

2. Элементы сферической астрономии

2.1 Небесная сфера и системы координат

Небесная сфера

Небесная сфера – воображаемая сфера единичного радиуса с центром в точке наблюдения, на которую проецируются изображения светил.



Глоссарий

Центр небесной сферы

Название

на поверхности Земли

топоцентрическая

в центре масс Земли

геоцентрическая

в центре масс Солнца

гелиоцентрическая

в центре масс Солн.системы

барицентрическая



Отвесная линия в точке наблюдения, параллельна вектору силы тяжести

Положение Наблюдателя

Небесная сфера

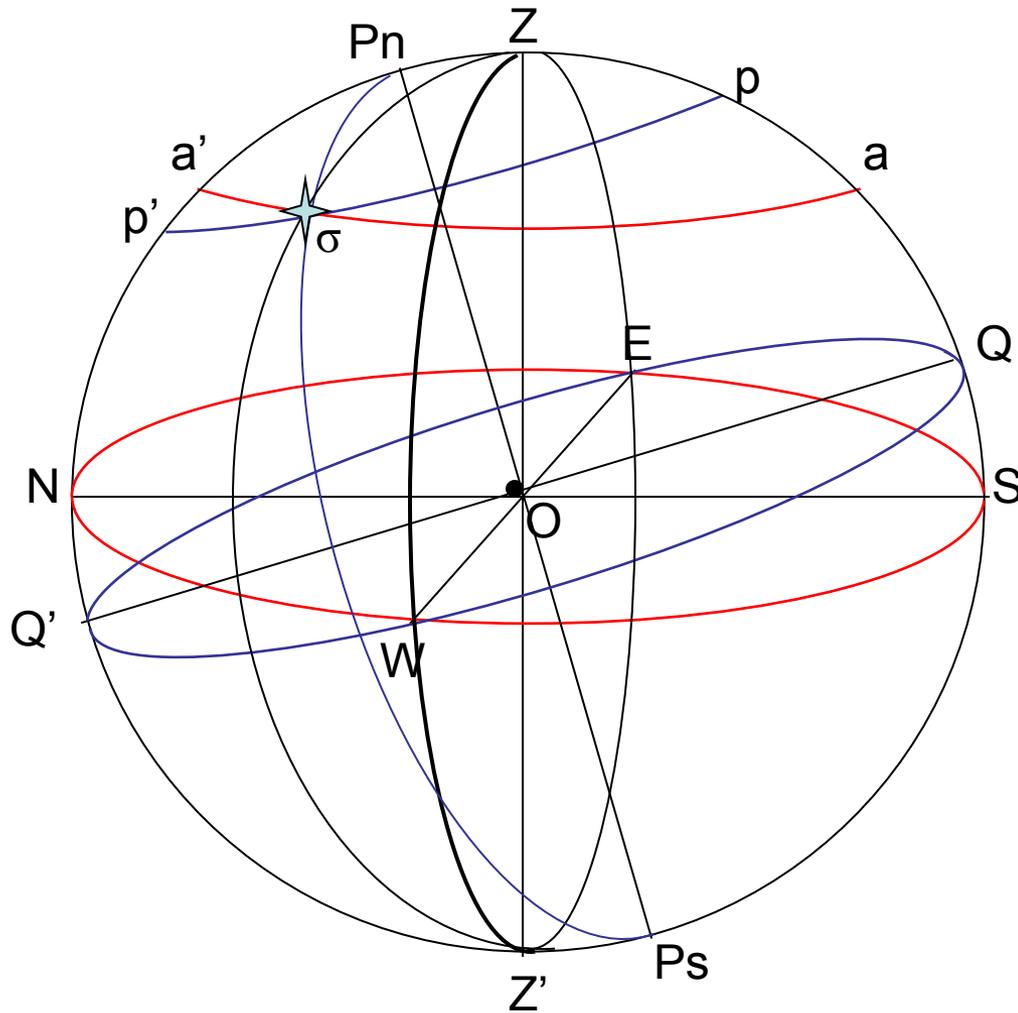
Ось мира – линия, параллельная оси вращения Земли

Отвесная линия, ось мира определяют большинство основных кругов, точек и линий небесной сферы

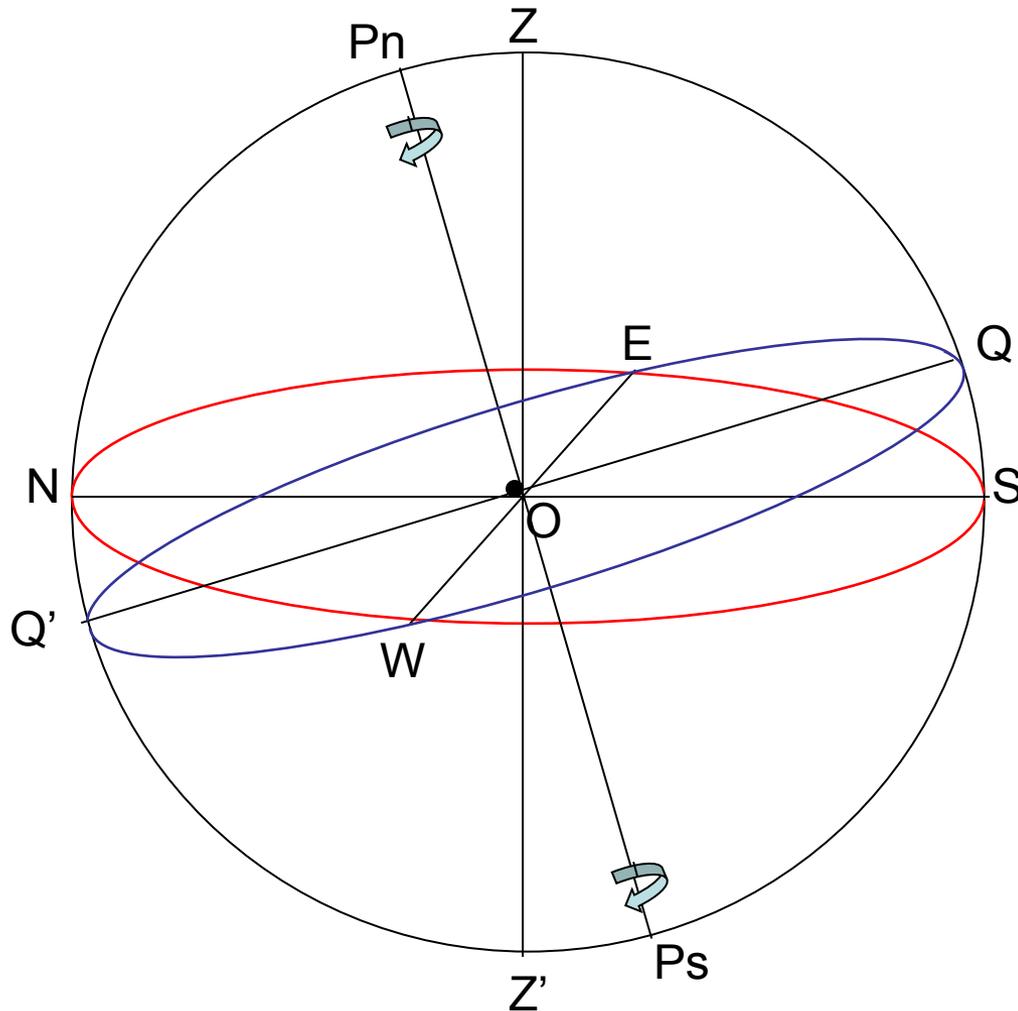


- **Отвесная линия** - параллельна вектору силы тяжести в точке наблюдения. Пересекает небесную сферу в точках Зенит и Надир.
- **Ось мира** – параллельна оси вращения Земли.

Основные точки, линии и круги небесной сферы



Основные точки, линии и круги небесной сферы



ZZ' – **отвесная линия**,
параллельна вектору
силы тяжести в данной точке
 Z – зенит, Z' – надир

Круг NWSE – **небесный**
(математический) **горизонт** –
перпендикулярен отвесной линии

