

§ 2. Звездное небо

1. Созвездия и яркие звезды. Небо над нами на открытом месте простирается в виде купола. На нем в безоблачную ночь сияют мириады звезд, и, кажется, невозможно разобраться в этой величественной звездной картине. Вспоминаются вдохновенные строки русского ученого и поэта М. В. Ломоносова:

*Открылась бездна звезд полна,
Звездам числа нет, бездне — дна.*

Древние наблюдатели видели на звездном небе отдельные сочетания ярких звезд и мысленно объединяли их в различные фигуры. Чтобы было легче ориентироваться на звездном небе, группам звезд, или созвездиям, люди присваивали названия животных, птиц, различных предметов. В некоторых фигурах древнегреческие астрономы «видели» мифических героев. В труде «Альмагест» («Великое математическое построение астрономии в XIII книгах», II в. н. э.) древнегреческий астроном *Клавдий Птолемей* упоминает 48 созвездий. Это Большая Медведица и Малая Медведица, Дракон, Лебедь, Орел, Телец, Весы и др.

Наиболее заметные созвездия у многих народов получили свои названия. Так, древним славянам Большая Медведица представлялась в виде Лося или Оленя. Часто ковш Большой Медведицы сравнивался с повозкой, отсюда и названия этого созвездия: Воз, Телега, Колесница. Между Большой Медведицей и Малой Медведицей находится созвездие Дракона. По легенде Дракон (Змей) похищает юную красавицу. А красавица эта — знаменитая Полярная Звезда.

Еще в III в. до н. э. древнегреческие астрономы свели названия созвездий в единую систему, связанную с греческой мифологией. Эти названия впоследствии заимствовала европейская наука. Поэтому все созвездия, содержащие яркие звезды и видимые в средних широтах Северного полушария Земли, получили имена героев древнегреческих мифов и легенд (например, созвездия Цефея, Андромеды, Пегаса, Персея). Их изображения можно найти на старинных звездных картах: Большая Медведица и Малая Медведица, небесный охотник Орион, голова звездного быка — Тельца и др. (рис. 6). А, к примеру, созвездие Кассиопеи, названное в честь ми-



Рис. 6. Фрагмент атласа А. Целлариуса с изображением созвездий

фической царицы (рис. 7), белорусам представлялось в виде двух косцов, косящих траву (рис. 8). На современных астрономических картах нет рисунков мифических образов созвездий, но сохранены их древние названия.

Менее яркие созвездия были названы европейскими астрономами в XVI—XVIII вв. Все созвездия Южного полушария (невидимые в Европе) получили названия в эпоху Великих географических открытий, когда европейцы начали осваивать Новый свет (Америку).



Рис. 7. Созвездие Кассиопеи. Гравюра из атласа Яна Гевелия

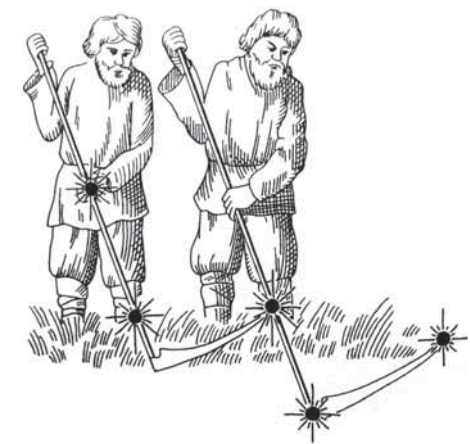


Рис. 8. Созвездие Кассиопеи в представлении белорусов

Однако с течением времени сложилась непростая ситуация — в разных странах использовались различные карты созвездий. Возникла необходимость унифицировать разделение звездного неба. Окончательное число и границы созвездий были определены на I съезде Международного астрономического союза в 1922 г. Вся сферическая поверхность звездного неба была условно разделена на 88 созвездий.

В настоящее время под **созвездием** понимается участок звездного неба с характерной наблюдаемой группировкой звезд. Эти площадки-созвездия носят названия либо древнегреческих созвездий, которые находились (или находятся) в границах современных, либо названия, присвоенные европейскими астрономами. Для облегчения запоминания и поиска созвездий в учебниках по астрономии и астрономических атласах яркие звезды, составляющие созвездия, соединены условными линиями в узнаваемые на небе фигуры. Созвездия, звезды которых образуют легко выделяемую на звездном фоне конфигурацию, или те, которые содержат яркие звезды, относятся к главным созвездиям (рис. 9).

