**СИСТЕМЫ НЕБЕСНЫХ КООРДИНАТ.**

**Географическая система координат.** Географическая система координат предназначена для определения места положения какой-либо точки на поверхности Земли. Для этого земной шар мысленно окутывают координатной сеткой (рис. 1.), которая очерчивает на поверхности планеты круги. Круг наибольшего диаметра, перпендикулярный оси *NS* вращения Земли, называют *экватором*, а малые круги, параллельные экватору - *параллелями*. Круги, перпендикулярные экватору и проходящие через северный и южный географические полюса планеты, называют *меридианами*. Начальной параллелью принято считать экватор, а начальным меридианом - тот меридиан, который проходит через Гринвичскую обсерваторию (Англия). Географическая система координат позволяет однозначно определить положение любой точки на поверхности планеты при помощи двух координат - *широты* и *долготы* .

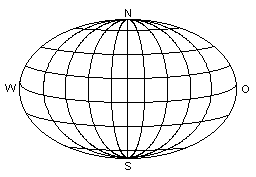


Рис. 1

*Географической долготой* называется двугранный угол между плоскостью нулевого меридиана и плоскостью меридиана (рис. 2), проходящего через данную точку *М* земной поверхности. В астрономии принято отсчитывать долготы к востоку от начального меридиана (т. е. в сторону суточного вращения Земли) в пределах от 0 до 360 или от 0 до 24. Однако, допускается отсчёт долготы от 0 до +180 (или от 0 до +12) к востоку (восточная долгота) и от 0 до -180 к западу (западная долгота) от нулевого меридиана.



*Астрономической* (или *географической*) *широтой* называется угол между плоскостью экватора и отвесной линией в данной точки поверхности Земли. Отсчитывают широты от 0 до 90 в северном полушарии и 0 до -90 в южном полушарии.





Рис. 2.

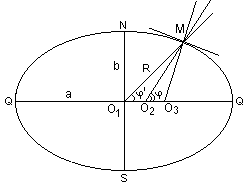


Рис. 3.

Поскольку земной шар представляет собой эллипсоид вращения и масса по объёму земного шара распределена не равномерно, то отвесная линия может не совпадать с нормалью к касательной плоскости в данной точке поверхности планеты. Поэтому иногда, помимо астрономической широты, приходится различать ещё геодезическую и геоцентрическую широты.



*Геодезической широтой* называется угол между плоскостью земного экватора и отвесной линией в данной точки поверхности Земли (рис.3).



*Геоцентрической широтой* (обозначения не имеет) называется угол между плоскостью экватора и отвесной линией в данной точки поверхности Земли.



Разность между геоцентрической и астрономической широтами на полюсах и на экваторе равна нулю, а в других точках планеты не превышает .



Геоцентрическую широту можно вычислить по следующей формуле:



, (1)



где

.



В этой формуле - астрономическая широта, а - сплюснутость Земли.



Радиус-вектор *R* можно определить по формуле

, (2)



где *а* - экваториальный радиус Земли.

В 1976 г. Международным астрономическим союзом (МАС) были приняты следующие значения параметров земного эллипсоида:

*а*=6 378 140 м, *b*=6 356 755 м, =1 : 298,257.



С учётом этих данных формулы (1) и (2) принимают вид:

, (3)



. (4)



**СИСТЕМЫ НЕБЕСНЫХ КООРДИНАТ.**

**Элементы небесной сферы.** *Небесной сферой* называется некоторая сфера произвольного и достаточно большого радиуса, проведённая из точки наблюдения. Существует несколько способов графического представления небесной сферы, отличающихся друг от друга лишь набором параметров, необходимых для решения тех или иных задач.

*Небесным меридианом* называется большой круг небесной сферы, проходящий через отвесную линию и *ось мира*. Из соображений удобства принято небесный меридиан изображать в плоскости листа бумаги.