N, S, W, E – **точки Севера, Юга,**
Запада и Востока

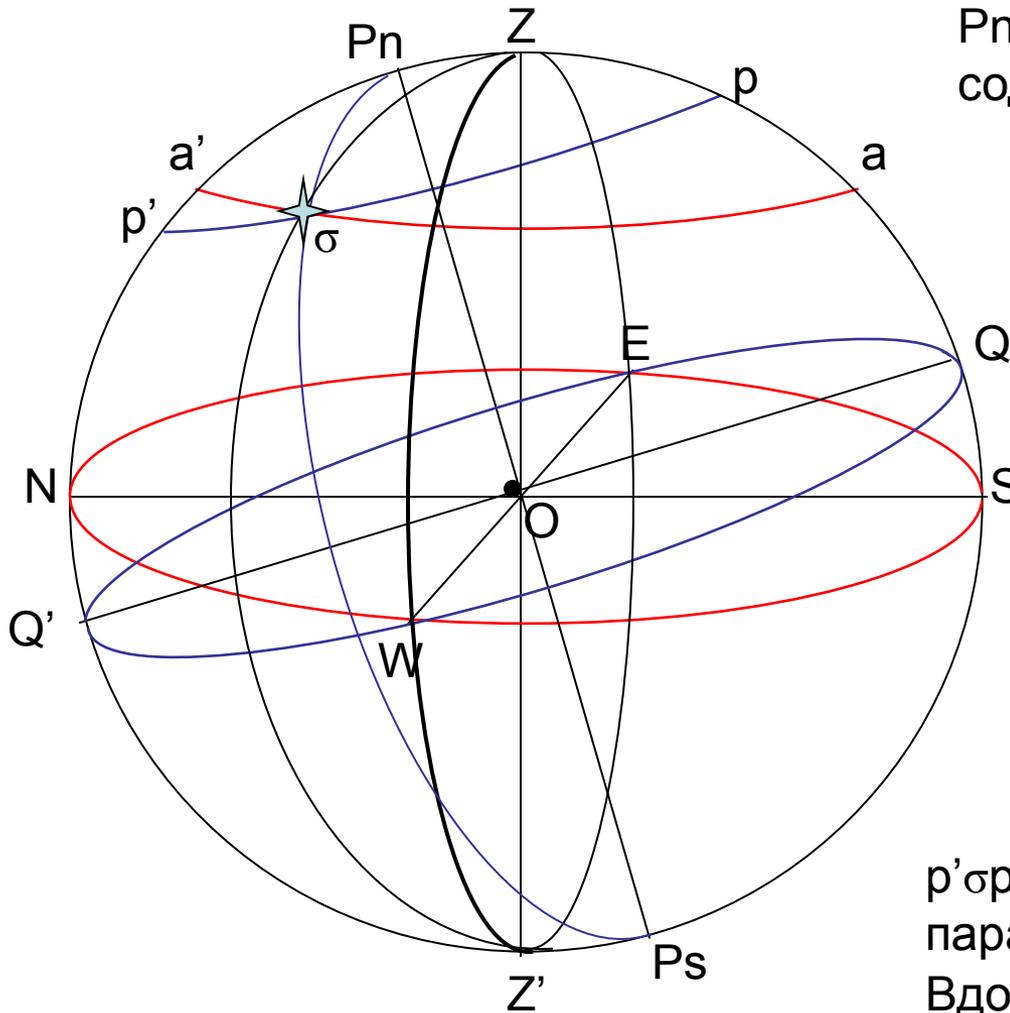
$P_n P_s$ – **ось мира**, параллельна
оси вращения Земли

P_n, P_s – **северный и южный**
полюсы мира

$Q'WQE$ – **небесный экватор**,
перпендикулярен оси мира,
параллелен экватору Земли

Q, Q' – **верхняя, нижняя точки экватора**

Основные точки, линии и круги небесной сферы



$P_n Z P_s Z'$ – **небесный меридиан**,
содержит отвесную линию и ось мира
параллелен земному меридиану
в точке наблюдения

$Z W Z' E$ – **первый вертикал**,
перпендикулярен небесному
меридиану

★ σ – светило

4 круга, проходящие через светило:

$Z \sigma Z'$ – **вертикал светила**

$P_n \sigma P_s$ – **круг склонений**

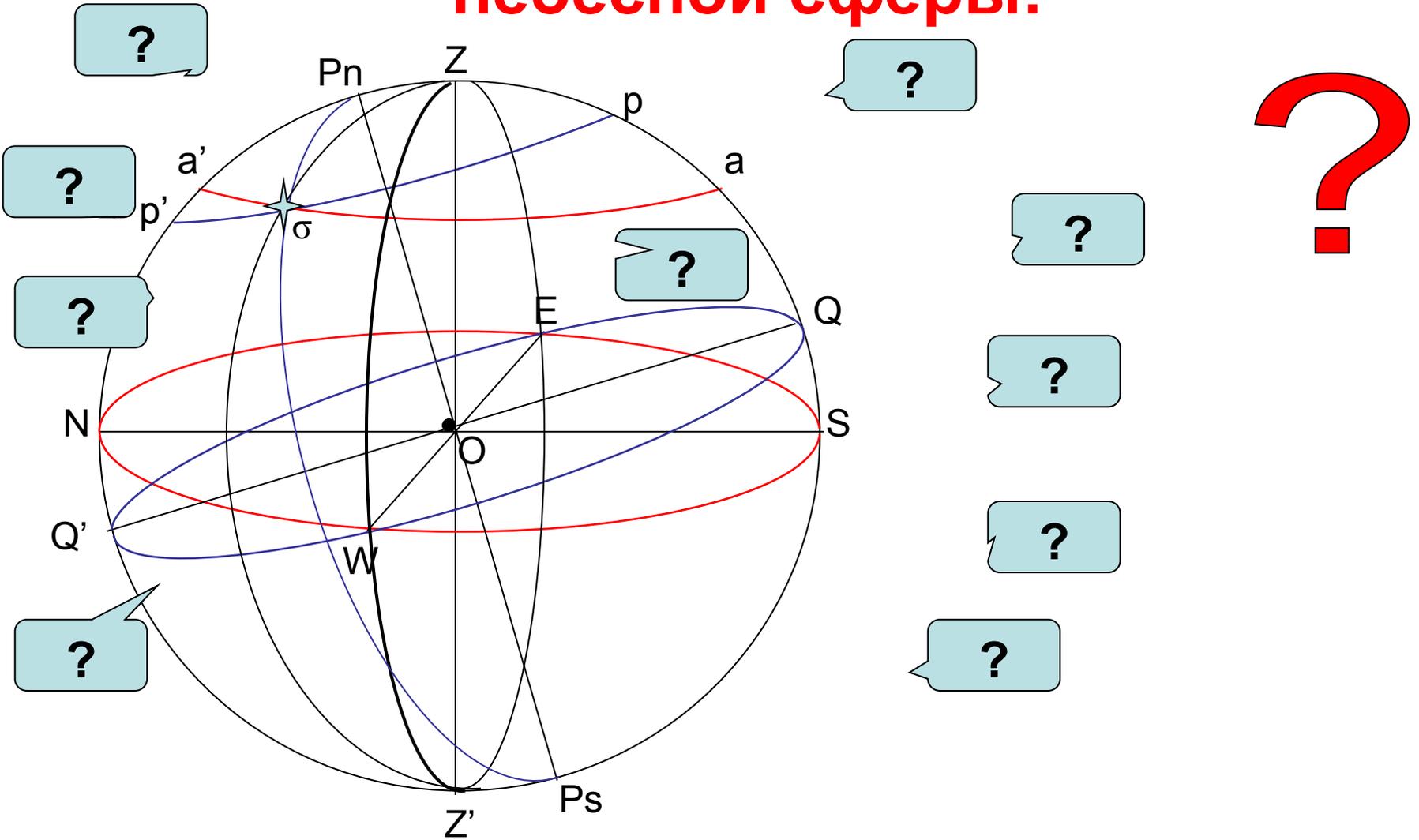
$a' \sigma a$ – **круг равных высот**,
параллелен небесному горизонту

$p' \sigma p$ – **суточная параллель**,
параллельна небесному экватору

Вдоль суточных параллелей
происходит видимое суточное

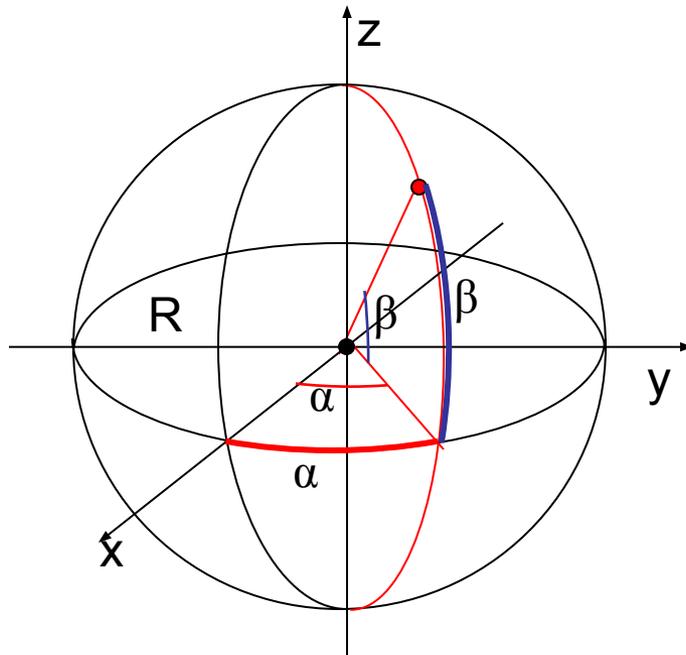
движение светил

Назовите основные круги и линии небесной сферы:



Системы координат

Общие принципы задания сферической системы координат:



$$x = R \cos\alpha \cos\beta$$

$$y = R \sin\alpha \cos\beta$$

$$z = R \sin\beta$$

Если $R=1$, то

$$x = \cos\alpha \cos\beta$$

$$y = \sin\alpha \cos\beta$$

$$z = \sin\beta$$

Положение точки на сфере единичного радиуса однозначно определяется двумя углами

Географическая (сферическая) система координат



© Гиенко Е.Г., каф астрономии и
гравиметрии СГГА

Географическая (сферическая) система координат

Положение точки на Земле (широта, долгота) определяется в **географических системах координат**

Если Земля – сфера (глобус):

pp' – ось вращения Земли, G – Гринвич, M – пункт на поверхности Земли
 pGr' – начальный (гринвичский) меридиан, pMr' – меридиан пункта M ,
 MO – отвесная линия

Географическая широта φ – угол между плоскостью экватора и отвесной линией в пункте ($\angle mOM$), или дуга меридиана от экватора до пункта ($\overset{U}{m}M$).

Северное полушарие: $0^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$ с.ш.

Южное полушарие: $0^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$ ю.ш.

Географическая долгота λ – двугранный угол между плоскостями начального и текущего меридианов ($\angle gom$), или дуга экватора от начального до текущего меридиана ($\overset{U}{g}m$).