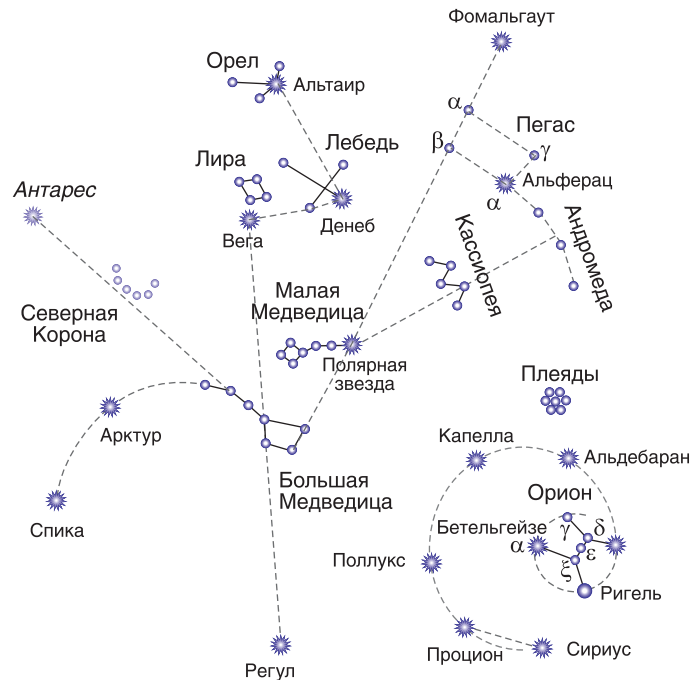


Рис. 9. Схема взаимного расположения главных созвездий и ярких звезд, видимых в средних географических широтах

Над горизонтом на ясном звездном небе невооруженным глазом можно увидеть около 3000 звезд. Они различаются по своему блеску: одни заметны сразу, другие едва различимы. Поэтому еще во II веке до н. э. *Пинпарх*, один из основоположников астрономии, ввел условную **шкалу звездных величин**. Самые яркие звезды были отнесены к 1-й величине, следующие по блеску (слабее примерно в 2,5 раза) считаются звездами 2-й звездной величины, а самые слабые, видимые только в безлунную ночь, — звездами 6-й величины.

На звездном небе ярких звезд 1-й звездной величины — всего 12. На территории Республики Беларусь доступны наблюдениям 11 из них.

Многим ярким звездам древнегреческие и арабские астрономы дали названия: Вега, Сириус, Капелла, Альтаир, Ригель, Альдебаран и др. В дальнейшем яркие звезды в созвездиях стали обозначать буквами греческого алфавита, как правило, по мере убывания их блеска. С 1603 г. действует предложенная немецким астрономом *Иоганном Байером* система обозначений звезд. В системе Байера название звезды состоит из двух частей: из названия созвездия, которому принадлежит звезда, и буквы греческого алфавита. При этом первая буква греческого алфавита α соответствует самой яркой звезде в созвездии, β — второй по блеску звезде и т. д. Например, Регул — α Льва — это самая яркая звезда в созвездии Льва, Денебола — β Льва — вторая по блеску звезда в этом созвездии.

По мере развития науки и в связи с изобретением телескопов количество исследуемых звезд все увеличивалось. Для их обозначения уже не хватало букв греческого алфавита. И тогда звезды начали обозначать латинскими буквами. Когда же закончились и они, звезды стали обозначать цифрами (например, 61 Лебедь).

2. Видимое суточное движение звезд. При наблюдении звездного неба на протяжении одного-двух часов мы убеждаемся в том, что оно вращается как единое целое таким образом, что с одной стороны звезды поднимаются, а с другой — опускаются. Для нас, жителей Северного полушария, звезды поднимаются с восточной части горизонта и смещаются вправо. Далее они достигают наивысшего положения в южной части неба и затем опускаются в западной части горизонта. В течение суток звездное небо со всеми находящимися на нем светилами совершает один оборот. Таким образом, *видимое суточное вращение звездного неба происходит с востока на запад, если стоять лицом к югу, т. е. по часовой стрелке.*



Рис. 10. Суточные дуги светил в полярной области неба

В северной части неба можно отыскать Полярную звезду. Кажется, что все небо вращается вокруг нее (рис. 10). На самом же деле вокруг своей оси вращается Земля с запада на восток, а весь небосвод вращается в обратном направлении с востока на запад. Полярная звезда для данной местности остается почти неподвижной и на одной и той же высоте над горизонтом. Очевидно, что **суточное движение звезд** (светил) — наблюдаемое кажущееся явление вращения небесного свода — отражает действительное вращение земного шара вокруг оси.

