономии применяется несколько систем координат. Отличаются они друг от друга тем, что строятся по отношению к разным кругам небесной сферы. Небесные координаты отсчитываются дугами больших кругов или центральными углами, охватывающими эти дуги.

**Небесные координаты** — центральные углы или дуги больших кругов небесной сферы, с помощью которых определяют положение светил по отношению к основным кругам и точкам небесной сферы.

**Горизонтальная система координат.** При астрономических наблюдениях удобно определять положение светил по отношению к горизонту. Горизонтальная система координат использует в качестве основного круга истинный горизонт. В этой системе координатами являются **высота ( $h$ )** и **азимут ( $A$ )**.

**Высота светила** — угловое расстояние светила  $M$  от истинного горизонта, измеренное вдоль вертикального круга (рис. 14). Высота определяется в градусах, минутах и секундах. Она отсчитывается в пределах от 0 до  $+90^\circ$  к зениту, если светило находится в видимой

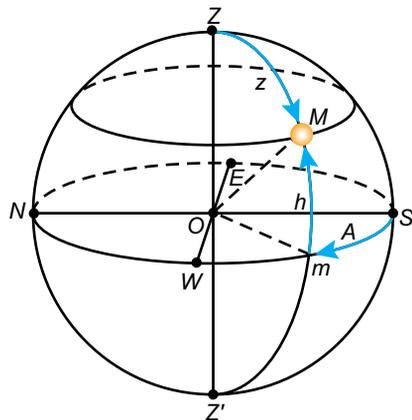


Рис. 14. Горизонтальная система координат:  $h$  — высота светила  $M$  над горизонтом;  $z$  — зенитное расстояние;  $A$  — азимут



восхождения ( $\alpha$ ) вводится часовой угол ( $t$ ) (см. рис. 15). **Часовой угол** — это угловое расстояние, измеренное вдоль небесного экватора, от верхней точки небесного экватора до круга склонения светила. Отсчитывается часовой угол по направлению видимого суточного вращения небесной сферы, т. е. к западу, в пределах от 0 до 24 ч в часовой мере.

Координаты звезд ( $\alpha$ ,  $\delta$ ) в экваториальной системе координат не связаны с суточным движением небесной сферы и изменяются очень медленно. Поэтому они применяются для составления звездных карт и каталогов. **Звездные карты** представляют собой проекции небесной сферы на плоскость с нанесенными на нее объектами в определенной системе координат. Набор звездных карт смежных участков неба, покрывающих все небо или некоторую его часть, называется **звездным атласом**. В специальных списках звезд, называемых **звездными каталогами**, указываются координаты их места на небесной сфере, звездная величина и другие параметры. Например, Каталог опорных звезд The Guide Star Catalog (GSC) содержит около 20 млн объектов.

**2. Лунно-солнечная прецессия.** Ось вращения Земли наклонена к плоскости орбиты под углом  $66^{\circ}34'$ . Под воздействием притяжения Луны и Солнца из-за неоднородности распределения плотности массы внутри Земли ось описывает конус. Так как направление оси Земли изменяется, то перпендикулярная ей плоскость экватора также будет смещаться, что приводит к перемещению точки весеннего равноденствия. Это явление называется **лунно-солнечной прецессией**. Точка весеннего равноденствия перемещается навстречу видимому годичному движению Солнца на  $50,3''$  в год или на  $1^{\circ}$  в 71,6 года, совершая полный оборот по эклиптике за 25 765 лет. Полюсы мира также перемещаются среди звезд. В настоящее время Северный полюс мира находится возле Полярной звезды, а через 10 тыс. лет он переместится к Веге ( $\alpha$  Лиры).

**3. Высота полюса мира над горизонтом.** Мы уже знаем, что Полярная звезда, находящаяся вблизи Северного полюса мира, остается почти на одной высоте над горизонтом на данной широте при суточном вращении звездного неба. При перемещении наблюдателя с севера на юг, где географическая широта меньше, Полярная звезда опускается к горизонту, т. е. существует зависимость между высотой полюса мира и географической широтой места наблюдения.