Восточное полушарие: $0^\circ \leq \lambda \leq 180^\circ$ в.д.

Западное полушарие: $0^\circ \leq \lambda \leq 180^\circ$ з.д.

Новосибирск:

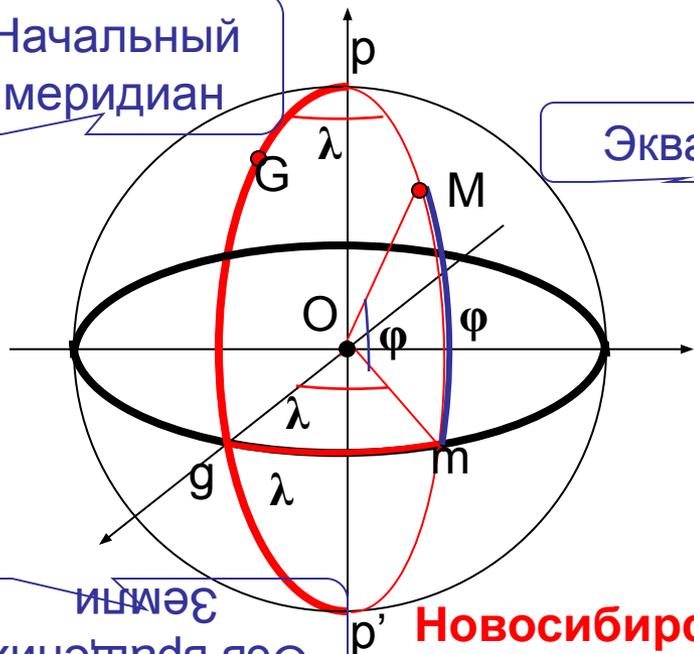
$\varphi \approx 55^\circ$ с.ш., $\lambda \approx 83^\circ$ в.д.

© Гичев Е.Г., кафедра геодезии и гравиметрии СГГА

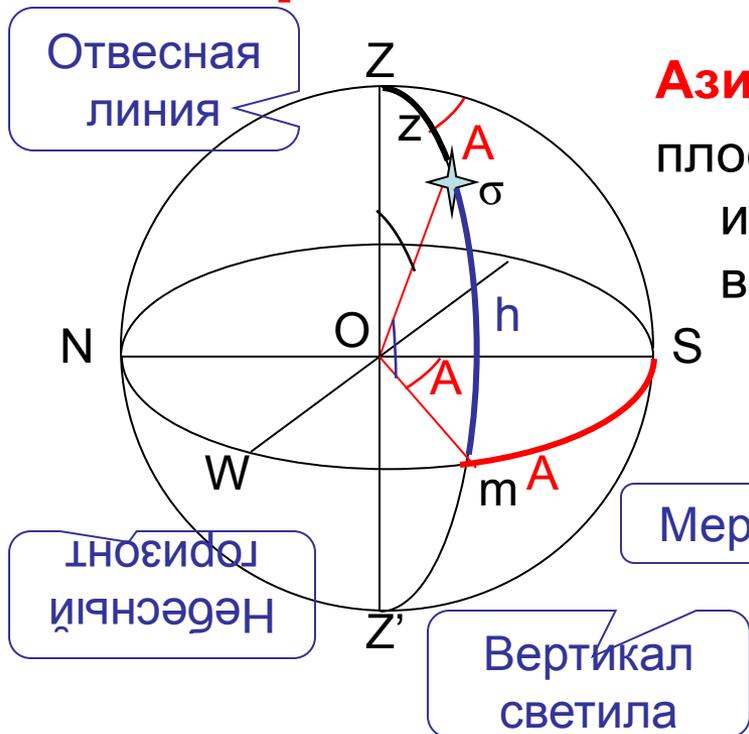
Начальный меридиан

Экватор

Ось вращения Земли



Горизонтальная система координат



Азимут A – двугранный угол между плоскостями меридиана и вертикала светила, или дуга небесного горизонта от точки Юга до вертикала светила:

$$A = \overset{U}{\cup} Sm = \angle SOm$$

В астрономии азимут отсчитывается от точки Юга S ,

$$0^{\circ} \leq A < 360^{\circ}$$

Высота h – угол между плоскостью горизонта и направлением на светило, или дуга вертикала светила от горизонта до светила:

$$h = \angle mO\sigma$$

$$-90^{\circ} \leq h \leq +90^{\circ} = \overset{U}{\cup} m\sigma$$

Зенитное расстояние z – угол между отвесной линией и направлением на светило, или дуга вертикала светила от зенита до светила:

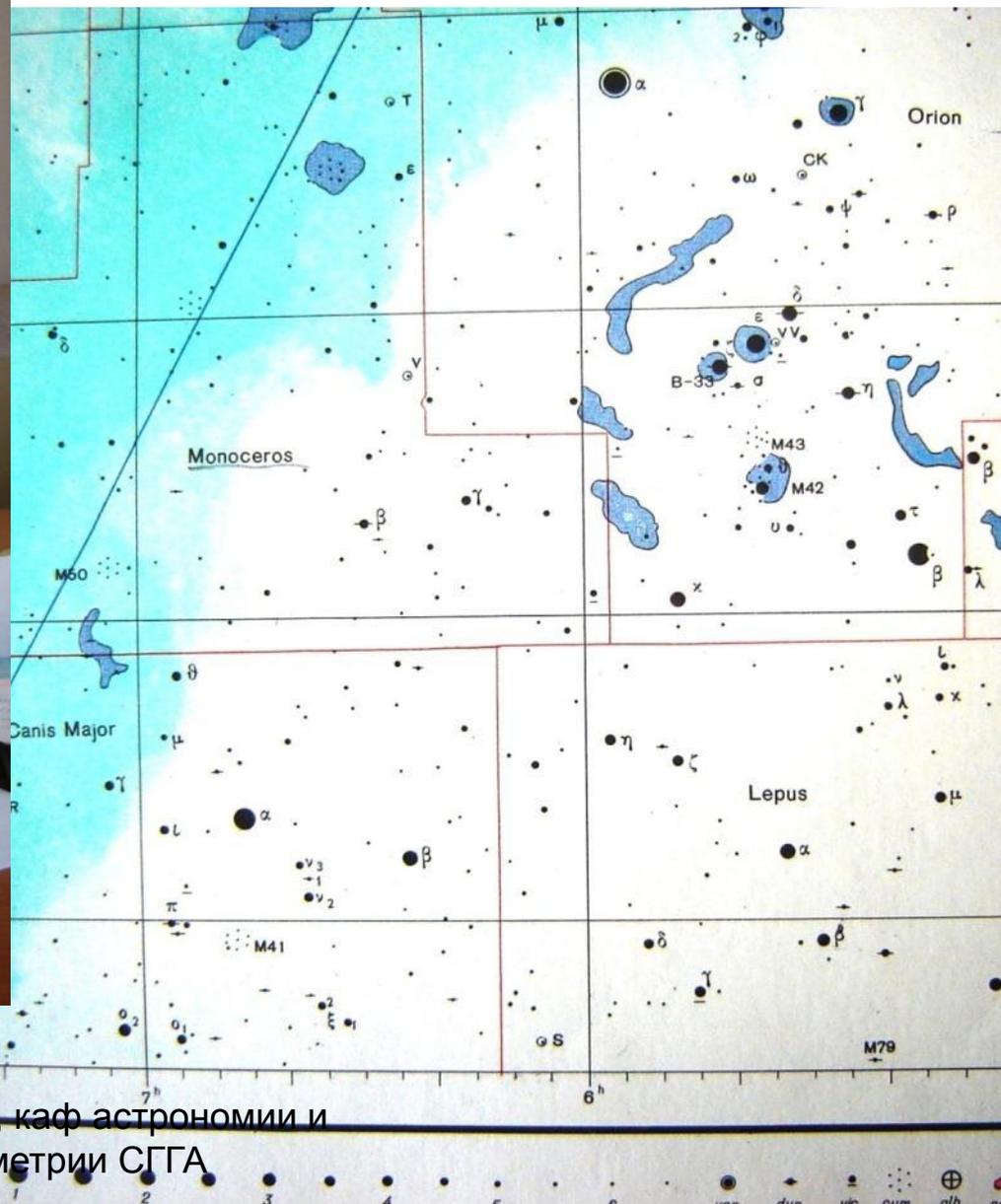
$$z = \angle ZO\sigma$$

$$0^{\circ} \leq z \leq 180^{\circ}$$

$$z = \overset{U}{\cup} Z90^{\circ} - h$$

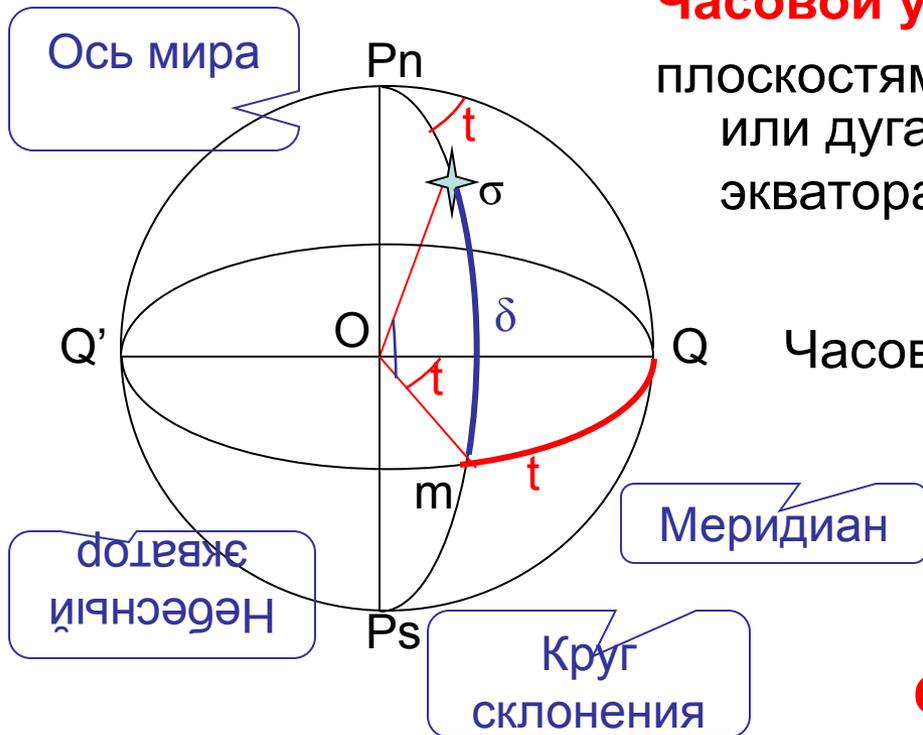
В горизонтальной системе координат устанавливаются геодезические инструменты и выполняются измерения.