3. Основные точки, линии и плоскости небесной сферы. Нам кажется, что все звезды расположены на некоторой шаровой поверхности

небосвода и одинаково удалены от наблюдателя. На самом деле они находятся от нас на различных расстояниях, которые так огромны, что глаз не может заметить эти различия. Поэтому воображаемую шаровую поверхность стали называть небесной сферой.

Небесная сфера — это воображаемая сфера произвольного радиуса, центр которой в зависимости от решаемой задачи совмещается с той или иной точкой пространства. Центр небесной сферы может быть выбран в месте наблюдения (глаз наблюдателя), в центре Земли или Солнца и т. д. Понятием небесной сферы пользуются для угловых измерений, для изучения взаимного расположения и движения космических объектов на небе.

На поверхность небесной сферы проецируются видимые положения всех светил, а для удобства измерений строят на ней ряд точек и линий. Например, некоторые из звезд «ковша» Большой Медведицы находятся далеко одна от другой, но для земного наблюдателя они проецируются на один и тот же участок небесной сферы (рис. 11).

Прямая, проходящая через центр небесной сферы (рис. 12) и совпадающая с направлением нити отвеса в месте наблюдения, называется **отвесной** или **вертикальной линией**. Она пересекает небесную сферу в точках **зенита** (верхняя точка пересечения отвесной

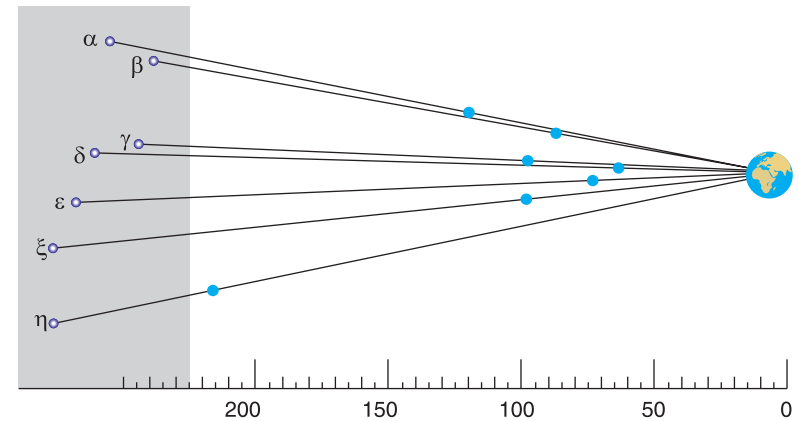


Рис. 11. Схема проецирования звезд в созвездии Большой Медведицы на небесной сфере

линии с небесной сферой) и **надира** (точка небесной сферы, противоположная зениту). Плоскость, проходящая через центр небесной сферы и перпендикулярная отвесной линии, называется **плоскостью истинного или математического горизонта**.

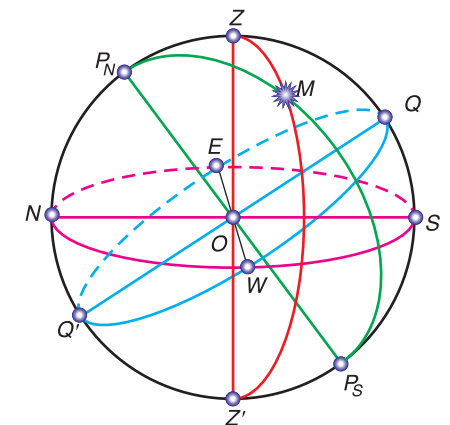
Вертикальный круг, или **вертикал светила**, — это большой круг небесной сферы, проходящий через зенит, светило и надир.

Ось мира — прямая, проходящая через центр небесной сферы параллельно оси вращения Земли, пересекающая небесную сферу в двух диаметрально противоположных точках.

