

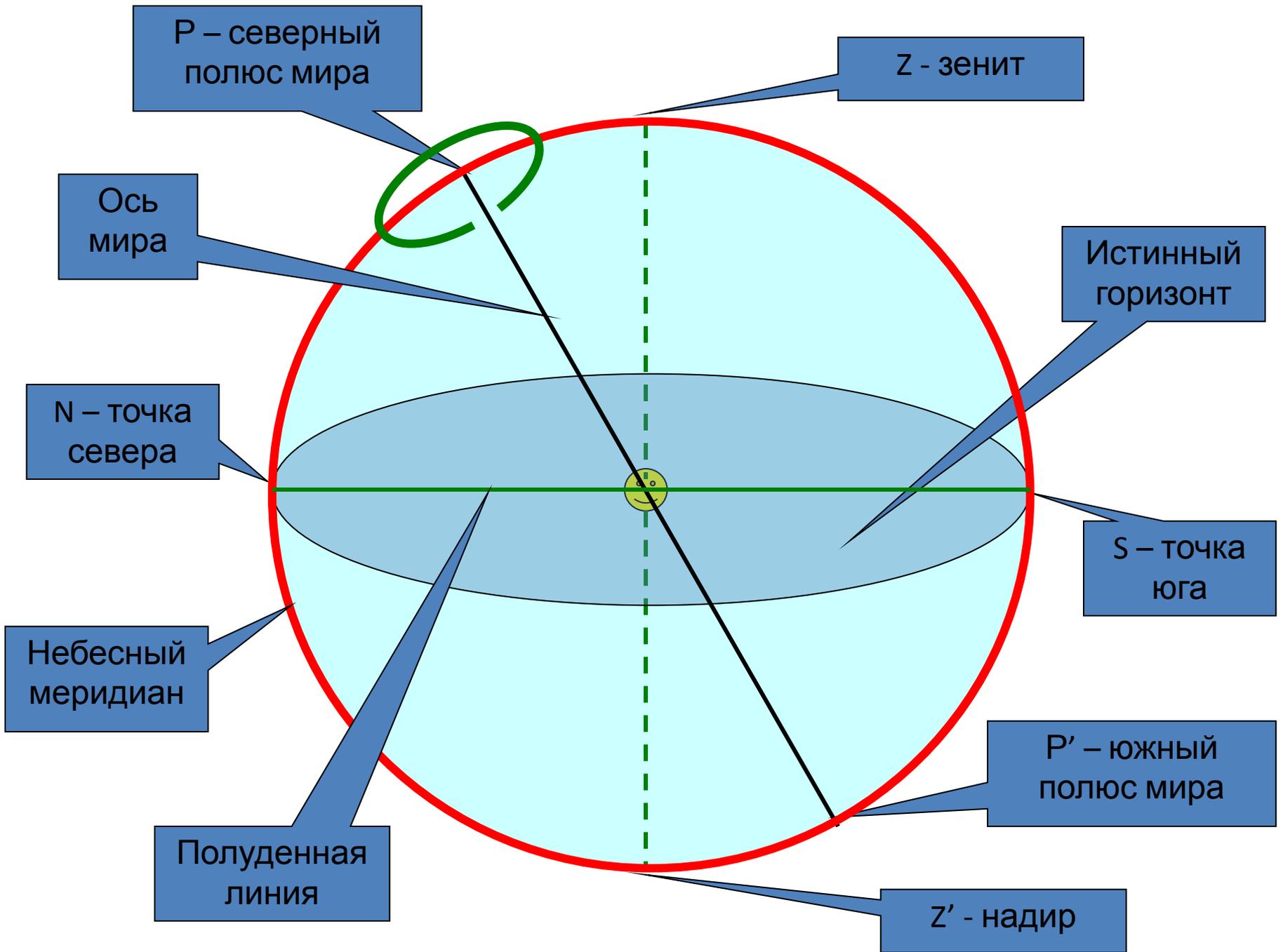
# Лекция 2

Основные круги и точки на  
небесной сфере. Системы  
небесных сферических  
координат.

