

Л4: Суточное вращение небесной сферы

Кульминация светил. Восход и заход
светил. Эфемериды Полярной звезды



Вращение небесной сферы и связанные с ней понятия

-Ось мира

- воображаемая линия, пересекающая небесную сферу в северном и южном полюсах (вокруг неё происходит вращение небесной сферы).

-Полюсы мира

- Ось мира пересекается с поверхностью небесной сферы в двух точках — **се́верном по́люсе ми́ра** и **ю́жном по́люсе ми́ра**. Северным полюсом называется тот, со стороны которого вращение небесной сферы происходит по часовой стрелке, если смотреть на сферу *извне*.
- Если смотреть на небесную сферу *изнутри*, (что мы обычно и делаем, наблюдая звёздное небо), то в окрестности северного полюса мира её вращение происходит против часовой стрелки, а в окрестности южного полюса мира — по часовой стрелке.

-Небесный экватор

- **Небе́сный эква́тор** — большой круг небесной сферы, плоскость которого перпендикулярна оси мира. Небесный экватор делит поверхность небесной сферы на два полушария: **се́верное полуша́рие**, с вершиной в северном полюсе мира, и **ю́жное полуша́рие**, с вершиной в южном полюсе мира.

Явления, связанные с суточным вращением небесной сферы

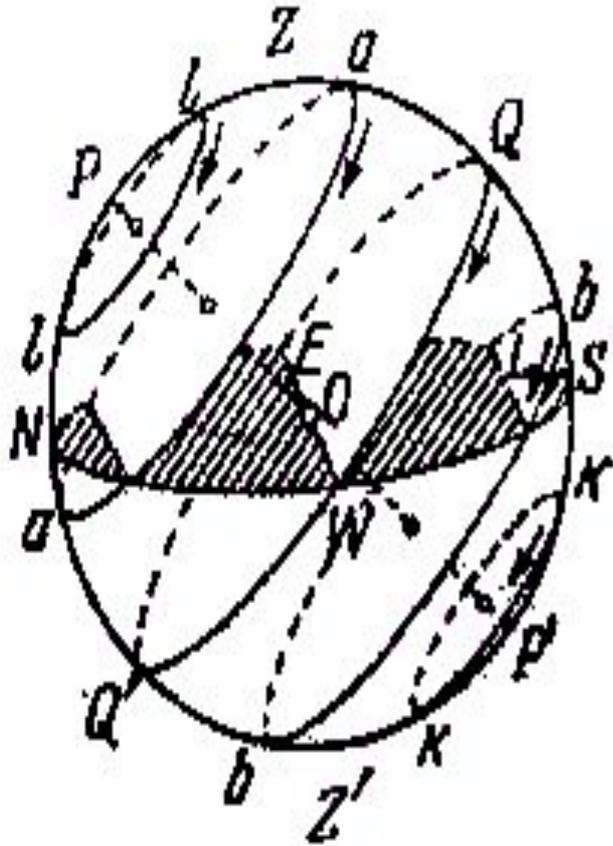


Рис. 8. Суточное движение светил в средних географических широтах.