Точка пересечения оси мира с небесной сферой, вблизи которой находится Полярная звезда, называется **Северным полюсом мира**,

Рис. 12. Небесная сфера:

O — центр небесной сферы (место нахождения наблюдателя); P_N — Северный полюс мира; P_S — Южный полюс мира; $P_N P_S$ — ось мира (полярная ось); Z — зенит; Z' — надир; E — восток; W — запад; N — север; S — юг; Q — верхняя точка небесного экватора; Q' — нижняя точка небесного экватора; ZZ' — вертикальная линия; $P_N M P_S$ — круг склонения; NS — полуденная линия; M — светило на небесной сфере



противоположная точка — **Южным полюсом мира**. Полярная звезда отстоит от Северного полюса мира на угловом расстоянии около 1° (точнее $44'$).

Большой круг, проходящий через центр небесной сферы и перпендикулярный оси мира, называют **небесным экватором**. Он делит небесную сферу на две части: **Северное полушарие** с вершиной в Северном полюсе мира и **Южное** — с вершиной в Южном полюсе мира.

Круг склонения светила — большой круг небесной сферы, проходящий через полюсы мира и светило.

Суточная параллель — малый круг небесной сферы, плоскость которого перпендикулярна оси мира.

Большой круг небесной сферы, проходящий через точки зенита, надира и полюсы мира, называется **небесным меридианом**. Небесный меридиан пересекается с истинным горизонтом в двух диаметрально противоположных точках. Точка пересечения истинного горизонта и небесного меридиана, ближайшая к Северному полюсу мира, называется **точкой севера**. Точка пересечения истинного горизонта и небесного меридиана, ближайшая к Южному полюсу мира, называется **точкой юга**. Линия, соединяющая точки севера и юга, называется **полуденной линией**. Она лежит на плоскости истинного горизонта. По направлению полуденной линии падают тени от предметов в полдень.

С небесным экватором истинный горизонт также пересекается в двух диаметрально противоположных точках — **точке востока** и **точке запада**. Для наблюдателя, стоящего в центре небесной сферы

лицом к точке севера, точка востока будет расположена справа, а точка запада — слева. Помня это правило, легко ориентироваться на местности.

Видимый годовой путь Солнца среди звезд называется **эклиптикой**. В плоскости эклиптики лежит путь Земли вокруг Солнца, т. е. ее орбита. Она наклонена к небесному экватору под углом $23^\circ 27'$ и пересекает его в точках весеннего (Υ , около 21 марта) и осеннего (\varOmega , около 23 сентября) равноденствия (рис. 13).

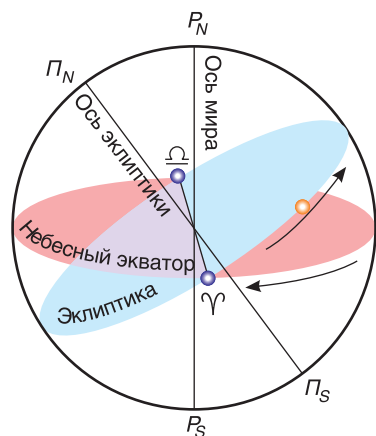


Рис. 13. Эклиптика

Главные выводы

1. Созвездие — участок неба с характерной наблюдаемой группировкой звезд и других постоянно находящихся в нем астрономических объектов, выделенный для удобства ориентировки и наблюдения звезд.
2. Шкала звездных величин, предложенная Гиппархом, позволяет различать звезды по своему блеску.
3. Наблюдаемое суточное движение звезд является отражением действительного вращения Земли вокруг своей оси.
4. Небесная сфера — воображаемая сфера произвольного радиуса с центром в выбранной точке пространства.
5. Видимый годовой путь Солнца среди звезд называется эклиптикой.

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

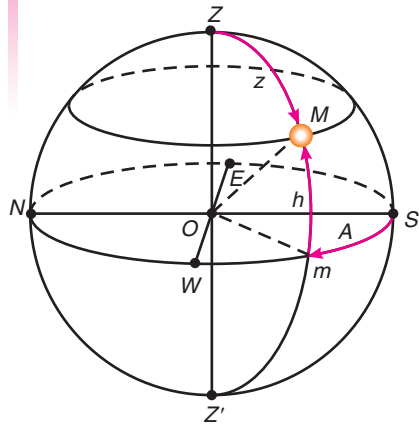


Рис. 14. Горизонтальная система координат: h — высота светила M над горизонтом; z — зенитное расстояние; A — азимут

Угловое расстояние, измеренное вдоль истинного горизонта, от точки юга до точки пересечения горизонта с вертикальным кругом, проходящим через светило M (см. рис. 14). Азимут отсчитывается к западу от точки юга в пределах от 0 до 360° .