Из-за суточного движения небесной сферы $A, h(z)$ светил непрерывно изменяются



© Гиенко Е.Г., каф астрономии и гравиметрии СГГА

Первая экваториальная система координат



Часовой угол t – двугранный угол между плоскостями меридиана и круга склонения, или дуга небесного экватора от верхней точки экватора до круга склонения светила:

$$t = \cup Qm = \angle QOm$$

Часовой угол измеряется в часовой мере:

$$0^h \leq t < 24^h$$

$$24^h = 360^0, \quad 1^h \text{ (час)} = 15^0, \\ 1^m \text{ (мин)} = 15', \quad 1^s \text{ (сек)} = 15''$$

Первая экваториальная система координат используется при астр. наблюдениях и установлении астр. шкал времени

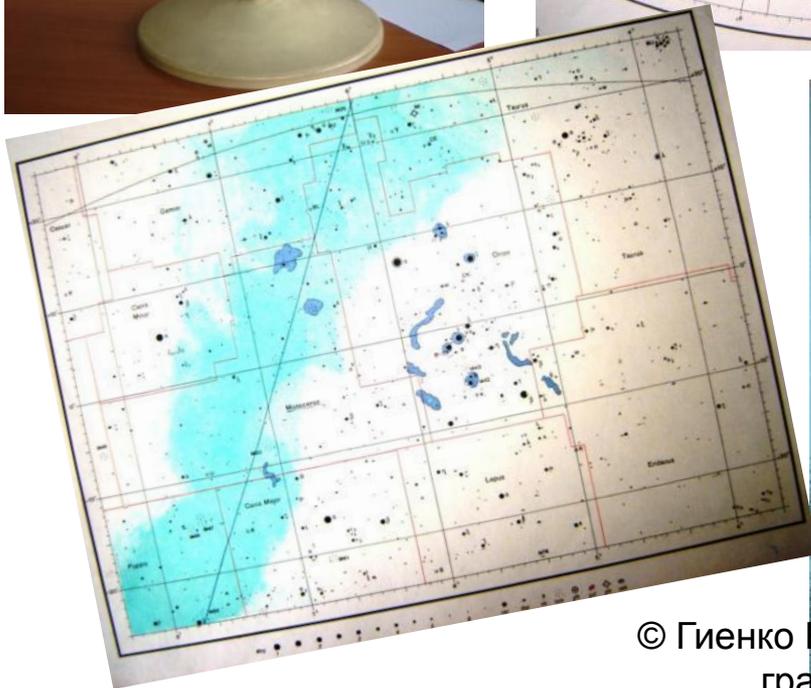
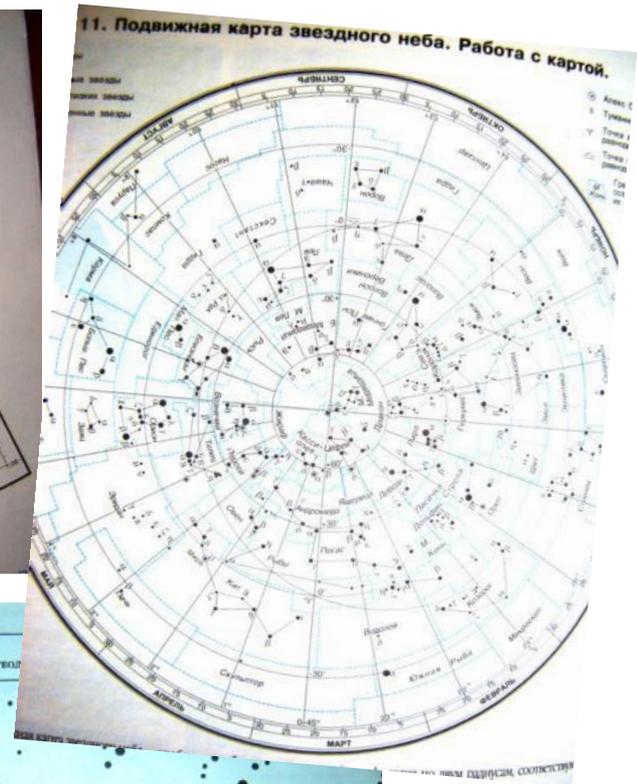
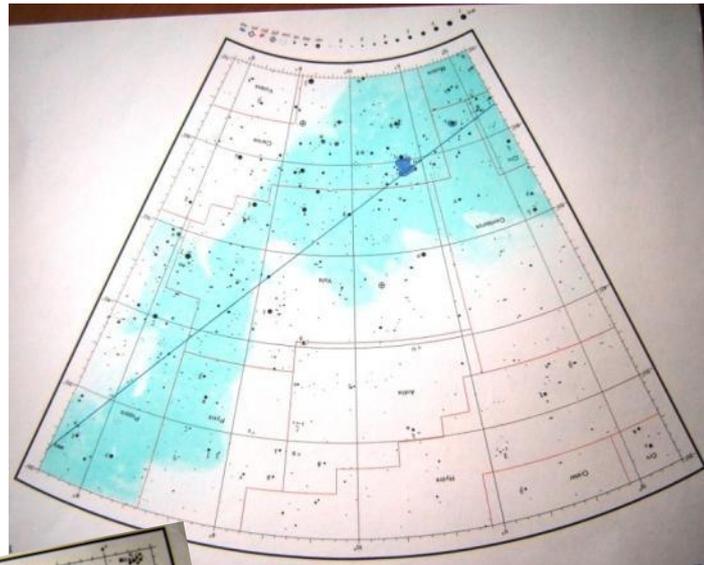
Суточное движение небесной сферы:

δ не меняется, t изменяется от 0 до 24^h в течение суток

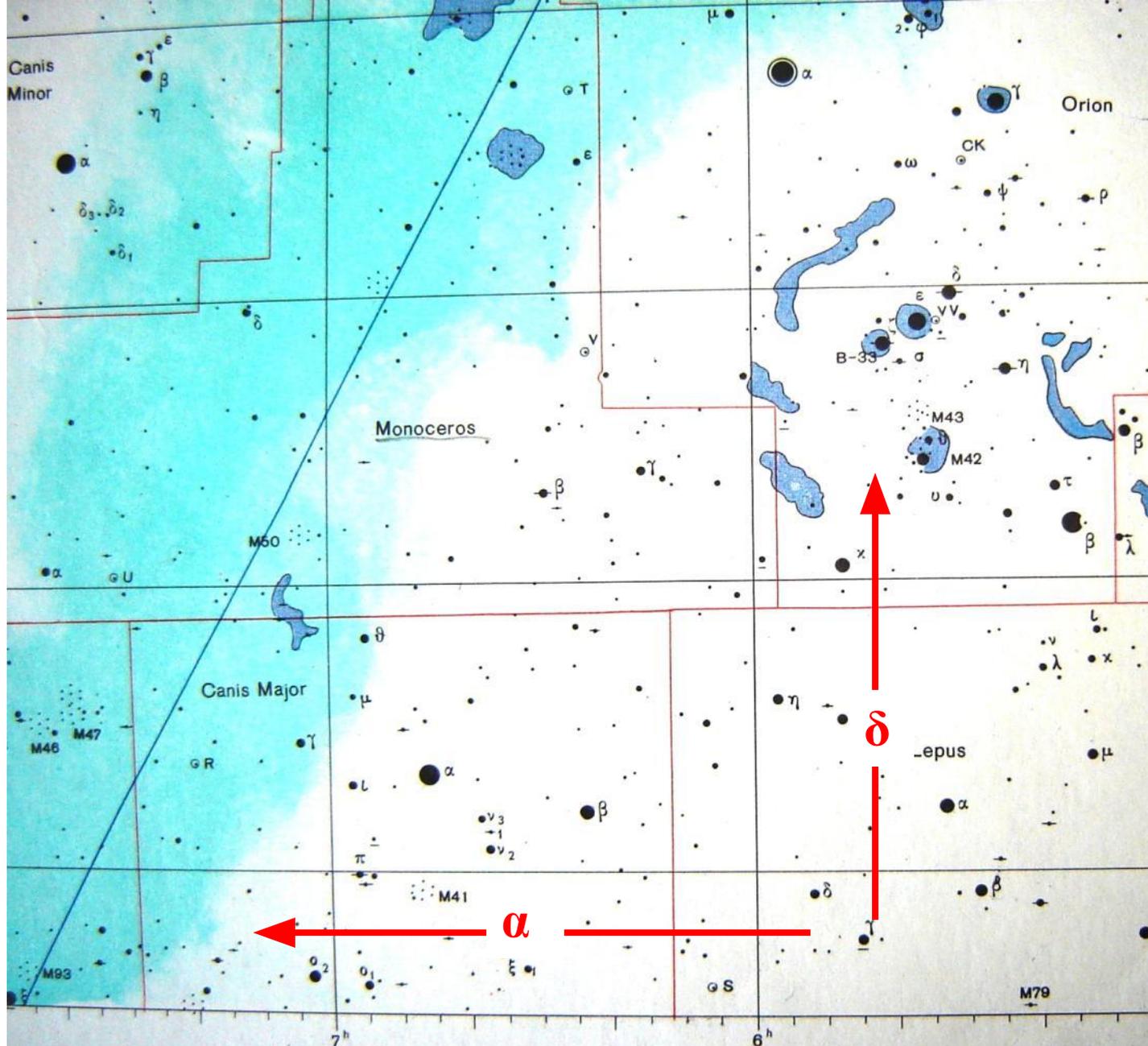
Склонение δ – угол между плоскостью экватора и направлением на светило, или дуга круга склонения от экватора до светила: $\delta = \angle mO\sigma$