*Отвесной* (или *вертикальной*) *линией* называется линия , параллельная или совпадающая с направлением нити отвеса и проходящая через глаз наблюдателя *О* (центр небесной сферы). Точки пересечения отвесной линии с небесной сферой называются *зенитом* (точно над головой наблюдателя) и *надиром* (точка, диаметрально противоположная точке зенита).



Рис. 1

*Математическим* (или *истинным*) *горизонтом* называется большой круг небесной сферы, перпендикулярный отвесной линии.



*Осью мира* называется ось, вокруг которой происходит кажущееся вращение небесной сферы.



*Небесным экватором* называется большой круг небесной сферы, перпендикулярный оси мира .



*Плоскостью эклиптики* называется плоскость орбиты Земли, то есть плоскость, перпендикулярная оси вращения планеты. Плоскость эклиптики составляет с плоскостью небесного экватора угол 23°26’, который вследствие прецессии земной оси вращения периодически изменяется в незначительных пределах.

**Горизонтальная система координат.** Основными параметрами горизонтальной системы координат (рис. 5) являются круг высоты, отвесная линия и плоскость истинного горизонта.

*Кругом высоты* (или *вертикальным кругом* или *вертикалом*)называется большой круг небесной сферы, проходящий через зенит, надир и данное светило *М*. Координатами светила в горизонтальной системе координат являются высота и азимут.



Рис. 2

*Высота светила* над горизонтом определяется величиной центрального угла между плоскостью истинного горизонта и направлением на светило *М.* Измеряется высота от 0 до 90 в северном полушарии и 0 до -90 в южном полушарии. Высота светила над горизонтом может быть выражена *зенитным расстоянием* этого светила, т. е. величиной центрального угла между отвесной линией и направлением на светило *М.* Зенитное расстояние отсчитывается от точки зенита вдоль вертикала, проходящего через данное светило *М* от 0 до 180 (или от 0 до 12). Понятно, что высота светила и его зенитное расстояние связаны между собой простым соотношением:



. (5)



Малый круг небесной сферы, параллельный истинному горизонту и проходящий через данное светило *М*, называется *альмукантаратом*. Все светила одного и того же альмукантарата имеют одну и ту же высоту над горизонтом. Для того, чтобы окончательно определить положение данного светила, используется вторая координата - азимут.

*Астрономическим азимутом А светила* называется угловое расстояние , отсчитываемое вдоль плоскости истинного горизонта от точки юга *S* до вертикала, проходящего через данное светило *M*. Обычно азимут отсчитывают в сторону запада (в сторону суточного вращения небесной сферы) от 0 до 360 (или от 0 до 24). Это - астрономический азимут. Однако, в геодезии принято пользоваться *геодезическим азимутом* , отсчитываемым от точки севера в пределах от 0 до 180 (или от 0 до 12) к западу (западный азимут) и от 0 до -180 (или от 0 до -12) к востоку (восточный азимут). Между астрономическим и геодезическим азимутами имеет место очевидное соотношение:



. (6)



**Экваториальные системы координат.** Различают две экваториальные системы координат, которые отличаются друг от друга лишь одной из координат. Каждая из экваториальных систем может быть получена путём поворота горизонтальной системы координат вокруг её центра на угол ( - астрономическая широта пункта наблюдения). При этом все элементы горизонтальной системы отобразятся в совершенно аналогичные элементы экваториальных систем координат: отвесная линия перейдёт в ось мира , плоскость истинного горизонта - в плоскость небесного экватора , а круг высоты заменится кругом склонений (рис. 6).



Рис. 3

Первой координатой светила на небесной сфере в обеих экваториальных системах координат является склонение или полярное расстояние. Второй координатой является часовой угол (в первой экваториальной системе координат) или прямое восхождением (во второй экваториальной системе координат).