Горизонтальная система координат используется при топографической съемке, в навигации. Вследствие суточного вращения небесной сферы высота и азимут светила со временем изменяются. Следовательно, горизонтальные координаты имеют определенное значение только для известного момента времени.

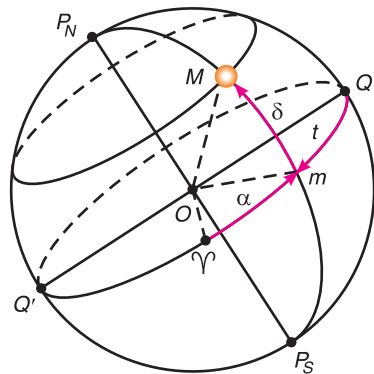


Рис. 15. Экваториальная система небесных координат: δ — склонение светила M ; α — прямое восхождение; t — часовой угол

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 части небесной сферы, и от 0 до -90° к надиру, если светило находится под горизонтом.

Для измерения азимутов за начало отсчета принимается точка юга. **Азимут светила** — угловое расстояние, измеренное вдоль истинного горизонта, от точки юга до точки пересечения горизонта с вертикальным кругом, проходящим через светило M (см. рис. 14). Азимут отсчитывается к западу от точки юга в пределах от 0 до 360° .

Угловое расстояние от зенита до светила, измеренное вдоль вертикального круга, называется **зенитным расстоянием** (z). Оно отсчитывается в пределах от 0 до $+180^\circ$ к надиру. Высота и зенитное расстояние связаны соотношением: $z + h = 90^\circ$.

Экваториальная система координат. Для построения звездных карт и составления звездных каталогов за основной круг небесной сферы удобно принять круг небесного экватора (рис. 15). Не-

бесные координаты, в системе которых основным кругом является небесный экватор, называются экваториальной системой координат. В этой системе координатами служат **склонение** (δ) и **прямое восхождение** (α).

Склонение светила — угловое расстояние светила M от небесного экватора, измеренное вдоль круга склонения. Склонение отсчитывается в пределах от 0 до $+90^\circ$ к Северному полюсу мира и от 0 до -90° к Южному полюсу мира.

За начальную точку отсчета на небесном экваторе принимается точка весеннего равноденствия Υ , где Солнце бывает в день весеннего равноденствия, около 21 марта.

Прямое восхождение светила — угловое расстояние, измеренное вдоль небесного экватора, от точки весеннего равноденствия до точки пересечения небесного экватора с кругом склонения светила. Прямое восхождение отсчитывается в сторону, противоположную суточному вращению небесной сферы, в пределах от 0 до 360° в градусной мере или от 0 до 24^h в часовой мере.

Для некоторых астрономических задач (связанных с измерением времени) вместо прямого восхождения (α) вводится **часовой угол** (t) (см. рис. 15). Часовой угол отсчитывается от верхней точки небесного экватора, т. е. той точки, в которой небесный экватор пересекается с небесным меридианом в южной стороне. Таким образом, 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, подобно азимуту.

Координаты звезд (α , δ) 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 Hubble Guide Star Catalog (GSC) содержит почти 19 млн объектов.

2. Лунно-солнечная прецессия. Если бы Земля имела форму идеального абсолютно твердого шара с однородной плотностью, то направление оси вращения Земли в пространстве и период ее вращения оставались бы постоянными на протяжении любого промежутка времени. Однако под воздействием притяжения Луны и Солнца из-за неправильности формы Земли при одновременном движении Земли вокруг Солнца и вращении ее вокруг оси, ось Земли описывает конус. Так как ось Земли меняет свое направление, то перпендикулярная ей плоскость экватора также будет поворачиваться соответствующим образом, что приводит к перемещению точки весеннего равноденствия. Происходит так называемая **лунно-солнечная прецессия**. Явление прецессии (или предварения равноденствий) заключается в том, что точка весеннего равноденствия не остается на одном месте, а перемещается навстречу видимому годичному движению Солнца. Вследствие этого прецессии полюса мира также перемещаются среди звезд. Учитывая прецессию от воздействия притяжения планет на Землю, точка весеннего равноденствия смещается на $50,3''$ в год или на 1° в 71,6 года, совершая полный оборот за 25 770 лет.