$$\delta = \cup m\sigma \\ -90^0 \leq \delta \leq +90^0$$

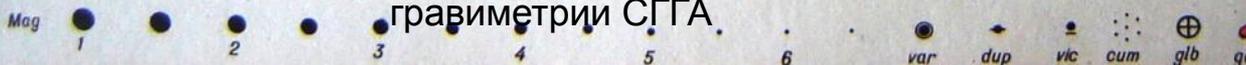
Звездные глобусы, карты, атласы: координаты объектов во II экв. системе – **склонение δ** , **прямое восхождение α**



© Гиенко Е.Г., каф астрономии и гравиметрии СГГА



© Гиенко Е.Г., каф астрономии и гравиметрии СГГА



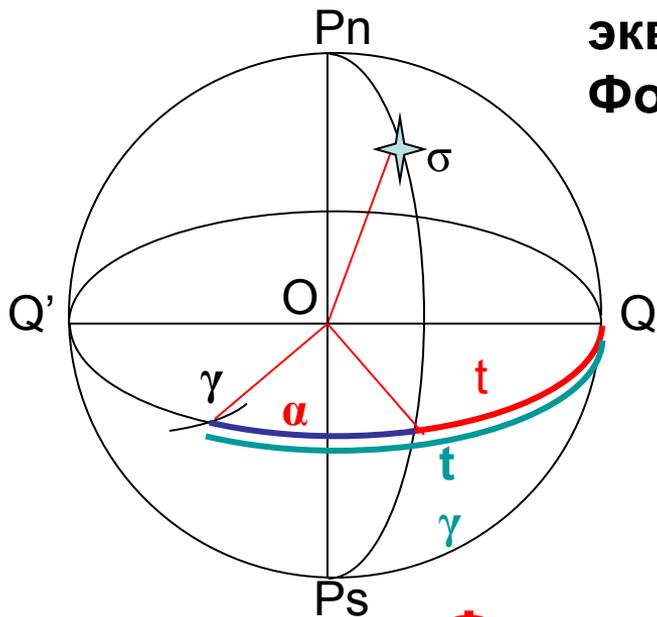
В какой системе координат:

- публикуются каталоги звезд;
- устанавливаются геодезические инструменты;
- определяется положение пунктов на поверхности Земли;
- устанавливаются астрономические шкалы времени.



2.2 Связь между системами координат

1. Связь между первой и второй экваториальными системами координат.
Формула звездного времени.



Из рисунка видно, что для любого светила

$$t + \alpha = t\gamma,$$

где $t\gamma$ – часовой угол точки гамма,

$t\gamma = s$ – звездное время.

Формула звездного времени:

для любого светила сумма часового угла и прямого восхождения равна звездному времени,

$$\alpha + t = s$$

2. Теорема о высоте полюса мира

Высота полюса мира над горизонтом равна склонению зенита и широте места наблюдения:

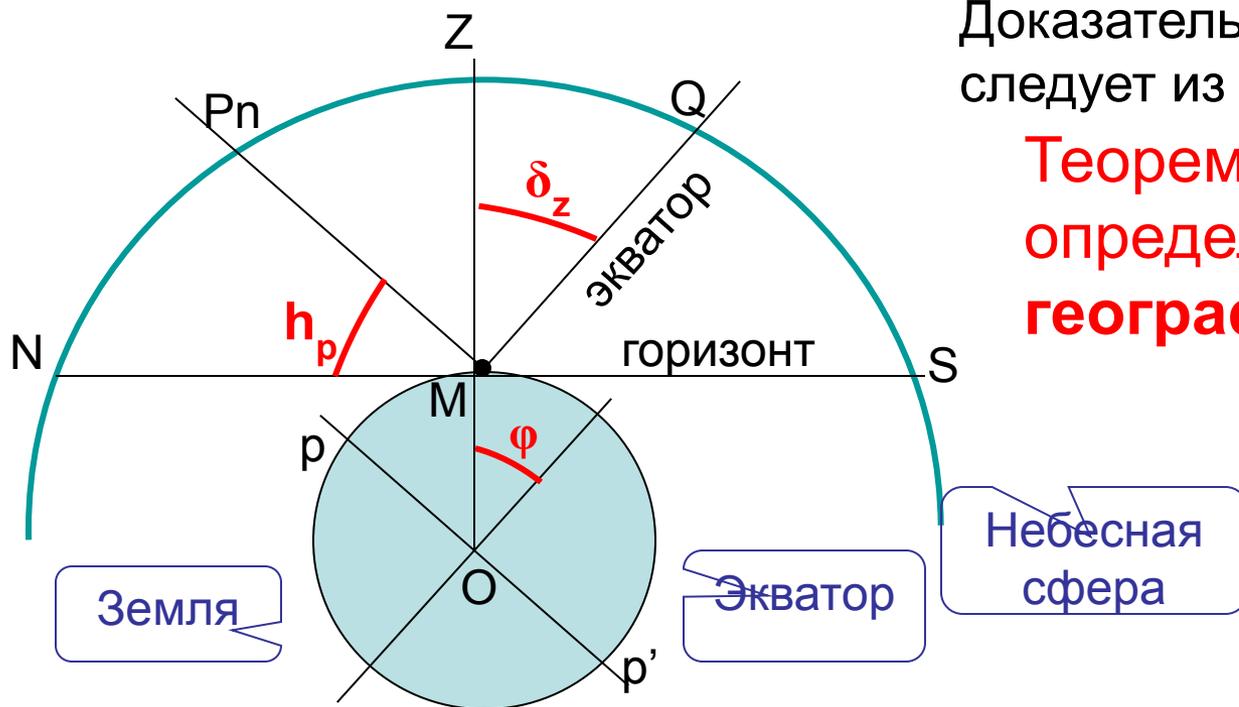
$$h_p = \delta_z = \varphi$$

Доказательство теоремы
следует из рисунка

Теорема – в основе
определения
географических широт:

$\varphi = h_p$ – измерение
высоты Полярной,

$\varphi = \delta_z$ – измерение
высот звезд в
меридиане



Ось вращения Земли

2. Теорема о разности часовых углов светила

Разность часовых углов светила, измеренная в двух пунктах в один и тот же физический момент времени, равна разности долгот этих пунктов:

$$t_A - t_B = \lambda_A - \lambda_B \quad (*)$$

Доказательство.

Разность долгот двух пунктов равна двугранному углу между плоскостями меридианов этих пунктов;

разность часовых углов светила – двугранному углу между плоскостями небесных меридианов;

в силу параллельности небесного и земного меридианов соотношение (*) верно.

Теорема – в основе определения долгот двух пунктов

Чему равна широта пункта, в котором Вега (склонение $+38^{\circ}$) проходит через зенит?



На какой высоте наблюдается Полярная в г.Новосибирске (широта 55°)?

Чему равен часовой угол точки гамма?

Какая теорема положена в основу определения широт пунктов?

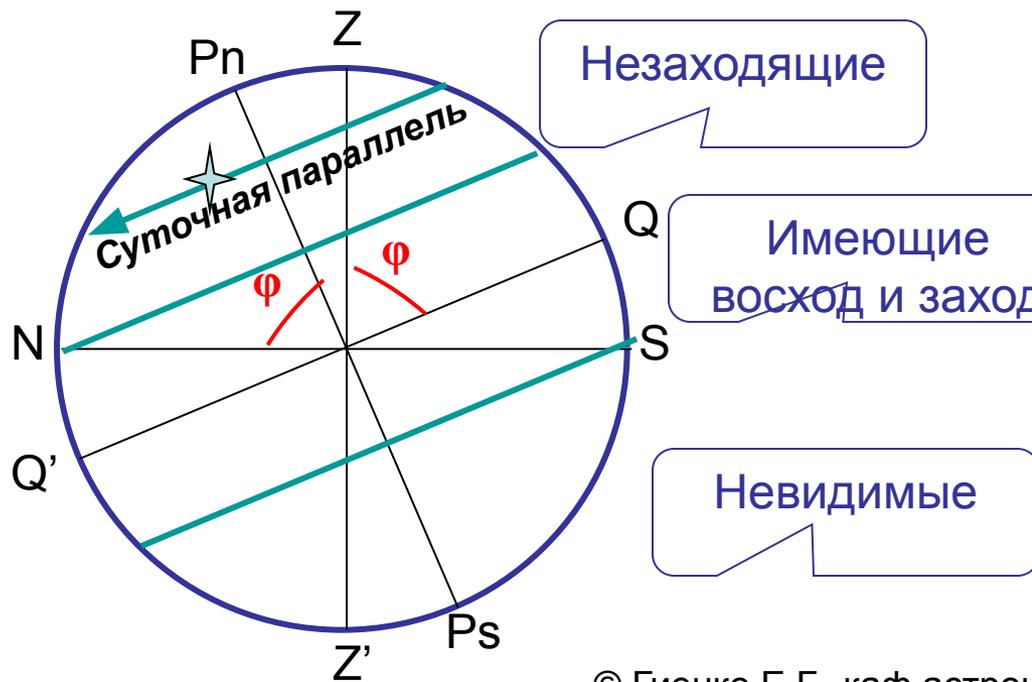
Какая теорема лежит в основе определения долгот пунктов?