Общие представления об  
определении широты и разности  
долгот по звездам

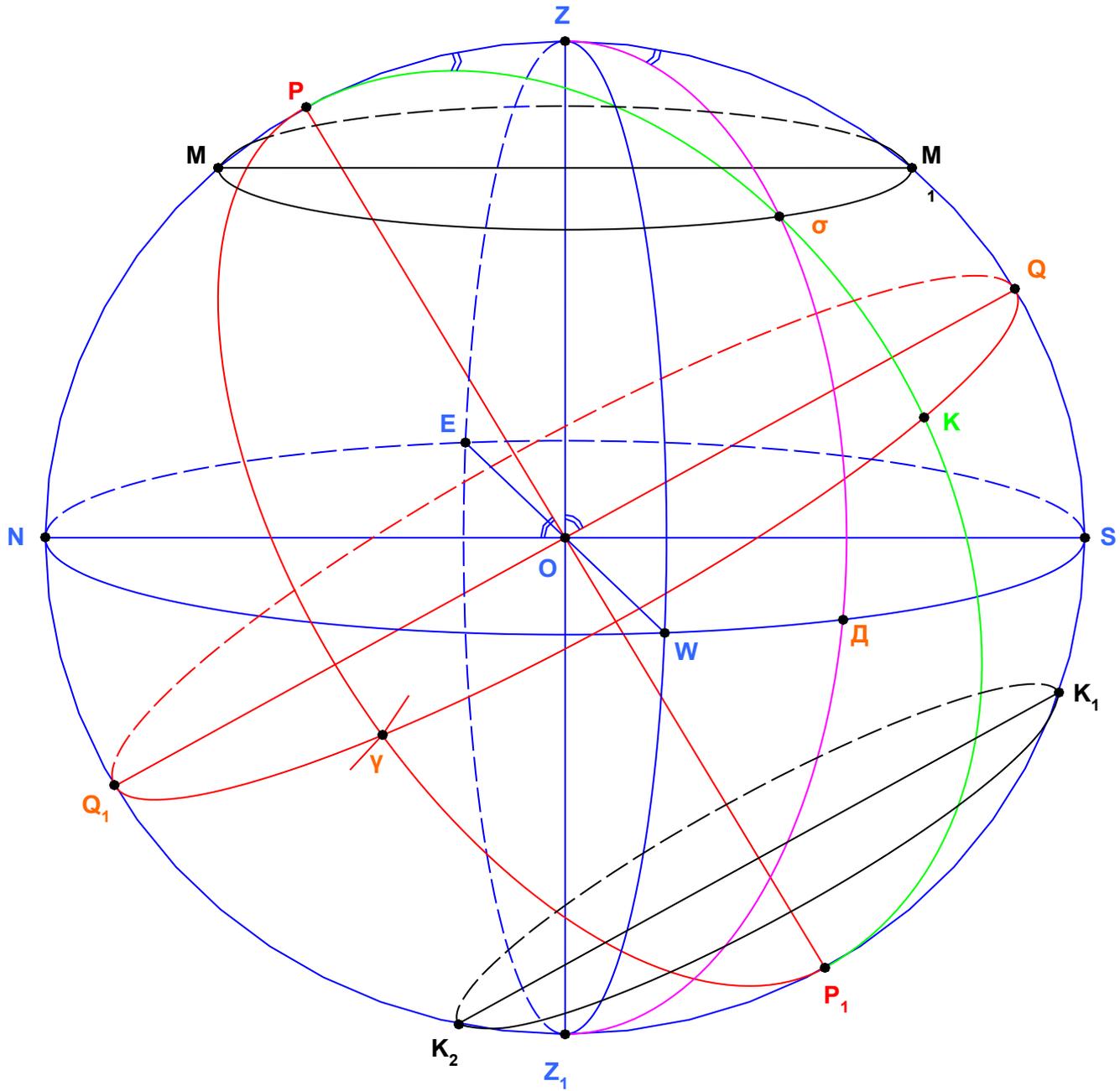
# Вопрос 1

## Основные круги и точки на небесной сфере



# ОСНОВНЫЕ ТОЧКИ И КРУГИ

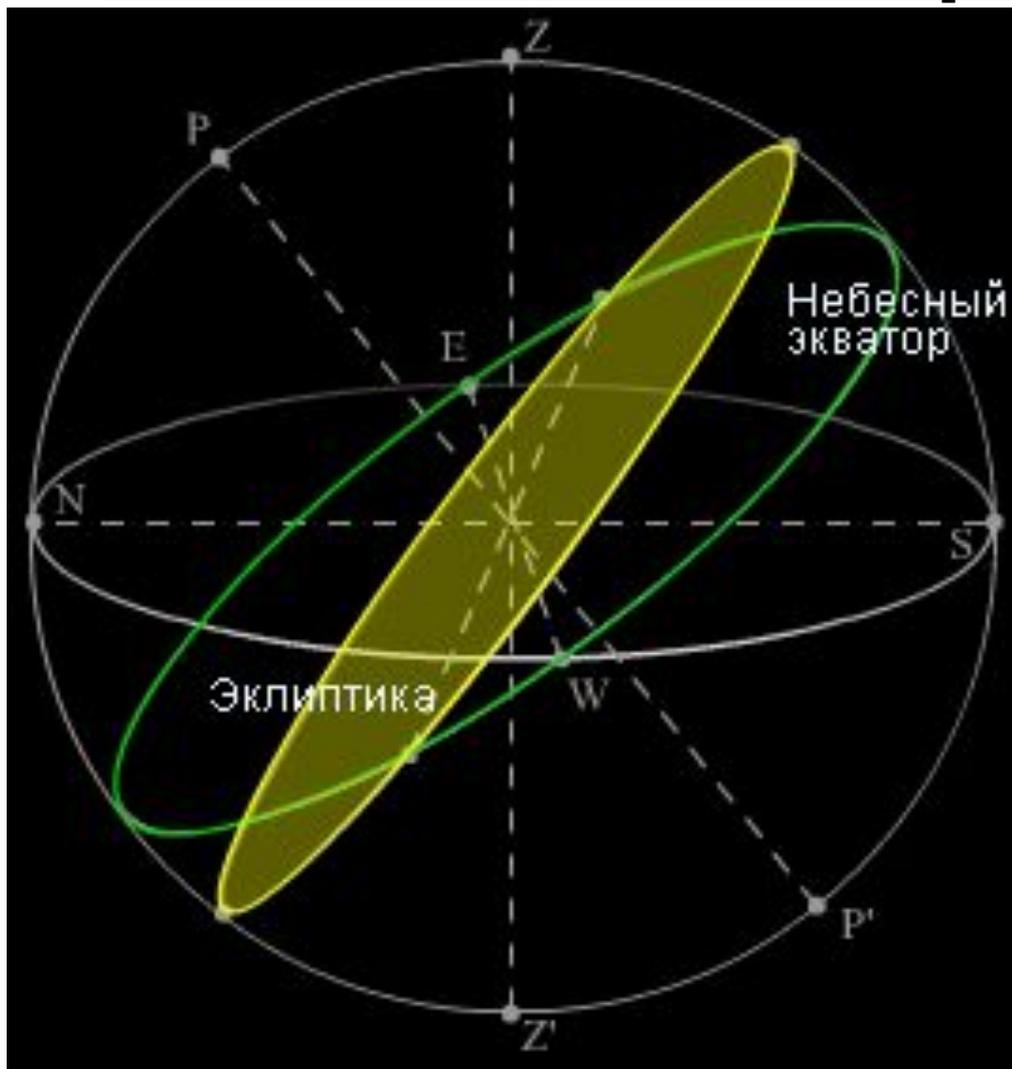
## НС



# Основные точки, круги и линии НС

Круги (плоскости)	Линии	Точки
$P_N Z P_S Z_1$ – плоскость небесного меридиана (НМ)	$ZOZ_1$ – отвесная линия	<b>O</b> – центр НС <b>Z</b> – зенит <b>Z<sub>1</sub></b> – надир
$NESW$ – плоскость небесного горизонта (НГ)	$P_N O P_S$ – ось Мира	<b>P<sub>N</sub></b> – северный полюс Мира
$Q_1 EQW$ – плоскость небесного экватора (НЭ)	$NOS$ – полуденная линия	<b>P<sub>S</sub></b> – южный полюс Мира