*Склонением* называется центральный угол , отсчитываемый вдоль круга склонений от плоскости небесного экватора до направления на светило *М*. Склонение отсчитывается от 0 до 90 в северном полушарии и от 0 до -90 в южном. Склонение может быть заменено *полярным расстоянием р*, т. е. центральным углом , отсчитываемым вдоль круга склонений от северного полюса мира до направления на светило. Полярное расстояние измеряется от северного полюса мира к южному в пределах от 0 до 180 (или от 0 до 12). Между склонением и полярным расстоянием очевидна простая связь:



. (7)



Малый круг небесной сферы, параллельный небесному экватору, называется *суточной* (или *небесной*) *параллелью*. Понятно, что все светила, имеющие одно и то же склонение, лежат на одной суточной параллели.

*Часовым углом t* называется угловое расстояние, отсчитываемое вдоль небесного экватора от верхней его точки до круга склонений, проходящего через данное светило. Часовой угол отсчитывается в сторону запада (т. е. в сторону суточного вращения небесной сферы) от 0 до 360 (или от 0 до 24).



*Прямым восхождением* светила называется угловое расстояние, отсчитываемое вдоль небесного экватора от точки весеннего равноденствия до круга склонений, проходящего через данное светило. Прямое восхождение отсчитывается в сторону востока от 0 до 360 (или от 0 до 24).



|  |  |
| --- | --- |
| **ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ** | **ЭКВАТОРИАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ** |
| Небесный меридиан | Небесный меридиан |
| Точки зенита и надира | Точки северного и южного полюсов мира |
| Отвесная линия | Ось мира |
| Точки севера и юга | Нижняя и верхняя точки небесного экватора |
| Плоскость истинного горизонта | Плоскость небесного экватора |
| Вертикал | Круг склонений |
| Высота светила над горизонтом | Склонение |
| Зенитное расстояние | Полярное расстояние |
| Астрономический азимут | Часовой угол |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ** | **ПЕРВАЯ ЭКВАТОРИАЛЬНАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ** | **ВТОРАЯ ЭКВАТОРИАЛЬНАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ** |
| Первая  координата | Высота: h= h= | Склонение:  δ= δ= | Склонение:  δ=  δ= |
| Зенитное расстояние: Z= | Полярное расстояние:  p= | Полярное расстояние:  p= |
| Вторая  координата | Астрономический азимут: А=  (к западу) | Часовой угол:  t=  t=  (к западу) | ⎯ |
| Геодезический азимут: А’=  (к востоку) | ⎯ | Прямое восхождение:  α= α=  (к востоку) |

**Эклиптическая система координат.** Эклиптическая система координат (рис. 7) может быть получена из экваториальной системы путём мысленного его поворота вокруг центра небесной сферы на угол 23°26’ (угол наклона оси вращения Земли к плоскости эклиптики (плоскости земной орбиты)). При этом аналогом оси мира становится ось эклиптики, а аналогом плоскости небесного экватора - плоскость эклиптики. Точки и , в которых ось эклиптики пересекает небесный меридиан, называются *северным и южным полюсами эклиптики* соответственно. Точки пересечения эклиптики с плоскостью небесного экватора называются точками весеннего равноденствия (точка, в которой Солнце переходит из южного полушария в северное) и осеннего равноденствия (точка, в которой Солнце переходит из северного полушария в южное). Точки, отстоящие от равноденственных на 90° называются точками летнего () и зимнего () солнцестояния. Большой круг небесной сферы, проходящий через полюсы эклиптики и светило, называется кругом астрономической широты. Координаты светила в эклиптической системе координат определяются астрономической широтой и астрономической долготой.



Рис. 4

*Астрономической широтой* называется угловое расстояние от плоскости эклиптики до светила, отсчитываемое вдоль круга широты. Астрономическая широта отсчитывается от 0 до 90° в северном полушарии и от 0 до -90° - в южном.

*Астрономической долготой* называется угловое расстояние от точки весеннего равноденствия до круга широты данного светила. Отсчитывается астрономическая долгота вдоль плоскости эклиптики в сторону видимого годичного движения Солнца от 0 до 360°.

*Светила, расположенные на одном круге широты, имеют одинаковые астрономические долготы*.