2.3 Видимое суточное движение небесной сферы

С востока на запад,
происходит из-за действительного вращения Земли
вокруг оси с запада на восток.

Звезды перемещаются по суточным параллелям.

Виды звезд по суточному движению: Условия деления звезд:



1. Незаходящие

$$\delta > \delta_N, \quad \delta > 90^\circ - \varphi$$

2. Невидимые

$$\delta < \delta_S, \quad \delta < - (90^\circ - \varphi)$$

3. Имеющие восход и заход

$$\delta_S \leq \delta \leq \delta_N,$$

$$- (90^\circ - \varphi) \leq \delta \leq 90^\circ - \varphi$$

Кульминации

Кульминация – прохождение звезды через меридиан.

Положение звезды относительно горизонта:

- самое низкое - **нижняя кульминация** (НК);
- наивысшее - **верхняя кульминация** (ВК).

Дано:

(α, δ) – экваториальные координаты звезды из каталога,
 φ – широта пункта наблюдения.

Требуется найти:

s – звездное время,

(A, z) – горизонтальные координаты светила в ВК и НК.

Рабочие формулы:

$$t_{\text{BK}} = 0^{\text{h}}, \quad t_{\text{HK}} = 12^{\text{h}},$$

$$s = \alpha + t,$$

$$s_{\text{BK}} = \alpha,$$

$$s_{\text{HK}} = \alpha \pm 12^{\text{h}}$$

Кульминации

Верхняя кульминация:

а) светило кульминирует к северу от зенита (случай 1), $\delta > \varphi$,

$$z = \delta - \varphi, \quad A = 180^{\circ}$$

б) светило кульминирует к югу от зенита (случай 2,3), $\delta \leq \varphi$,

$$z = \varphi - \delta, \quad A = 0^{\circ}$$

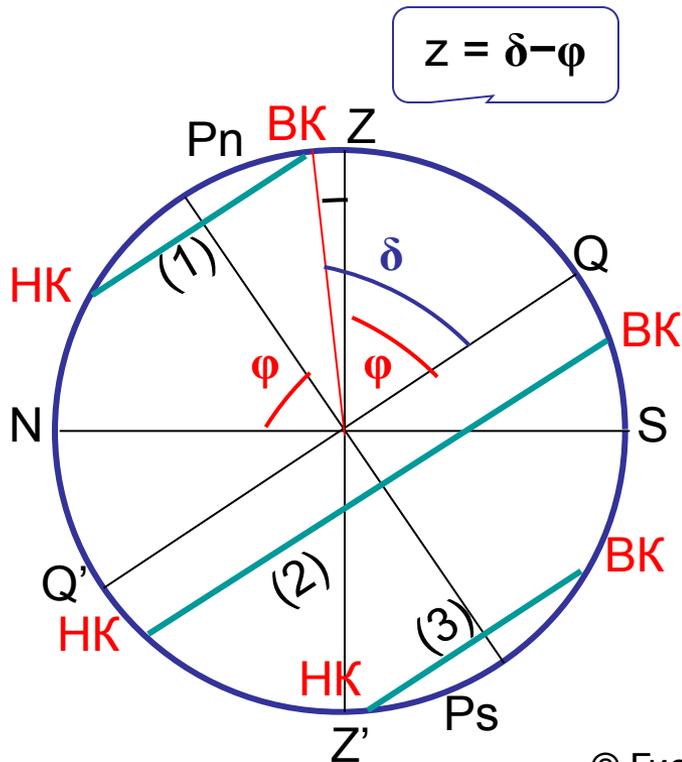
Нижняя кульминация:

а) светило кульминирует к северу от надира (случай 1,2), $\delta > -\varphi$,

$$z = 180^{\circ} - (\varphi + \delta), \quad A = 180^{\circ}$$

б) светило кульминирует к югу от надира (случай 3), $\delta \leq -\varphi$,

$$z = 180^{\circ} + (\varphi + \delta), \quad A = 0^{\circ}$$



- Почему происходит видимое суточное вращение небесной сферы?
- Будет ли заходить за горизонт Вега (склонение $+38^{\circ}$) в г.Новосибирске (широта 55°)?
- Что такое кульминации?
- Чему равен азимут звезды, кульминирующей к северу от зенита?
- Чему равен часовой угол звезды в верхней (нижней) кульминации?
- В каких случаях при ясной погоде человек на улице не отбрасывает тень?



2.4. Астрономические программы-планетарии

<http://www.astro.websib.ru/sprav/program>

- Справочный материал на сайте «Астрономия», Максименко А.В. – список программ.
- **StarCalc** – компактная программа
- **Stellarium**
- «планетарии» на смартфонах
- И.т.д.

Основные настройки астрономической программы

1. Место наблюдателя: широта, долгота
Новосибирск:
55 градусов С.Ш.,
83 градуса В.Д.
2. **Время**: разница с UTC (Всемирное
координированное время, Гринвич)
Новосибирск: UTC+7 часов
3. **Дата, время наблюдения.**
4. **Координатные сетки** (горизонтальная или
экваториальная)
5.

Расчет лунного затмения 27.07.18

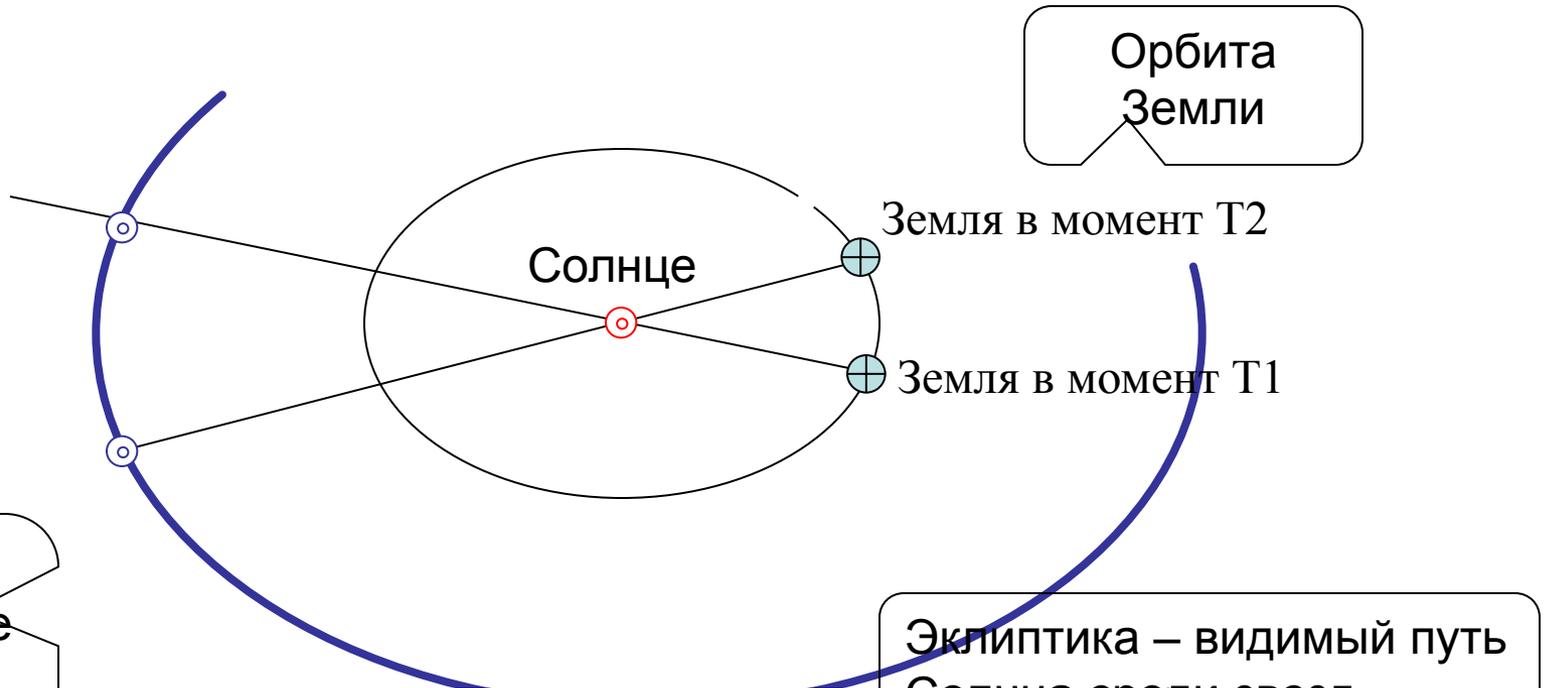
27 июля 2018 г.в 20:22 по Гринвичу.

Новосибирское время?

3:22, 28 июля 2018 г.

2.5 Видимое годовое движение Солнца

Эклиптика – путь видимого движения Солнца среди звезд в течение года, или плоскость орбиты Земли.