$ZWZ_1 E$ – плоскость I-го вертикала	$P_N Z P_S Z_1$ – линия небесного меридиана	<b>N</b> – точка севера ИГ
$Z\sigma Z_1$ – плоскость вертикала светила (круг высот)	$Q_1 EQW$ – линия небесного экватора	<b>E</b> – точка востока ИГ
$P_N \sigma P_S$ – плоскость НМ светила (круг склонения)	$K_1 K_2$ – суточная параллель	<b>S</b> – точка юга ИГ
$M\sigma M$ – плоскость альмукантарата светила (круг равных высот)	$M\sigma M_1$ – альмукантарат	<b>W</b> – точка запада ИГ

# Взаимное расположение небесного экватора и эклиптики

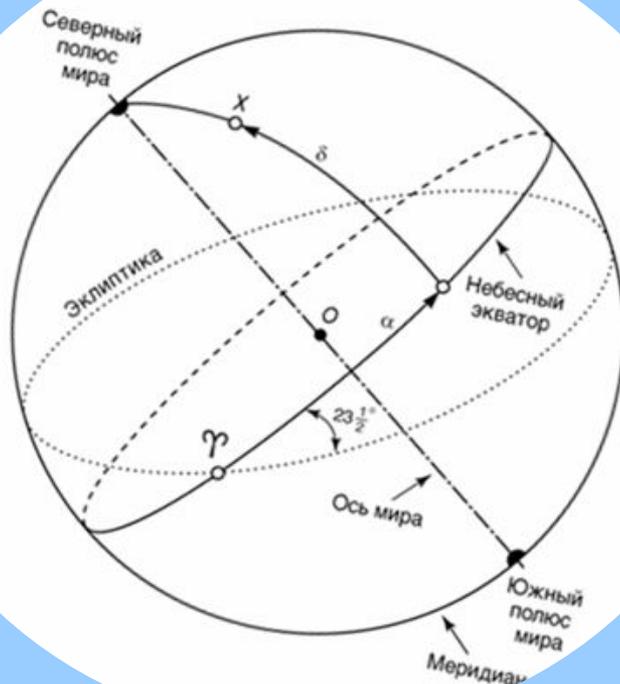


**Эклиптика** –  
видимый годовой  
путь центра  
солнечного диска  
по небесной  
сфере,  
вызванный  
годовым  
движением Земли  
вокруг Солнца

# Эклиптика

*Ось вращения Земли наклонена примерно на  $23,5^\circ$  относительно перпендикуляра, проведенного к плоскости эклиптики.*

*Всю эклиптику Солнце проходит за год, перемещаясь за сутки на  $1^\circ$*



*Пересечение этой плоскости с небесной сферой дает круг – эклиптику, видимый путь Солнца за год.*

# Эклиптика

*Каждый год в июне Солнце высоко поднимается на небе в Северном полушарии, где дни становятся длинными, а ночи короткими.*

22 июня – день летнего солнцестояния

22 декабря – день зимнего солнцестояния

*Переместившись на противоположную сторону орбиты в декабре у нас на севере дни становятся короткими, а ночи – длинными.*