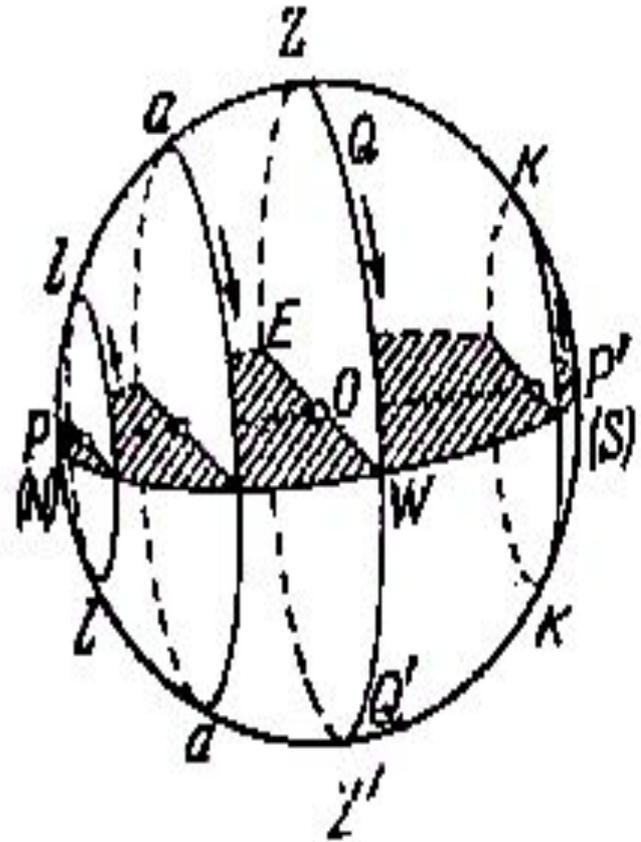
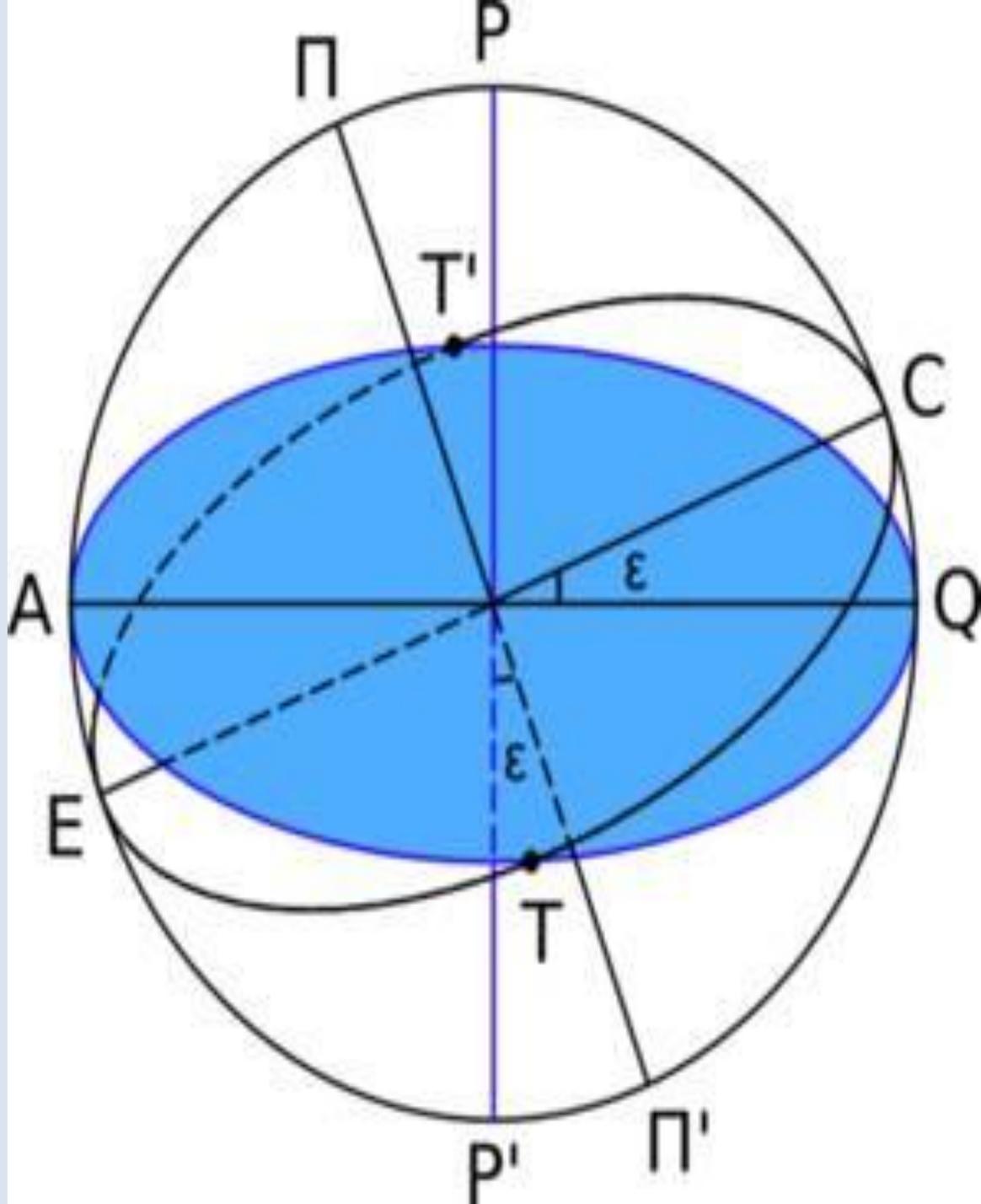


Рис. 9. Суточное движение светил на земном экваторе.