**Галактическая система координат.**

*Галактическим экватором* называется большой круг *G* небесной сферы (рис. 8), наиболее близкий к средней линии Млечного Пути. Положение галактического экватора задаётся экваториальными координатами его северного полюса Г, то есть точки, отстоящей на 90° от всех точек галактического экватора и находящейся в северном полушарии небесной сферы. Диаметрально противоположная точка называются южным галактическим полюсом.



*Кругом галактической широты* светила называется большой круг небесной сферы , проходящий через галактические полюсы и через светило *М*.



Рис. 8. Галактическая система координат.



*Восходящим узлом* галактического экватора на небесном экваторе называется точка пересечения небесного экватора с галактическим экватором, где Млечный Путь переходит из южного полушария в северное, если при этом идти против часовой стрелки и смотреть со стороны северного галактического полюса.

*Галактической широтой* светила называется угловое расстояние по кругу галактической широты *СМ* от галактического экватора до светила. Галактические широты обозначаются буквой *b* и отсчитываются от 0 до +90° к северному галактическому полюсу и от 0 до -90° к южному галактическому полюсу.

Галактической долготой светила называется угловое расстояние по галактическому экватору *С* от восходящего узла галактического экватора на небесном экваторе до круга галактической широты, проходящего через светило. Галактические долготы обозначаются буквой *l* и отсчитываются от 0 до 360° в каждую сторону, противоположную движению часовой стрелки, если смотреть на плоскость галактического экватора со стороны его северного полюса.

С 1971 года принята новая система галактических координат, в которой долгота *l* отсчитывается не от восходящего узла , а от точки галактического экватора, соответствующей направлению на центр Галактики. Эта точка отстоит на = 33°, 0 к западу от восходящего узла. Следовательно, галактическая долгота *l* в новой системе и долгота в старой системе связаны соотношением:



.



Если при этом окажется *l >* 360°, то из полученного значения *l* следует вычесть 360°.

**СИСТЕМЫ СЧЁТА ВРЕМЕНИ**

Основной единицей меры времени являются сутки. *Сутками называется промежуток времени, в течении которого Земля совершает один полный оборот вокруг своей оси вращения относительно какой-либо точки на небесной сфере*. В зависимости от специфики решаемой задачи принято выбирать одну из трёх точек на небесной сфере:

1. истинное Солнце (или просто Солнце),
2. среднее экваториальное солнце,
3. точка весеннего равноденствия.

Сутки, связанные с выбором одной из этих точек на небесной сфере, называются соответственно истинными солнечными, средними солнечными и звёздными сутками.

**Истинное солнечное время.** Истинным солнцем называется центр видимого на небе солнечного диска. *Истинными солнечными сутками* называется промежуток времени между двумя ближайшими одноимёнными кульминациями истинного Солнца на одном и том же географическом меридиане. За начало истинных солнечных суток принимается момент нижней кульминации истинного солнца, называемый *истинной полночью*. Промежуток времени от начала истинных солнечных суток до любого другого момента времени называется *истинным солнечным временем* на данном географическом меридиане.



*Истинное солнечное время на данном меридиане числено равно часовому углу истинного солнца, выраженному в часовой мере, пляс 12*:



. (1)



Пользоваться в повседневной жизни истинными солнечными сутками крайне неудобно по двум причинам. Во-первых, линейная скорость Земли по орбите не постоянна (это связано с эллиптичностью земной орбиты). Летом она меньше чем зимой. Это приводит к непостоянству скорости суточного движения истинного солнца по небесной сфере. Поэтому продолжительность истинных солнечных суток оказывается разной в разное время года: летом истинные солнечные сутки короче, а зимой - длиннее. Во - вторых, истинное Солнце движется, как известно, не по небесному экватору, а в плоскости эклиптики, наклонённой к плоскости небесного экватора на угол . В результате центр солнечного диска каждый раз в моменты восхода и захода появляется над горизонтом в различных точках. Избавиться от этих двух неприятных обстоятельств можно, если ввести две фиктивные (ничем на небе не отмеченные) точки, называемые средним эклиптическим и средним экваториальным солнцем. Это позволяет ввести понятие средних солнечных суток, лишённых упомянутых выше недостатков, связанных с непостоянством продолжительности истинных солнечных суток и с наклоном эклиптики к плоскости экватора.