21 марта – день весеннего равноденствия

23 сентября – день осеннего равноденствия

# Круги и точки НС, связанные с ВИДИМЫМ ГОДИЧНЫМ ДВИЖЕНИЕМ Солнца



# Круги и точки НС, связанные с видимым годичным движением Солнца

Круги (плоскости)	Линии	Точки
$P_N R_N P_S R_S$ – плоскость небесного меридиана	$P_N O P_S$ – ось Мира	$O$ – центр НС $R_N, R_S$ – полюса эклиптики
$Q_1 EQW$ – плоскость небесного экватора		$P_N$ – северный полюс Мира $P_S$ – южный полюс Мира $\Omega$ – точка весеннего равноденствия – точка осеннего равноденствия
$\gamma S_1 \Omega S_2$ – плоскость эклиптики	$R_N R_S$ – ось эклиптики	$S_1$ – точка зимнего солнцестояния $S_2$ – точка летнего солнцестояния



# Вопрос 2

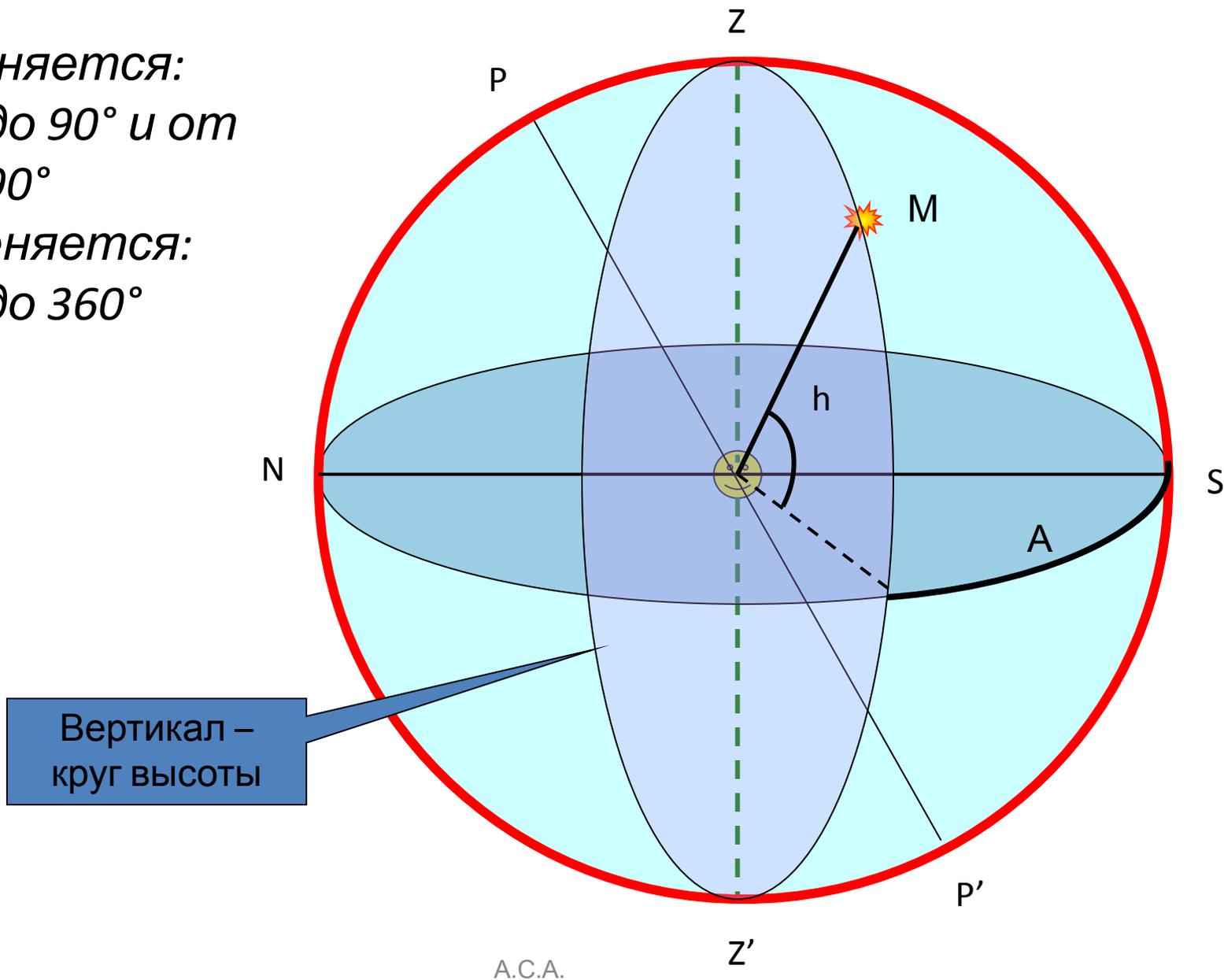
## Системы небесных сферических координат