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 $\angle PON = h_p$. Направление оси мира OP параллельно земной оси. Угол при центре Земли $\angle OO'q$ соответствует географической широте места наблюдения φ . Так как радиус Земли в точке наблю-

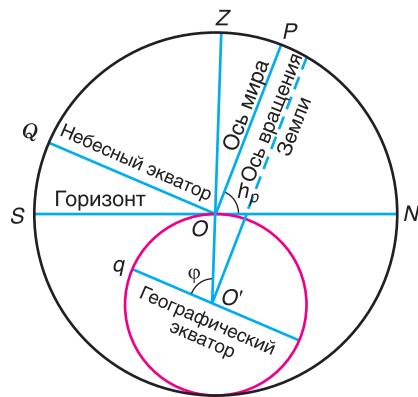


Рис. 16. Высота полюса мира над горизонтом

дения перпендикулярен плоскости истинного горизонта, а ось мира перпендикулярна плоскости географического экватора, то $\angle PON$ 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 δ_z . Поэтому можно записать, что

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

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.

- Положение светила на небесной сфере относительно принятой основной плоскости и точки начала отсчета однозначно определяется двумя угловыми величинами (центральными углами или соответствующими дугами больших кругов), которые называются небесными координатами.
- Угловая высота полюса мира над горизонтом равна географической широте места наблюдения.
- Восход и заход светила — явления пересечения светилом горизонта.
- Звездные карты — проекции небесной сферы на плоскость с нанесенными на нее объектами в определенной системе координат, а их набор — звездные атласы.

Контрольные вопросы и задания

- Какие системы небесных координат вам известны? В чем заключается принципиальная разница между различными системами небесных координат?
- Дайте описание горизонтальной и экваториальной системы координат. Какие координаты используются в этой системе?
- Почему в астрономии используют различные системы координат?
- Как определить высоту полюса мира над горизонтом?
- Какие звезды называют восходящими и заходящими, невосходящими и незаходящими?
- Определите склонения звезд, доступных наблюдению на широте вашего населенного пункта.

§ 4. Определение географической широты

1. Кульминация светил. При своем 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. Точка **нижней кульминации** светила более удалена от точки зенита, чем точка верхней кульминации, и 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**.

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 зависимость между географическими и небесными координатами.

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 восходящая и заходящая звезда находится в верхней кульминации M_1 . Высота полюса мира равна географической широте φ . Как видно из рисунка, $\angle QOS$ равен $90^\circ - \varphi$ и представляет собой наклон небесного экватора к плоскости горизонта. Дуга M_1S (или $\angle M_1OS$) — это высота светила над горизонтом. Эта дуга состоит из сумм двух дуг: $M_1S = SQ + QM_1$. Учитывая, что дуга SQ , опирающаяся на $\angle QOS$, определяется величиной $90^\circ - \varphi$, а дуга QM_1 обозначает угловое расстояние звезды от небесного экватора и определяется величиной склонения δ , получим формулу для определения высоты звезды в ее верхней кульминации:

$$h_B = (90^\circ - \varphi) + \delta. \quad (1)$$

Для незаходящей звезды нижняя кульминация M'_2 измеряется дугой M'_2N или соответствующим центральным углом ($\angle M'_2ON$). Указанный угол равен разности $\angle M'_2OQ'$ и $\angle NOQ'$, где $\angle M'_2OQ' = \delta$ — угловое расстояние светила от небесного экватора, а $\angle NOQ' = 90^\circ - \varphi$ — наклон небесного экватора к плоскости горизонта. Значит, высота звезды в нижней кульминации равна:

$$h_H = \delta - (90^\circ - \varphi). \quad (2)$$

Если обе кульминации незаходящей звезды находятся по одну сторону от зенита (например, M_3 и M'_3), то ее верхняя кульминация

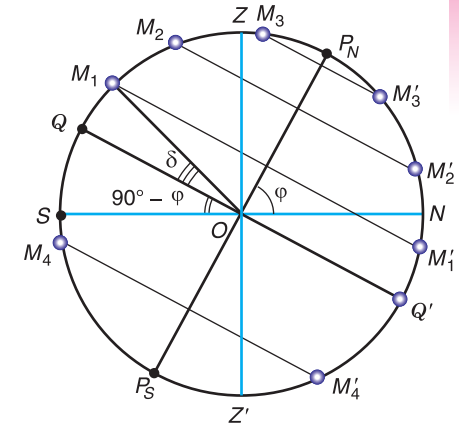


Рис. 17. Кульминация светил