Солнце делает оборот по эклиптике (360°) за 1 год (≈ 365 суток),

или за сутки перемещается примерно на 1 градус



© Гиенко Е.Г., каф астрономии и гравиметрии СГГА

Зодиак – пояс созвездий, расположенных вдоль эклиптики.

В настоящее время эклиптика
пересекает 13 созвездий.

Видимое движение планет и
Луны происходит рядом с
эклиптикой по зодиакальным
созвездиям.

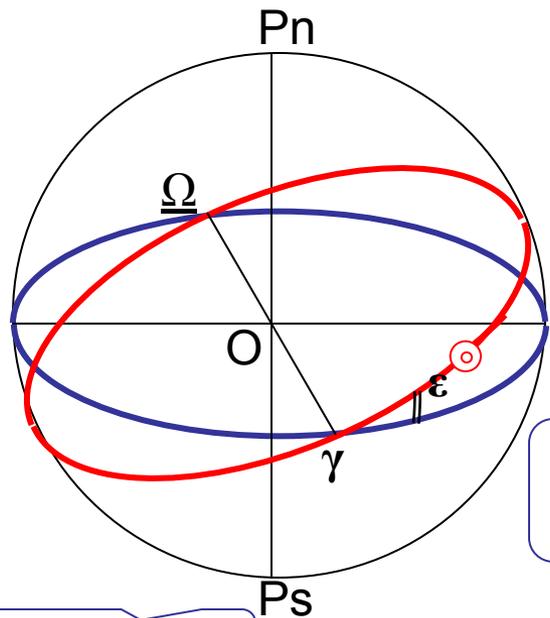


Зодиакальные созвездия были определены и названы в
древнем Вавилоне во II тысячелетии до н.э.

- Можно ли увидеть на ночном небе созвездие Близнецов в июне?
- Можно ли наблюдать Луну и планеты в созвездии Ориона?
- Сколько созвездий пересекает эклиптика?



Видимое годовое движение Солнца



эклиптика

Небесный
экватор

Пересечение эклиптики с экватором:

точки γ , Ω –

точки весеннего и осеннего равноденствий

ε – наклон эклиптики к экватору;

в настоящее время $\varepsilon \approx 23,5^\circ$

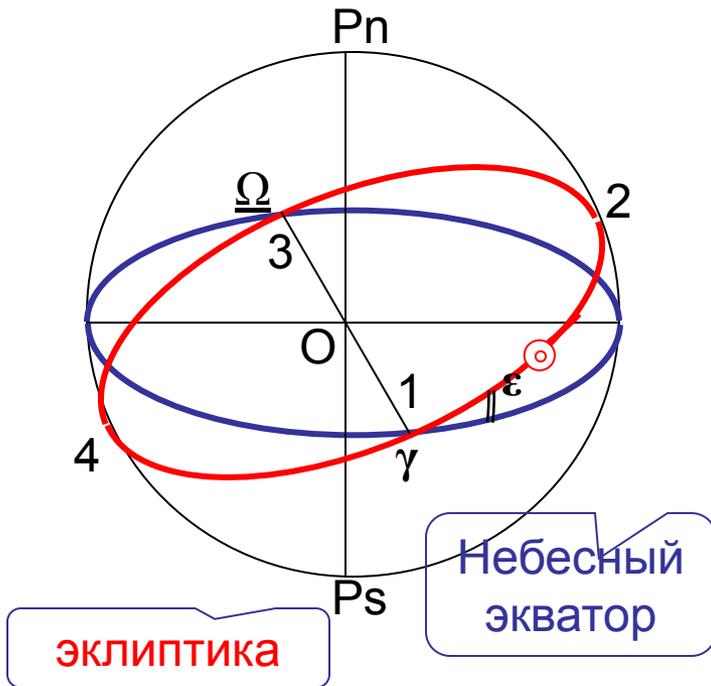
Смена времен года



Происходит из-за того, что ось вращения Земли наклонена к плоскости эклиптики (орбиты Земли),

и ЭТОТ наклон постоянен в течение года

Дни солнцестояний и равноденствий



1. День весеннего равноденствия 21-22 марта

Начало астрономической весны.
Солнце пересекает небесный экватор,

$$\alpha = 0^h, \delta = 0^0$$

Продолжительности дня и ночи равны для
всей Земли.

Солнце проходит через зенит на широте
 $\varphi = 0^0$ (экватор)

2. День летнего солнцестояния 21-22 июня

Начало астрономического лета.
Склонение Солнца δ наибольшее,

$$\alpha = 6^h, \delta = +23.5^0$$

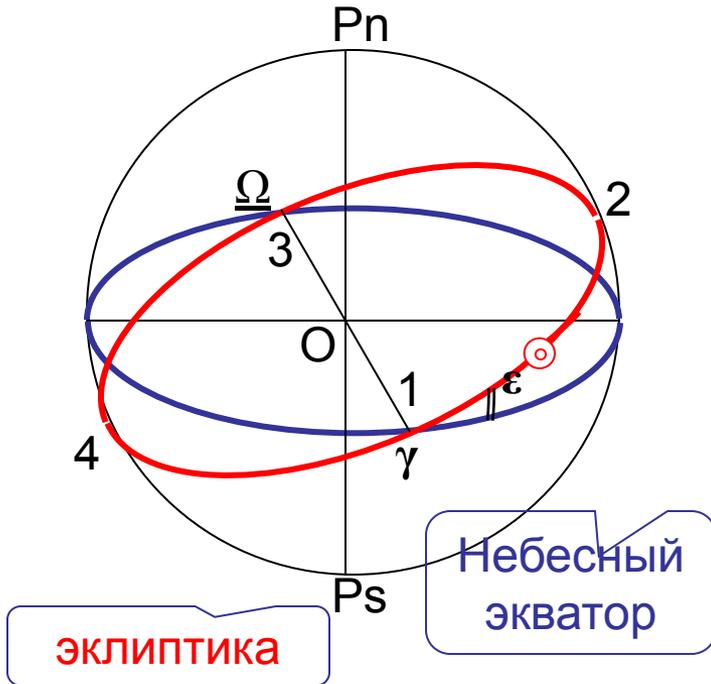
В северном полушарии продолжительность
дня максимальна, ночи – минимальна.

В южном полушарии – наоборот.

Солнце проходит через зенит на широте

© Гиенко Е.Г., каф астрономии и
гравиметрии СГГА $\varphi = 23.5^0$ с.ш. (тропик Рака)

Дни солнцестояний и равноденствий



3. День осеннего равноденствия 22-23 сентября

Начало астрономической осени.

Солнце пересекает небесный экватор,

$$\alpha = 12^h, \delta = 0^0$$

Продолжительности дня и ночи равны для всей Земли.

Солнце проходит через зенит на широте $\varphi = 0^0$ (экватор)

4. День зимнего солнцестояния 22-23 декабря

Начало астрономической зимы.

Склонение Солнца δ наименьшее,

$$\alpha = 18^h, \delta = -23.5^0$$

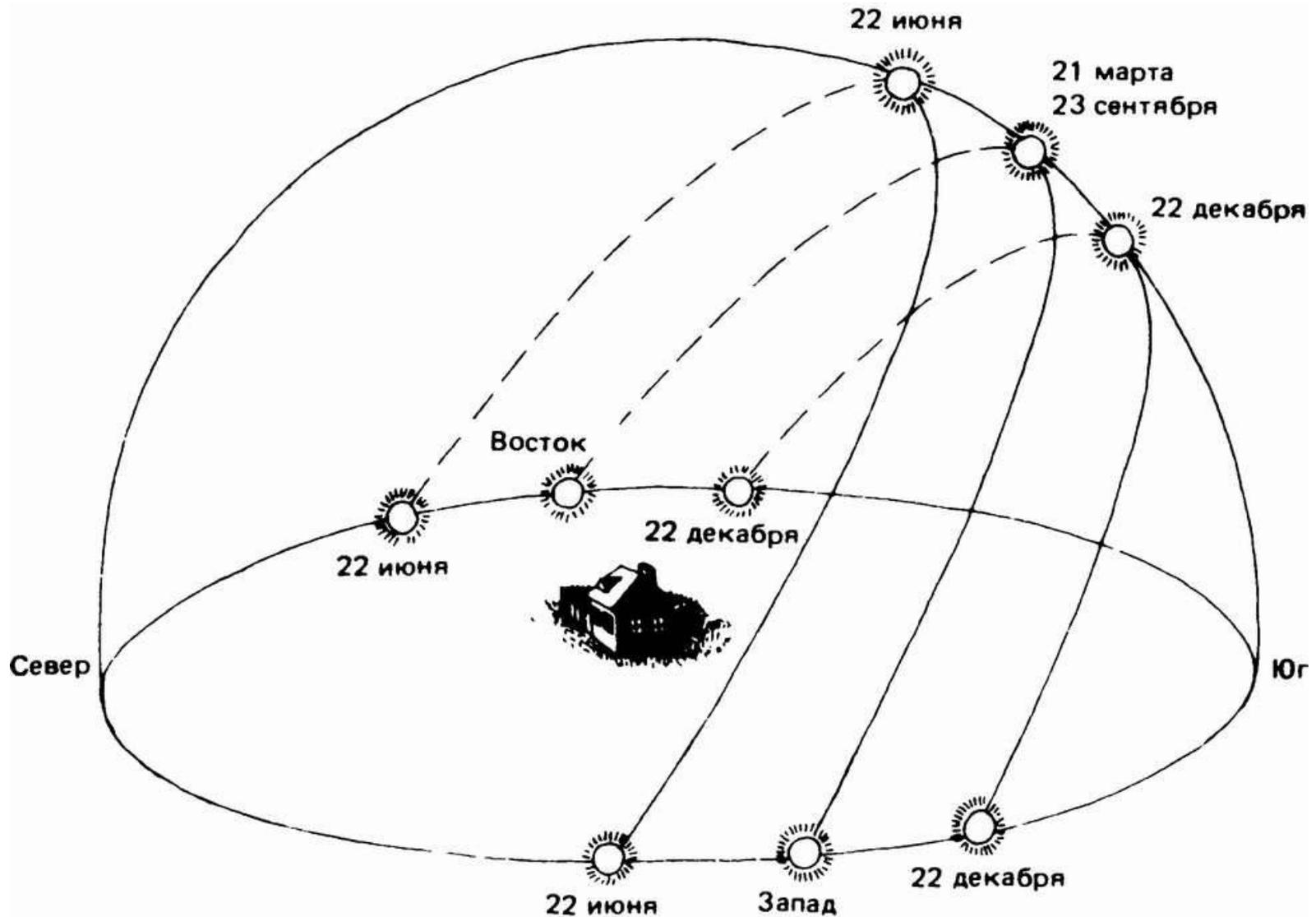
В северном полушарии продолжительность дня минимальна, ночи – максимальна.