На рисунке 16 земной шар и небесная сфера изображены в сечении плоскостью небесного меридиана места наблюдения. Наблюдатель из точки  $O$  видит полюс мира на высоте  $\angle NOP = h_p$ . Направление оси мира  $OP$  параллельно земной оси. Угол при центре Земли  $\angle OO'q$  соответствует географической широте места наблюдения  $\varphi$ . Так как радиус Земли в точке наблюдения

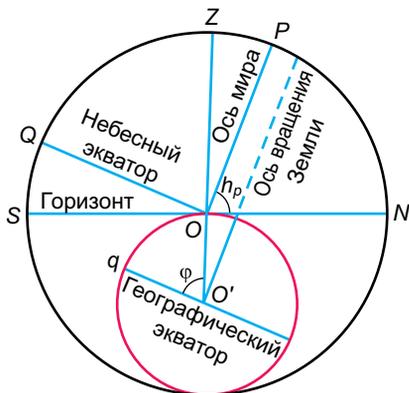


Рис. 16. Высота полюса мира над горизонтом

перпендикулярен плоскости истинного горизонта, а ось мира перпендикулярна плоскости географического экватора, то  $\angle NOP$  и  $\angle OO'q$  равны между собой как углы с взаимно перпендикулярными сторонами. Таким образом, *угловая высота полюса мира над горизонтом равна географической широте места наблюдения*:

$$h_p = \varphi. \quad (1)$$

С другой стороны, из рисунка 16 следует, что  $\angle QOZ$  определяет собой величину склонения зенита  $\delta_z$ . Поэтому можно записать, что

$$\varphi = \delta_z, \quad \text{или} \quad \varphi = h_p = \delta_z. \quad (2)$$

Равенство (2) характеризует зависимость между географической широтой места наблюдения и соответствующими горизонтальной и экваториальной координатами светила.

По мере перемещения наблюдателя к Северному полюсу Земли Северный полюс мира поднимается над горизонтом. На полюсе Земли полюс мира будет находиться в зените. Звезды здесь движутся по кругам, параллельным горизонту, который совпадает с небесным экватором. Становится неопределенным небесный меридиан, теряют смысл точки севера, юга, востока и запада.

На средних географических широтах ось мира и небесный экватор наклонены к горизонту, суточные пути звезд также наклонены к горизонту. Поэтому наблюдаются **восходящие** и **заходящие** звезды.

Под **восходом** понимается явление пересечения светилом восточной части горизонта, а под **заходом** — западной части горизонта. В средних широтах, например на территории Республики Беларусь, наблюдаются звезды северных околополярных созвездий, которые никогда не опускаются под горизонт. Они называются **незаходящими**. Звезды, расположенные около Южного полюса мира, у нас никогда не восходят. Их называют **невосходящими**.

На экваторе Земли ось мира совпадает с полуденной линией, а полюсы мира — с точками севера и юга. Небесный экватор проходит через точки востока, запада, точки зенита и надира. Суточные пути всех звезд перпендикулярны горизонту, и каждая из них половину суток находится над горизонтом.

### ! Главные выводы

1. Для определения положений небесных тел на небесной сфере используется система координат, аналогичная географической. На небесной сфере возможны только угловые измерения.
2. Угловая высота полюса мира над горизонтом равна географической широте места наблюдения.
3. Восход и заход светила — явления пересечения светилом горизонта.
4. Звездные карты — проекции небесной сферы на плоскость с нанесенными на нее объектами в определенной системе координат. Их наборы — звездные атласы.

### ? Контрольные вопросы и задания

1. Какие системы небесных координат вам известны? В чем заключается принципиальная разница между различными системами небесных координат?
2. Дайте описание горизонтальной и экваториальной систем координат. Какие координаты используются в этих системах?
3. Почему в астрономии используют различные системы координат?
4. Определите высоту полюса мира над горизонтом в вашем населенном пункте.
5. Какие звезды называют восходящими и заходящими, невосходящими и незаходящими?
6. Определите склонения звезд, доступных наблюдению на широте вашего населенного пункта.