Небесная сфера

— воображаемая вспомогательная [сфера](#) произвольного радиуса, на которую проецируются небесные светила: служит для решения различных астрометрических задач. За центр небесной сферы, как правило, принимают глаз наблюдателя. Для находящегося на поверхности Земли наблюдателя вращение небесной сферы воспроизводит суточное движение светил на небе. Площадь небесной сферы с учетом непостоянства значения размеров дуги равных склонений составляет 41252.96 кв. градусов.

P, P' — полюсы мира, T, T' — точки равноденствия, E, C — точки солнцестояния, Π, Π' — полюса эклиптики, PP' — ось мира, $\Pi\Pi'$ — ось эклиптики, $ATQT'$ — небесный экватор, $ETCT'$ — эклиптика



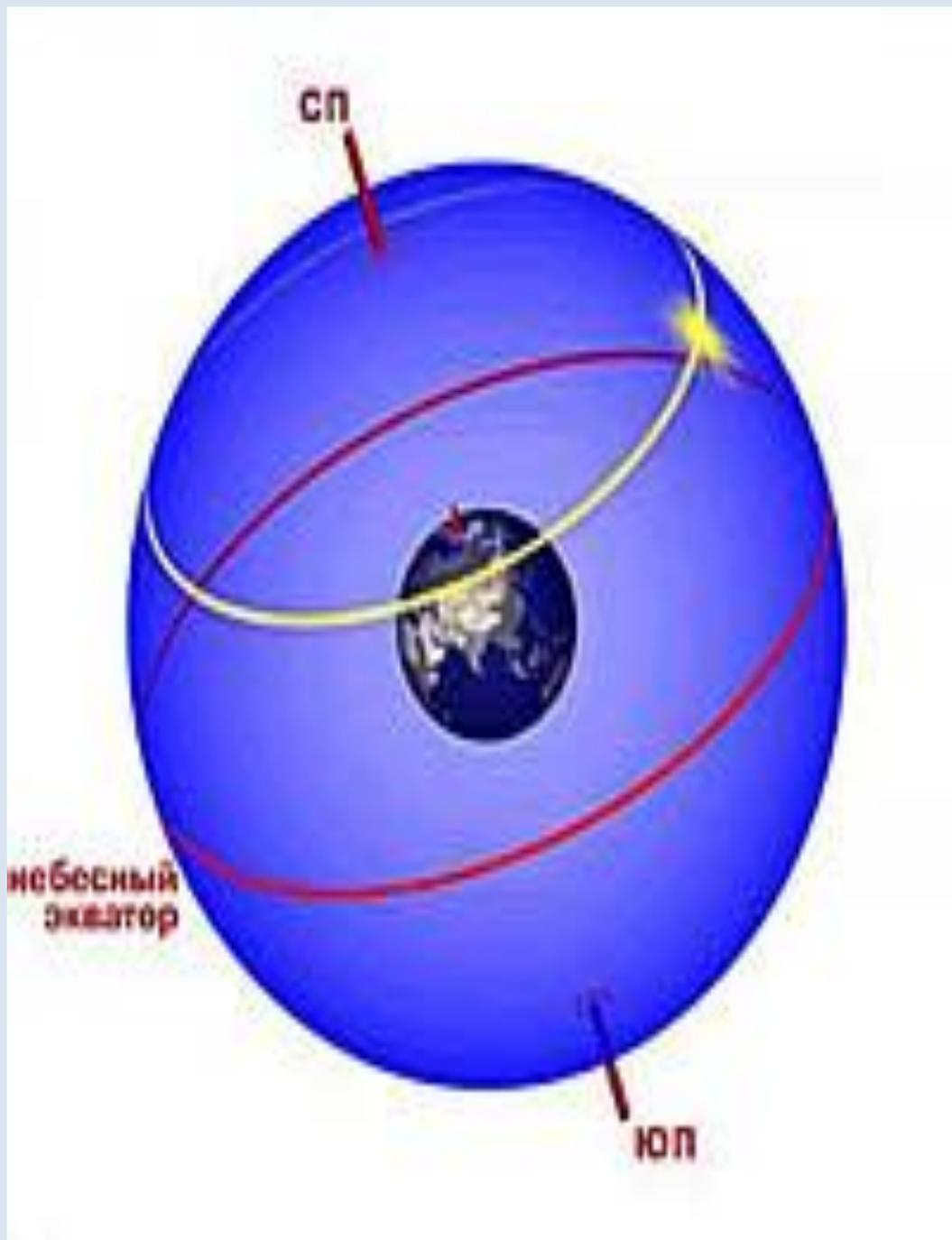
Небесный меридиан

— большой круг небесной сферы, плоскость которого проходит через отвесную линию и ось мира. Небесный меридиан делит поверхность небесной сферы на два полушария — **восточное полушарие**, с вершиной в точке востока, и **западное полушарие**, с вершиной в точке запада.



Небесный экватор