**Среднее солнечное время и уравнение времени.** *Средним эклиптическим солнцем* называется некоторая фиктивная точка (никак на небе не отмеченная), движущаяся по той же траектории что и истинное Солнце, т. е. по эклиптике, с постоянной скоростью, равной средней скорости истинного Солнца. Введение среднего эклиптического солнца, таким образом, устраняет неприятность, связанную с зависимостью продолжительности солнечных суток от времени года, но не снимает проблемы, связанной с наклоном эклиптики к экватору. Для устранения второго обстоятельства вводят ещё одну фиктивную точку, называемую средним экваториальным солнцем.

*Средним экваториальным солнцем* называется некоторая фиктивная точка, движущаяся по небесному экватору с постоянной скоростью, равной скорости среднего эклиптического солнца. Таким образом среднее экваториальное солнце, поскольку оно движется по небесному экватору и с постоянной скоростью, позволяет строить такую систему счёта времени, в которой продолжительность суток в течении года остаётся неизменной. В этой системе счёта времени с*редними солнечными сутками* называется промежуток между двумя ближайшими одноимёнными кульминациями среднего экваториального солнца на одном и том же географическом меридиане. За начало средних солнечных суток принимается момент нижней кульминации среднего экваториального солнца, называемый *средней полночью*. Промежуток времени от начала средних солнечных суток до любого другого момента времени называется *средним солнечным временем*  на данном географическом меридиане.



*Среднее солнечное время на данном меридиане числено равно часовому углу среднего экваториального солнца, выраженному в часовой мере, плюс 12*:



. (2)



По причине непостоянства скорости истинного Солнца моменты времени в обеих системах совпадают далеко не всегда. Среднее экваториальное солнце то отстаёт от истинного, то опережает его. Соответствующая разность моментов времени обеих систем называется *уравнением времени*:

. (3)



Уравнение времени позволяет получить связь между истинным и средним солнечными временами. Для этого достаточно в уравнения (1) и (2) подставить и , выраженные из уравнения времени (3):



(4)



**Звёздное время.** *Звёздными сутками* называется промежуток между двумя ближайшими одноимёнными кульминациями точки весеннего равноденствия на одном и том же географическом меридиане. За начало звёздных суток принимается момент верхней кульминации точки весеннего равноденствия, называемый *звёздным полднем*. Промежуток времени от начала звёздных суток до любого другого момента времени называется *звёздным временем s* на данном географическом меридиане.

*Звёздное время s на данном географическом меридиане числено равно часовому углу точки весеннего равноденствия, выраженному в часовой мере*:



. (5)



*Звёздное время s на данном географическом меридиане также может быть определено суммой часового угла t* *любого светила и прямого восхождения того же светила*:



. (6)



Иногда приходится осуществлять переход от звёздного времени к солнечному или наоборот. Для этого необходимо сначала найти звёздное время на начало солнечных суток (положение точки весеннего равноденствия на небесной сфере на начало солнечных суток), а затем по таблицам отыскать звёздное время на данный момент истинного солнечного времени . Приближённо это можно сделать по формуле:



.



Величина приводится в астрономических календарях, а приближённо её можно рассчитать по формуле:



,



Такое несовпадение моментов солнечного и звёздного времени объясняется тем, что Солнце движется в направлении, противоположном суточному вращению Земли (с запада на восток). За сутки это перемещение составляет почти 1°, в результате чего солнечные сутки оказываются длиннее звёздных на . За год это составляет ровно одни сутки: звёздный год на одни сутки длиннее солнечного. Начала истинных солнечных и звёздных суток совпадают 23 сентября каждого года.