## § 4. Определение географической широты

**1. Кульминация светил.** При суточном вращении вокруг оси мира светила два раза за сутки пересекают небесный меридиан. Явление прохождения светилом небесного меридиана называется **кульминацией**.

Различают верхнюю и нижнюю кульминации. В **верхней кульминации** светило при суточном движении находится в наивысшей точке над горизонтом, ближайшей к зениту. **Нижняя кульминация** происходит через половину суток после верхней кульминации.

Точка пересечения суточной параллели светила с восточной частью истинного горизонта называется **точкой восхода светила**, а точка пересечения с западной частью истинного горизонта — **точкой захода светила**.

Для Солнца и Луны, имеющих заметные видимые размеры, восходом (или заходом) считается момент появления (или исчезновения) на горизонте верхней точки края диска.

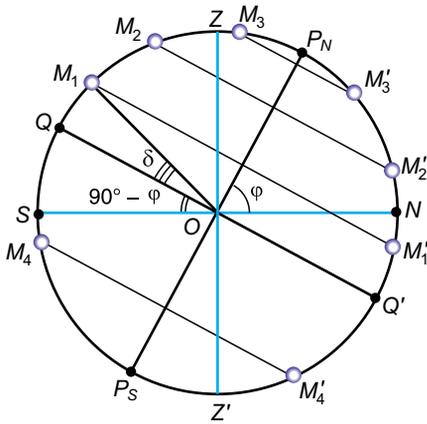


Рис. 17. Кульминация светил

звезда находится в верхней кульминации  $M_1$ . Высота полюса мира равна географической широте  $\varphi$ . Как видно из рисунка,  $\angle SOQ$  равен  $90^\circ - \varphi$  и представляет собой наклон небесного экватора к плоскости горизонта. Дуга  $SM_1$  (или  $\angle SOM_1$ ) — это высота светила над горизонтом. Эта дуга состоит из двух дуг:  $SM_1 = SQ + QM_1$ . Как видно из рисунка, дуга  $SQ$  равна  $90^\circ - \varphi$ , а дуга  $QM_1$  определяется величиной склонения  $\delta$ . Получим формулу для определения высоты звезды в ее верхней кульминации:

$$h_b = (90^\circ - \varphi) + \delta. \tag{1}$$

Для незаходящей звезды нижняя кульминация  $M'_2$  измеряется дугой  $NM'_2$  или соответствующим центральным углом ( $\angle NOM'_2$ ). Указанный угол, как видно из рисунка, равен разности  $\delta$  — склонения светила и величины  $(90^\circ - \varphi)$  — наклона небесного экватора к плоскости горизонта. Значит, высота звезды в нижней кульминации равна:

$$h_n = \delta - (90^\circ - \varphi). \tag{2}$$

Если обе кульминации незаходящей звезды находятся по одну сторону от зенита (например,  $M_3$  и  $M'_3$ ), то ее верхняя кульминация определяется из соотношения:  $h_b = 180^\circ - [(90^\circ - \varphi) + \delta]$ , или после упрощения:

$$h_b = 90^\circ + \varphi - \delta. \tag{3}$$

Соотношения (1—3) связывают географическую широту с высотой и склонением звезд во время их кульминации. Отметим, что на рисунке 17 азимуты

Незаходящие звезды (рис. 17) видны в верхней ( $M_2, M_3$ ) и нижней ( $M'_2, M'_3$ ) кульминациях. У восходящих и заходящих звезд нижняя кульминация ( $M'_1$ ) проходит под горизонтом. У невосходящих звезд обе кульминации  $M_4$  и  $M'_4$  невидимы, т. е. происходят под горизонтом.

Найдем высоты звезд в верхней и нижней кульминациях.