Небесный экватор — большой круг небесной сферы, плоскость которого перпендикулярна оси мира. Небесный экватор делит поверхность небесной сферы на два полушария: **северное полушарие**, с вершиной в северном полюсе мира, и **южное полушарие**, с вершиной в южном полюсе мира.



Параллактический треугольник

Параллактический треугольник – сферический треугольник с вершинами P_n , Z , σ (рис. 11). Он образован пересечением трех больших кругов: небесного меридиана, круга склонения и вертикала светила.

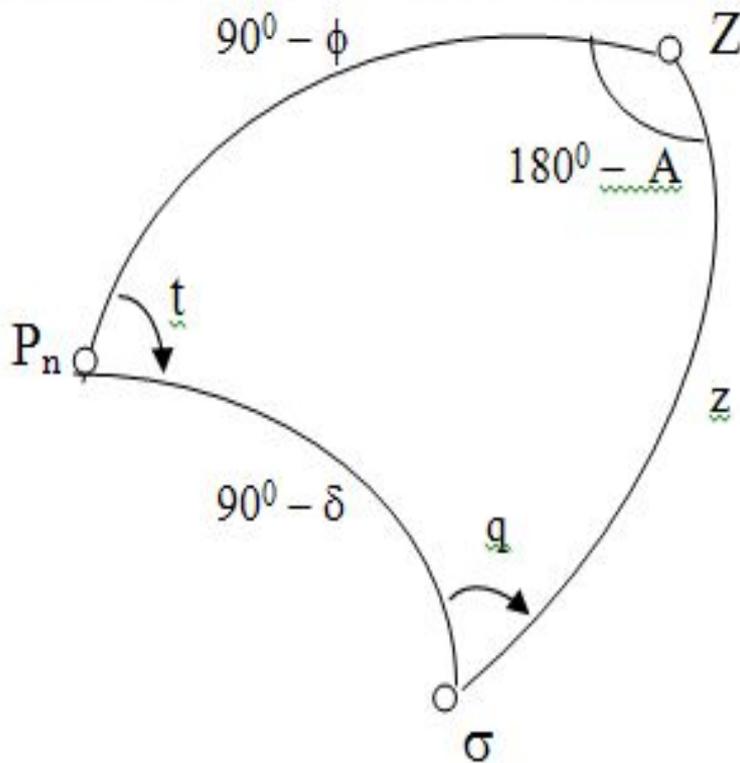


Рис. 11 – Параллактический треугольник

Угол q между вертикалом светила и кругом склонения называется параллактическим.

Элементы параллактического треугольника относятся к трем системам координат: горизонтальной (A , z), первой экваториальной (δ , t) и географической (ϕ). Связь между этими системами координат может быть установлена через решение параллактического треугольника.

Дано: в момент звездного времени s в пункте c известной широтой

ϕ наблюдается светило σ с известными координатами α и δ .