**Местное, всемирное и поясное время.** Истинное, среднее и звёздное время на том или ином географическом меридиане называют также *местным истинным, местным средним или местным солнечным временем*. Мы для краткости все такие времена будем именовать просто *местным временем*. Вполне понятно, что местное время в один и тот же момент на каждом географическом меридиане будет различным. Разность местных времён двух географических меридианов в один и тот же момент равен разности долгот этих меридианов, выраженных в часовой мере:

(7)



Естественно, что пользоваться местным временем в повседневной жизни не удобно. Поэтому из всего множества меридианов выбрали 24 основных, отстоящих друг от друга на 15. Один из них, проходящий через Гринвичскую обсерваторию (Англия), стали называть *нулевым или Гринвичским меридианом*, а местное время на нём *всемирным временем или временем по Гринвичу*. Все остальные меридианы пронумеровали от 0 да 23 в сторону к востоку от Гринвичского. Кроме того, с каждым из этих меридианов связали полоску земной поверхности шириной в 15 (7,5 к востоку от соответствующего меридиана и на 7,5 к западу от него). Такие полосы земной поверхности стали называть *часовыми поясами* и считать время в любой точке данного часового пояса одинаковым и равным местному времени на центральном меридиане данного часового пояса. Такое время называется *поясным временем*. Поясное время связано со всемирным временем очень простым соотношением:

, (8)



где - номер часового пояса, отсчитываемый от нулевого меридиана в сторону востока.



Следует отметить, что в действительности границы между часовыми поясами не совпадают в точности с меридианами, отстоящими от основного меридиана на 7,5, а согласуются с государственными и административными границами и, при необходимости, могут изменяться.

Разность поясных времён двух часовых поясов всегда является целым числом, равным разности номеров этих часовых поясов:

. (9)



Поясное время какого-либо пункта с восточной долготой может быть определено по формулам:



(10)



**Декретное время.** Весной 1930 г. правительством Советского Союза было принято постановление о переводе стрелок часов на 1 час вперёд относительно поясного времени:

. (4)



Такое время называется декретным. Местное время связано с декретным следующим выражением:

. (5)



Из соображений более рационального использования светлой части суток в большинстве регионов страны используется, так называемое, летнее время:

(6)



**Эфемеридное и атомное время.** Вследствие непрерывного уменьшения скорости вращения Земли все рассмотренные выше единицы счёта времени изменяются. Так, например, в 1900 году секунда была несколько короче тем сейчас. Это недопустимо сильно сказывается при расчётах движения тел в пределах Солнечной системы. Поэтому в астрономии вводится понятие *эфемеридного* (или *ньютоновского*) времени, единицей измерения которого является отрезок времени, равный одной средней солнечной секунде 1900 года.

Существует и более строгое определение секунды, как отрезка времени, равного 9 192 631 770 периодам колебаний электромагнитной волны, излучаемой атомом цезия. Система счёта времени, построенная на таком определении секунды называется *атомным временем*. Переход на атомное время был осуществлён в 1964 году, а в качестве эталона атомного времени Международным комитетом мер и весов были приняты атомные цезиевые часы. С 1 января 1972 года все страны мира перешли на счёт времени по этим часам.

**ПЕРЕХОД ОТ ОДНОЙ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ К ДРУГОЙ**

При решении многих задач практической астрономии приходится осуществлять переход от одной системы координат к другой и обратно. Эта операция выполняется при помощи сферической тригонометрии, для чего необходимо уметь решать так называемые сферические треугольники. Поэтому прежде рассмотрим основные понятия и начала математического аппарата сферической тригонометрии, после чего применим эту информацию к решению поставленной задачи.

## ЭЛЕМЕНТЫ СФЕРИЧЕСКОЙ ТРИГОНОМЕТРИИ

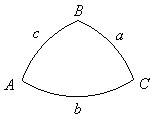


Рис. 9. Сферический треугольник.

Сферическим треугольником называется фигура на поверхности сферы, образованная пересечением трёх дуг больших кругов этой сферы (рис. 9). Вершины сферического треугольника принято обозначать большими буквами латинского алфавита, а противолежащие этим сторонам угла – соответственно малыми буквами.