Так как кульминация светил происходит при пересечении небесного меридиана, то плоскость рисунка 17 совпадает с плоскостью небесного меридиана. Суточные пути звезд изображаются отрезками, параллельными небесному экватору  $QQ'$ . Пусть

звезд в верхней кульминации  $M_1$  и  $M_2$  равны  $0^\circ$ , а азимуты звезд в нижней кульминации  $M'_1$  и  $M'_2$  равны  $180^\circ$ . Азимуты звезды  $M_3$  в верхней и нижней кульминациях равны  $180^\circ$ .

**2. Определение географической широты по астрономическим наблюдениям.** При составлении географических и топографических карт, прокладке дорог и магистралей, разведке залежей полезных ископаемых и в ряде других случаев необходимо знать географические координаты местности. Эту задачу можно решить с помощью астрономических наблюдений. Рассмотрим простейшие способы.

*Первый способ.* Определить географическую широту можно исходя из наблюдения Полярной звезды. Если считать, что Полярная звезда указывает Северный полюс мира, то приближенно высота Полярной звезды над горизонтом дает нам географическую широту места наблюдения. Если измерить высоту Полярной звезды в верхней и нижней кульминациях, то получится более точное значение широты места наблюдения:

$$\varphi = \frac{h_{\text{в}} + h_{\text{н}}}{2}. \quad (4)$$

Это равенство получено из равенств (2) и (3). Формула (4) пригодна для всех незаходящих звезд, у которых верхняя и нижняя кульминации находятся по одну сторону от зенита.

*Второй способ.* Определить географическую широту можно исходя из наблюдения верхней кульминации звезд. Из равенств (1) и (3) получим, что

$$\varphi = \delta \pm (90^\circ - h_{\text{в}}). \quad (5)$$

Знак «+» ставится, если звезда кульминирует к югу от зенита, а знак «-» — при кульминации звезды к северу от зенита. Если звезда проходит через зенит, то  $\varphi = \delta$ .



### Главные выводы

1. Кульминация — это явление прохождения светила через небесный меридиан.
2. Географическую широту можно определить по наблюдениям как Полярной звезды, так и верхней кульминации звезд.
3. Склонение звезды, проходящей через зенит, равно широте места наблюдения.



### Контрольные вопросы и задания

1. Что такое кульминация светила?
2. Какие точки называются точками восхода и захода светила?
3. Как изменятся при суточном движении светила его высота, прямое восхождение, склонение?
4. Как приближенно определить географическую широту места, наблюдая за Полярной звездой?
5. Найдите интервал склонений звезд, которые на данной широте: а) никогда не восходят; б) никогда не заходят; в) могут восходить и заходить.
6. Определите географическую широту места наблюдения, если звезда Вега проходит через точку зенита.
7. Высота Солнца в моменты верхней и нижней кульминаций соответственно равна  $37^\circ$  и  $10^\circ$ . Определите географическую широту места наблюдения, склонение Солнца и дату наблюдения.

## § 5. Измерение времени.

### Определение географической долготы

**1. Измерение времени.** Вся наша жизнь связана со временем и регулируется периодической сменой дня и ночи, лунных фаз, а также времен года. На этих природных повторяющихся явлениях базируются основные единицы измерения времени — сутки, месяц, год. Широко используемая единица для измерения времени — сутки — связана с периодом вращения Земли вокруг своей оси.

Момент верхней кульминации центра Солнца называется **истинным полднем**, момент нижней кульминации — **истинной полночью**. Промежуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями центра Солнца называется **истинными солнечными сутками**. Время, прошедшее от момента нижней кульминации центра солнечного диска до любого другого его положения на одном и том же географическом меридиане, называется **истинным солнечным временем** ( $T_{\odot}$ ).

Необходимо отметить, что истинные солнечные сутки периодически меняют свою продолжительность. Это вызывается двумя причинами: во-первых, наклоном плоскости эклиптики к плоскости небесного экватора, во-вторых, эллиптической формой орбиты Земли. Когда Земля находится на участке эллипса, расположенном ближе к Солнцу (на рисунке 18 это положение показано слева), то она движется быстрее. Через полгода Земля окажется в противоположной части эллипса и будет перемещаться по орбите медленнее. Неравномерное движение Земли по своей орбите вызывает неравномерное видимое перемещение Солнца