Видимое суточное вращение небесной сферы

Виды суточного движения звезд

Видимое суточное вращение небесной сферы происходит с востока на запад и обусловлено вращением Земли вокруг оси. При этом светила перемещаются по суточным параллелям. Вид суточного движения относительно горизонта данного пункта с широтой ϕ зависит от склонения светила δ . По виду суточного движения светила бывают:

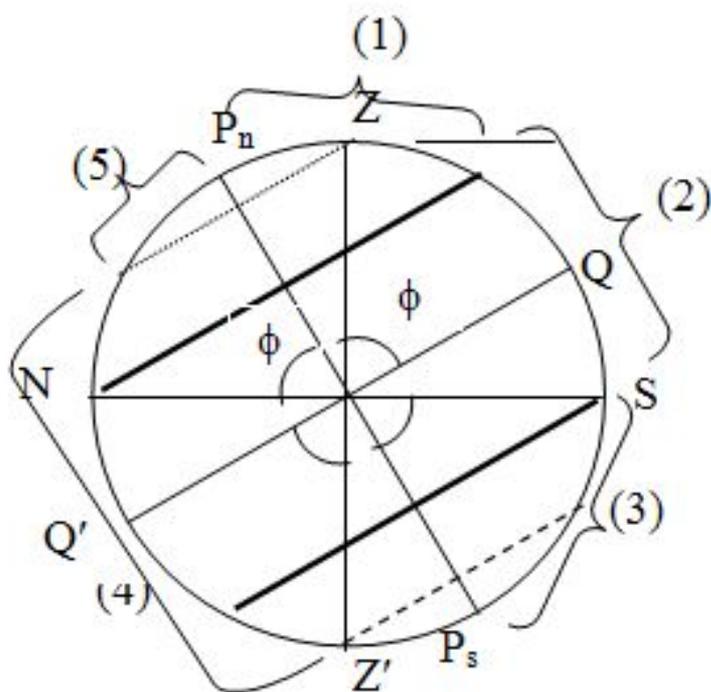


Рис. 12 Видимое суточное вращение небесной сферы

1) **незаходящие,**

$$\delta > \delta_N, \text{ или } \delta > 90 - \phi,$$

2) **имеющие восход и заход,**

$$\delta_S \leq \delta \leq \delta_N, \text{ или } -(90 - \phi) \leq \delta \leq (90 - \phi),$$

3) **невидимые,**

$$\delta < \delta_S, \text{ или } \delta < -(90 - \phi),$$

4) **элонгирующие** (не пересекающие первый вертикал над горизонтом,

$$\delta > \delta_Z, \text{ или } \delta > \phi,$$

5) **пересекающие первый вертикал,**

$$-\delta_Z \leq \delta \leq \delta_Z, \text{ или } -\phi \leq \delta \leq \phi.$$

Прохождение светил через меридиан. Кульминации.

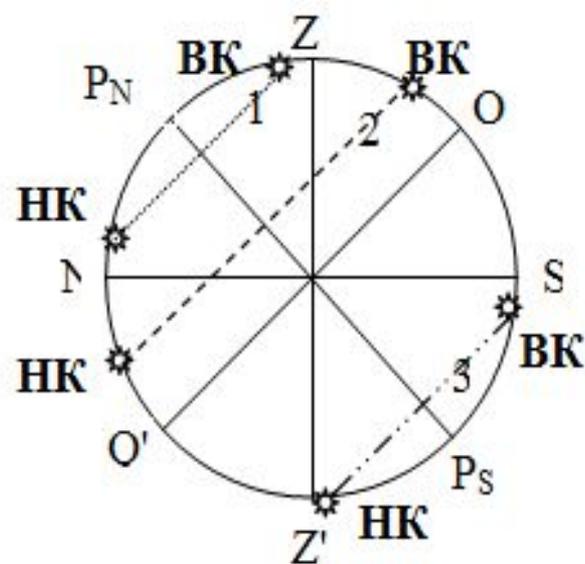


Рис. 13 - Кульминации

Момент прохождения светила через меридиан называют **кульминацией**. В момент верхней кульминации светило занимает самое высокое положение относительно горизонта, в момент нижней кульминации светило находится в самом нижнем положении относительно горизонта.