Каждая сторона сферического треугольника меньше суммы двух других сторон:

.



Каждая сторона сферического треугольника больше разности двух других его сторон:



Полупериод сферического треугольника всегда больше каждой из его сторон:



Сумма сторон сферического треугольника всегда меньше 360°:

360°.



Сумма углов сферического треугольника всегда меньше 540° и больше 180°:

540°180°.



Разность между суммой трёх углов сферического треугольника и 180° называется *сферическим избытком* *Е*:

180°.



Площадь сферического треугольника *s* равна произведению сферического избытка на величину :



, (8)



где *R* – радиус сферы, на поверхности которой образован треугольник.

Косинус одной стороны сферического треугольника равен сумме произведения косинусов двух других его сторон и произведения синусов тех же сторон на косину угла между ними:

. (9)



Синусы сторон сферического треугольника пропорциональны синусам противолежащих им углов:

. (10)



или

. (11)



Синус стороны сферического треугольника, умноженный на косинус прилежащего угла, равен произведению синуса другой стороны, ограничивающей прилежащий угол, на косинус третьей стороны минус косинус стороны, ограничивающей угол, умноженный на произведение синуса третьей стороны на косинус угла, противолежащего первой стороне:

. (12)



*Полярным треугольником* для данного сферического треугольника называется такой сферический треугольник, по отношению сторон которого вершины данного являются полюсами, то есть отстоят от сторон на 90° (рис. 10).

Сумма угла данного сферического треугольника и соответствующей стороны полярного треугольника равна 180°:

(13)



и наоборот:

. (14)



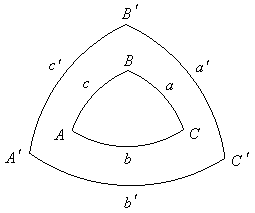


Рис. 10. Полярный треугольник *A’B’C’* для сферического треугольника *ABC*.

На основе этих свойств полярного треугольника и исходя из (8) – (12), можно получить другие зависимости между сторонами и углами сферического треугольника. Так, например:

.



Эти формулы, равно как и другие, которые могут быть получены на основании выражений (13) и (14), справедливы не только для полярного треугольника, но и вообще для всякого сферического треугольника.

Если в сферическом треугольнике один из углов равен 90°, то треугольник называется прямоугольным. Для решения прямоугольных сферических треугольников наиболее употребительны следующие формулы:

.



Для решения сферических треугольников со стороной *a* = 90° употребляются следующие формулы:

.



**ПЕРЕХОД ОТ ЭКВАТОРИАЛЬНЫХ КООРДИНАТ К ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ И ОБРАТНО**

В основе преобразований экваториальных координат в горизонтальные лежит сферический треугольник *PZM* (рис. 11), который называется *параллактическим*. Вершинами его являются зенит *Z*, полюс мира *P* и светило *М*. Сторона *ZP* представляет собой дугу небесного меридиана, сторона *ZM* – дугу вертикального круга, а сторона *PM* – дугу часового круга. Угол *q* треугольника называется *параллактическим углом*.



Рис. 11. Параллактический треугольник.

***Переход от экваториальных координат к географическим.***

Пусть даны географическая широта точки наблюдения, склонение светила и его прямое восхождение . Требуется найти зенитное расстояние *z* и азимут *А* для некоторого момента *Т* среднего солнечного времени (местного, поясного или декретного).



Прежде всего необходимо по моменту *Т* найти местное звёздное время *s* и вычислить часовой угол . Затем *s* и *A* вычисляются по формулам:



.



Так же возможно использование других формул:

.



Если , то *М* нужно брать в первом или третьем квадранте; если , то во втором или третьем квадранте. Если , то ; если , то . Кроме того, всегда .



Для контроля вычислений служит формула:

.