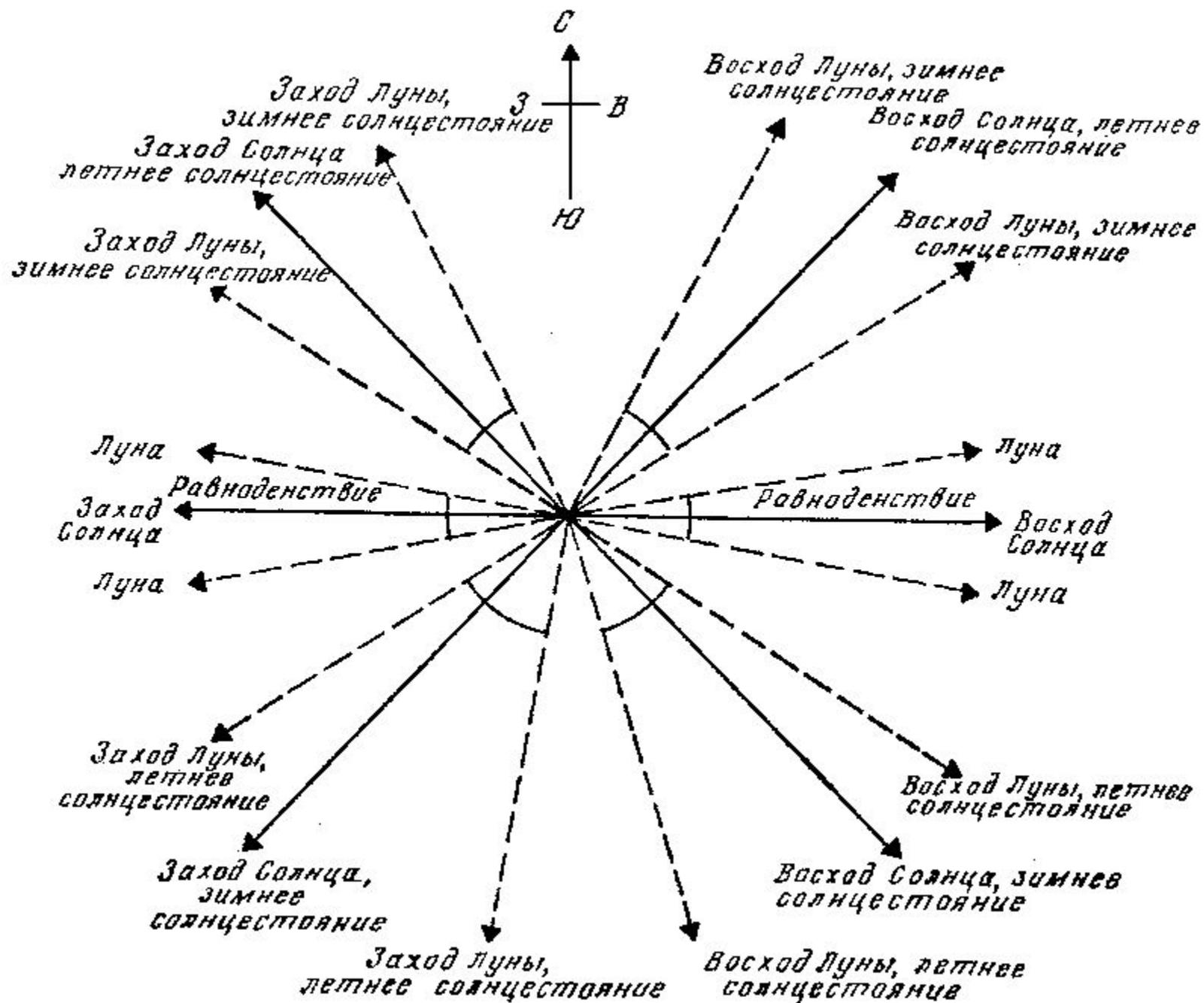
В южном полушарии – наоборот.

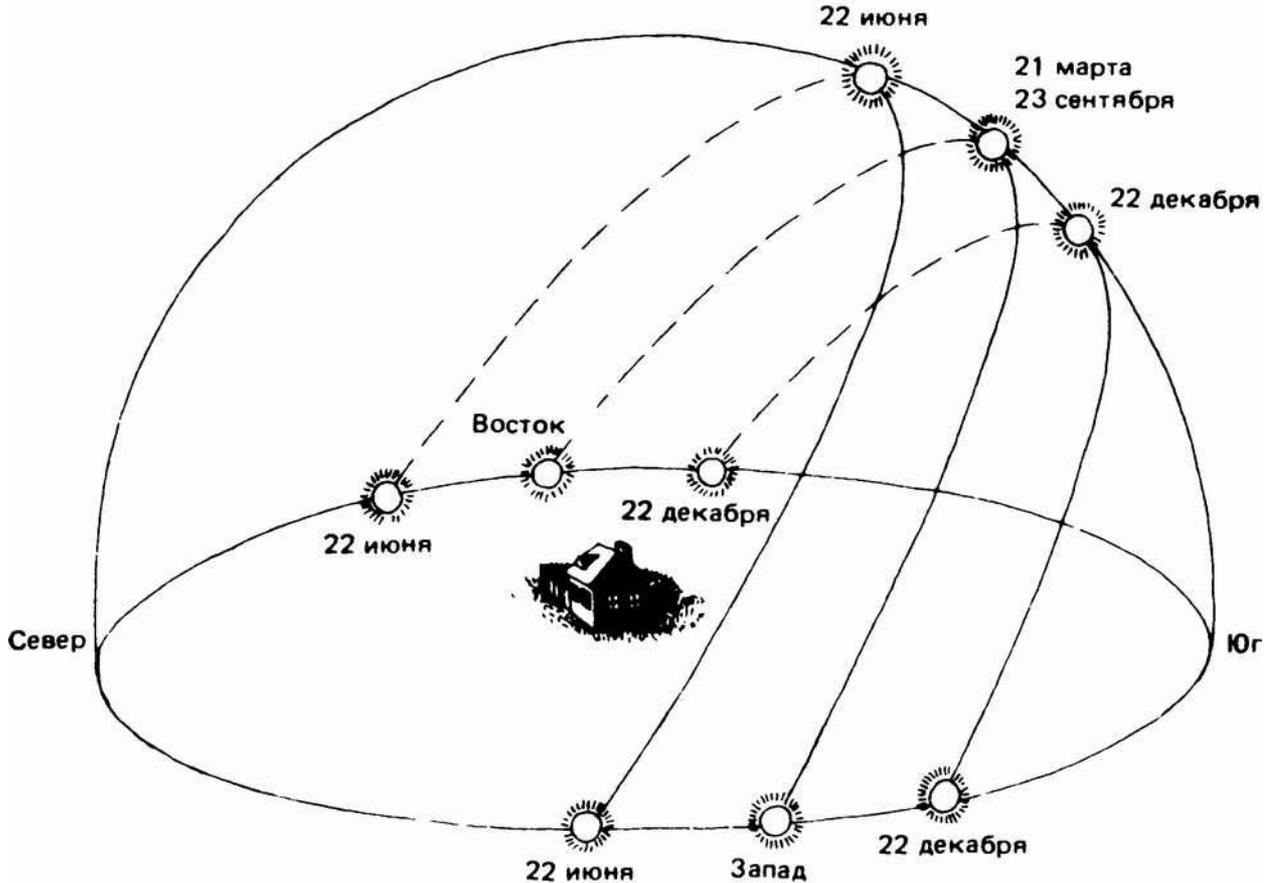
Солнце проходит через зенит на широте

$$\varphi = 23.5^0 \text{ ю.ш. (тропик Козерога)}$$

Наблюдения восходов-заходов Солнца и Луны в солнцестояния и равноденствия







- На какой высоте Солнце в истинный полдень в день летнего/зимнего солнцестояния в Новосибирске? Широта 55 градусов.

Календарь каменного века - Стоунхендж



© Гиенко Е.Г., каф астрономии и
гравиметрии СГГА

Восход Солнца в день летнего солнцестояния в Стоунхендже



- Чему равен наклон эклиптики к экватору?
- Когда продолжительность дня в Новосибирске минимальна?
- Когда продолжительность ночи в Австралии максимальна?
- В какие дни продолжительности дня и ночи равны?
- Почему происходит смена времен года?