# Горизонтальные

*В горизонтальных координатах положение объекта определяется*

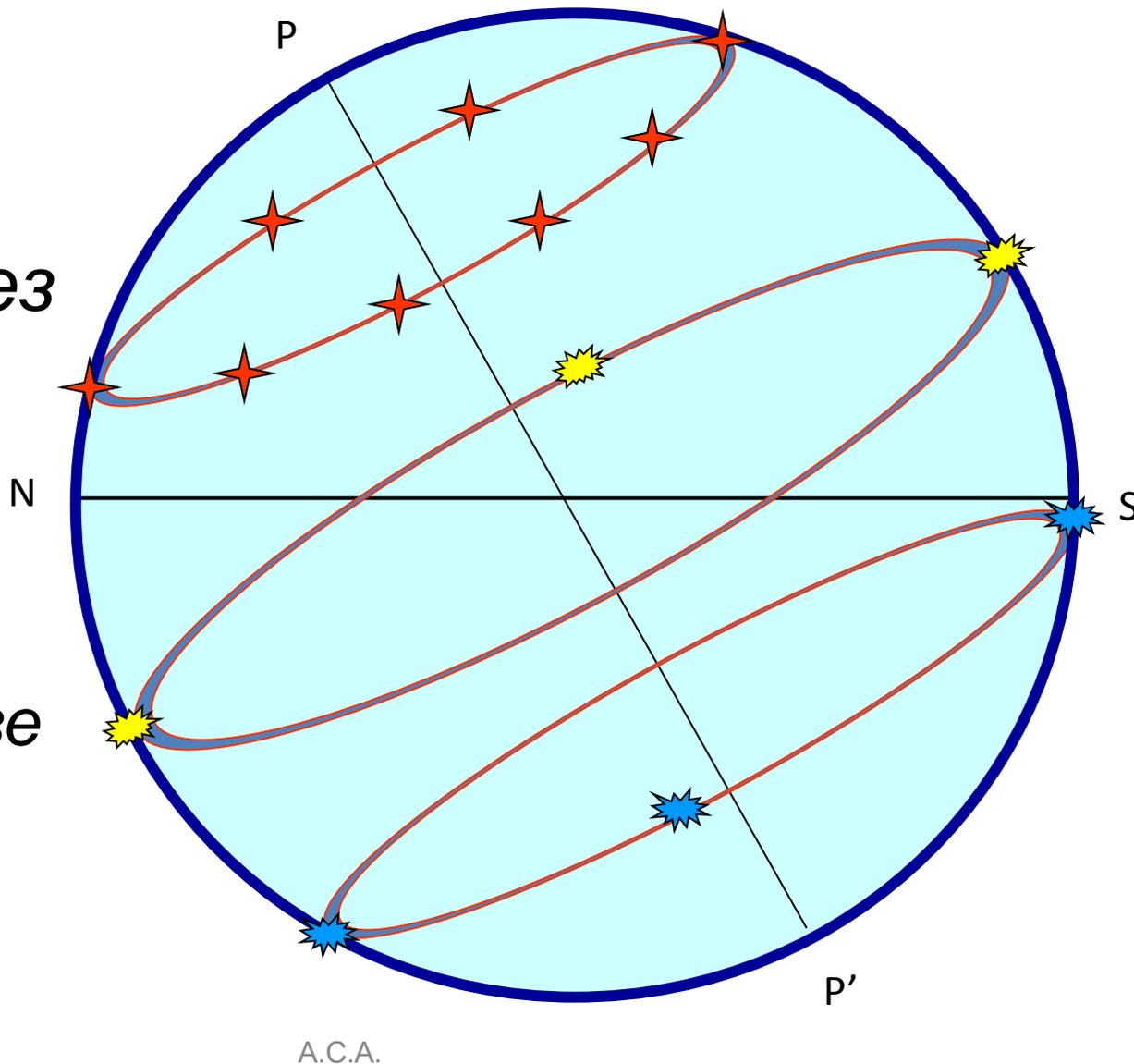
- *относительно горизонта  $u$*
  - *относительно направления на юг ( $S$ )*
- Положение звезды  $M$  задается***
- *высотой  $h$  (угловое расстояние от горизонта вдоль большого круга – вертикала)  $U$*
  - *азимутом  $A$  (измеренное к западу угловое расстояние от точки юга до вертикала)*