Нарисуем чертеж небесной сферы в проекции на меридиан (рис. 13). Для всех светил в верхней кульминации часовой угол $t = 0^h$, а в нижней $t = 12^h$. Поэтому в верхней кульминации $s = \alpha$, а в нижней $s = \alpha + 12^h$.

Горизонтальные координаты A, z светил в кульминациях вычисляются по следующим формулам.

Верхняя кульминация (VK):

а) светило кульминирует к югу от зенита, ($-90^\circ < \delta < \phi$), суточные параллели 2 и 3,

$$A = 0^\circ, z = \phi - \delta;$$

б) светило кульминирует к северу от зенита, ($90^\circ > \delta > \phi$), суточная параллель 1,

Нижняя кульминация (НК):

а) светило кульминирует к северу от надира, ($90^\circ > \delta > -\phi$), суточные параллели 1 и 2,

$$A = 180^\circ, z = 180^\circ - (\phi + \delta);$$

б) светило кульминирует к югу от надира, ($-90^\circ < \delta < -\phi$), суточная параллель 3,

$$\underline{A = 0^\circ, z = 180^\circ + (\phi + \delta)}.$$

Формулы связи между горизонтальными и экваториальными координатами светила в кульминациях используются при составлении рабочих эфемерид для наблюдений светил в меридиане. Кроме того, по измеренному зенитному расстоянию z и известному склонению δ можно вычислить широту пункта ϕ или с известной широтой ϕ определить склонение δ .

Прохождение светил через горизонт

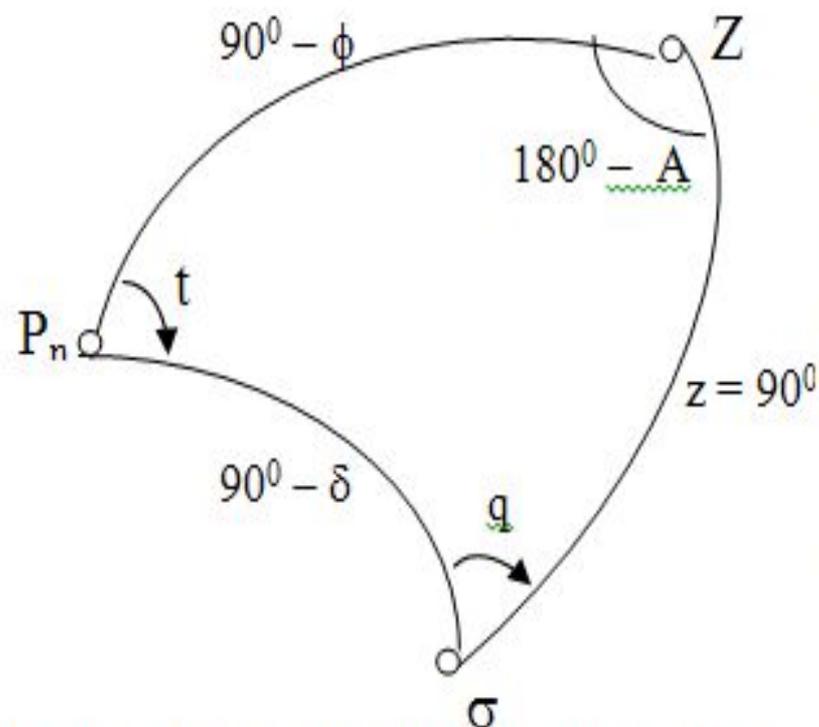


Рис. 14 Прохождение светил через горизонт

В момент восхода или захода светила с координатами (α, δ) его зенитное расстояние $z=90^0$, и поэтому для пункта с широтой ϕ можно определить часовой угол t , звездное время s и азимут A , из решения параллактического треугольника $P_N Z \sigma$, показанного на рис. 4. Теорема косинусов для сторон z и $(90^0 - \delta)$ записывается, как:

$$\begin{aligned} \cos z &= \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos t, \\ \sin \delta &= \cos z \sin \phi - \sin z \cos \phi \cos A. \end{aligned}$$