***Переход от горизонтальных координат к экваториальным.***

Пусть даны географическая широта точки наблюдения, зенитное расстояние *z* и азимут *A*. Требуется найти склонение светила , часовой угол t и прямое восхождение , если известно местное звёздное время *s* ().



Вычисления производятся по следующим формулам:

.



Возможно применение и других формул:

.



Квадранты *M* и *t* выбираются из тех же условий, что и в предыдущем случае.

Для контроля вычислений служит формула:

.



**ПЕРЕХОД ОТ ЭКВАТОРИАЛЬНЫХ КООРДИНАТ К ЭКЛИПТИЧЕСКИМ И ОБРАТНО**

В основе преобразований лежит сферический треугольник *РМ*П (рис. 12). Его вершинами являются: полюс мира *Р*, полюс эклиптики П и светило *М*. Сторона П*Р* равна углу наклона эклиптики к экватору , сторона П*М* равна полярному расстоянию , сторона , где - астрономическая широта светила. Угол , где - астрономическая долгота светила, а угол .



Рис. 12. Сферический треугольник, связывающий светило, полюс мира и полюс эклиптики.

Сферический треугольник, связывающий



***Переход от экваториальных координат к эклиптическим.***

Пусть даны прямое восхождение светила, его склонение и угол наклона эклиптики к экватору . Требуется найти астрономическую долготу светила и его астрономическую широту .



Вычисления производятся по следующим формулам:

.



Возможно применение других формул:

.



Квадрант для М выбирается по знаку , а лежит в том же квадранте, что и прямое восхождение .



Формула для контроля имеет вид:

.



***Переход от эклиптических координат к экваториальным.***

Пусть даны астрономическая долгота светила , его астрономическая широта и угол наклона эклиптики к экватору . Требуется найти прямое восхождение и склонение светила.



Вычисления производятся по следующим формулам:



или

.



Квадранты для М и выбираются из условий, аналогичных предыдущему случаю.



Формула для контроля вычислений имеют вид:

.



**ПЕРЕХОД ОТ ЭКВАТОРИАЛЬНЫХ КООРДИНАТ К ГАЛАКТИЧЕСКИМ**

В основе преобразований лежит сферический треугольник *Р*Г*М* (рис. 13), вершинами которого являются: северный полюс мира *Р*, северный галактический полюс Г и светило *М*. Сторона *РМ* равна , сторона Г*М* равна (*b* – галактическая широта светила), сторона Г*Р* равна (*D* – склонение северного галактического полюса, угол (*l* – галактическая долгота светила), угол (прямое восхождение светила, а *А* – прямое восхождение северного галактического полюса).



Пусть даны , склонение светила , *D* и *А*. Требуется найти *b* и *l*. Вычисления производятся по следующим формулам:



. (15)



Возможно применение других формул:

.



Для контроля вычислений применяется формула:



Рис. 13. Сферический треугольник, связывающий светило, полюс мира и галактический полюс.

.



В этих формулах положение галактического экватора задано прямым восхождением *А* и склонением *D* его северного полюса Г. Очень часто положение галактического экватора задаётся прямым восхождением ** его восходящего узла и углом наклонения *i* галактического экватора к небесному экватору. Эти четыре величины связаны между собой соотношениями:

,



.



Следовательно, сторона , а угол и формулы (15) приобретают вид:



. (16)



Так как положение галактического экватора определяется с точностью в лучшем случае до долей градуса, то *l* и *b* также вычисляются с точностью до одной десятой градуса. При этом пользуются готовыми таблицами, например, Ольсана «Lund Observatory Tables for the Conversion of Equatorial into Galactic Coordinates».

В этих таблицах приняты координаты северного галактического полюса для эпохи 1900,0, а именно: , *D* = +28°. Следовательно, *i* = 62°, а прямое восхождение узла  = 280°.



В 1961 году Тургорд опубликовал аналогичные таблицы с координатами северного галактического полюса для эпохи 1950б0. В этих таблицах принято , *D* = +27°,4, *i* = 62°,6 и  = 282°,2.