*h* изменяется:  
от  $0^\circ$  до  $90^\circ$  и от  
 $0^\circ$  до  $-90^\circ$   
*A* изменяется:  
от  $0^\circ$  до  $360^\circ$



# Кульминации небесных тел

–  
прохождение  
светила через  
небесный  
меридиан  
В течении  
суток  
происходит две  
кульминации:  
верхняя и  
нижняя



# Экваториальные

## координаты (первая система)

- **основной круг** – небесный экватор,
- **геометрические полюса** – северный и южный полюсы мира,
- **начальный круг** – небесный меридиан,
- **начальная точка** – верхняя точка Q экватора

# Экваториальные координаты

$\delta$  - склонение

$t$  – часовой угол  
светила



Первая экваториальная система  
координат

# Экваториальные

## координаты (первая система)

**положение светила определяется**

- **склонением светила ( $\sigma$ ) и**
- **часовым углом светила ( $t$ )**

**Склонение светила –**

- **определяется** как угол между направлением на светило из центра небесной сферы и плоскостью небесного экватора
- **отсчитывается** от экватора к северному полюсу от 0 до + 90° и к южному полюсу от 0 до – 90°
- **не зависит** от положения точки на поверхности Земли

# Экваториальные

## координаты (первая система)

Часовой угол светила –

- **определяется** как двухгранный угол между плоскостью небесного меридиана и плоскостью круга склонений светила
- **изменяется** в течение звездных суток пропорционально суточному вращению Земли от  $0^h$  до  $24^h$  или от 0 до  $360^\circ$  (для перевода часовой меры в градусную и обратно используют соотношения:  $24^h$  соответствует  $360^\circ$ ,  $1^h$  –  $15^\circ$ ,  $1^m$  –  $15'$ ,  $1^s$  –  $15''$ )
- **зависит** от положения точки на поверхности Земли