Так как $z=90^0$, то $\cos z = 0$, $\sin z = 1$,

$$\cos t = -\operatorname{tg} \delta \operatorname{tg} \phi, \quad \cos A = -\sin \delta / \cos \phi.$$

поэтому

Для северного полушария Земли, то есть при $\phi > 0$, для светила с положительным склонением ($\delta > 0$) $\cos t < 0$ и $\cos A < 0$, вследствие чего:

$$\text{для захода } t_W = 12^h - t_1, \quad A_W = 180^\circ - A_1,$$

$$\text{для восхода } t_E = 12^h + t_1, \quad A_E = 180^\circ + A_1,$$

где t_1 и A_1 – острые положительные углы, то есть $0^h \leq t_1 \leq 6^h$, $0^\circ \leq A_1 \leq 90^\circ$.

При $\delta < 0$ $\cos t > 0$ и $\cos A > 0$, поэтому

$$\text{для захода } t_W = t_1, \quad A_W = A_1,$$

$$\text{для восхода } t_E = 24^h - t_1, \quad A_E = 360^\circ - A_1.$$

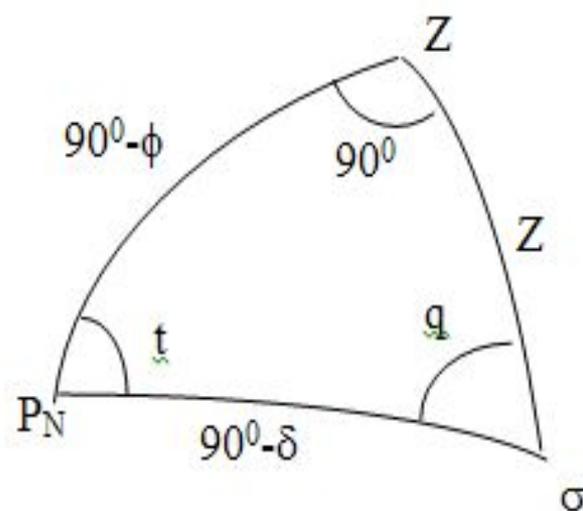
В каждом случае моменты восхода и захода по звездному времени будут

$$s_W = \alpha + t_W, \quad s_E = \alpha + t_E.$$

Полученные формулы используются для расчета обстоятельств восхода и захода Солнца, планет, Луны и звезд.

Прохождение светил через первый вертикал

Положению светила в первом вертикале соответствует прямоугольный параллактический треугольник (рис. 15), который решается с использованием правила Модью-Непера:



$$\cos z = \sin \delta / \sin \phi, \quad \cos t = \operatorname{tg} \delta / \operatorname{tg} \phi.$$

Для северного полушария Земли ($\phi > 0$), для светила с положительным склонением ($\delta > 0$) $\cos t > 0$, следовательно, часовые углы светила в моменты прохождения западной и восточной частей вертикала будут

$$t_W = t_1, \quad t_E = 24^h - t_1.$$

Рис. 15 Прохождение светил через первый вертикал

При отрицательном склонении ($\delta < 0$) $\cos t < 0$, отсюда

$$t_W = 12^h - t_1, \quad t_E = 12^h + t_1.$$

В этом случае и $\cos z < 0$, то есть $z > 90^\circ$, следовательно, светило проходит первый вертикал под горизонтом.

Согласно формуле звездного времени моменты прохождения светилом первого вертикала будут

$$s_W = \alpha + t_W, s_E = \alpha + t_E.$$

Азимуты светила в первом вертикале есть $A_W = 90^\circ$, $A_E = 270^\circ$, если отсчет ведется по часовой стрелке от точки Юга.

В геодезической астрономии есть ряд способов астрономических определений географических координат, основывающихся на наблюдении светил в первом вертикале. Формулы связи между горизонтальными и экваториальными координатами светила в первом вертикале используются при составлении рабочих эфемерид и для обработки наблюдений.

A long-exposure photograph of a night sky showing numerous star trails. The trails are curved and concentric, indicating the Earth's rotation. The stars are of various colors, including white, yellow, and red. The background is a deep, dark blue.

**Спаибо за
внимание!**