# Экваториальные

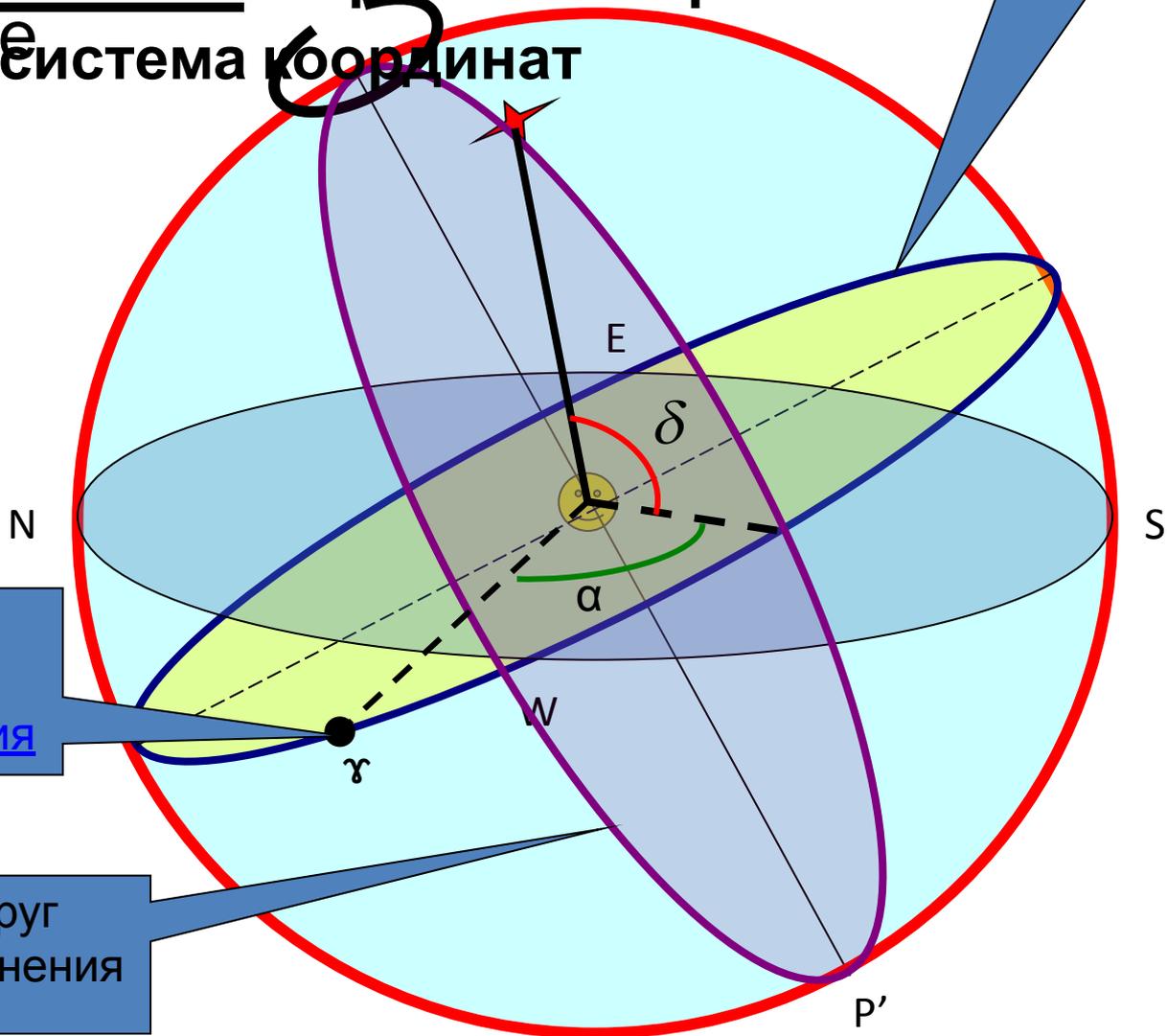
координаты вторая экваториальная  
 $\delta$  - склонение система координат

$\alpha$  – прямое  
восхождение  
 $e$

Небесный  
экватор

Точка  
весеннего  
равноденствия

Круг  
склонения



# Экваториальные

## КОординаты *«Склонение» звезды*

- *измеряется угловым расстоянием к северу или югу от небесного экватора*
- *изменяется от  $0^\circ$  до  $90^\circ$  и от  $0^\circ$  до  $-90^\circ$*

## *«Прямое восхождение»*

- *измеряется от точки весеннего равноденствия до круга склонения звезды*
- *изменяется от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  или от 0 до 24 часов*

# Вопрос 3

Общие представления  
об определении широты и разности  
долгот  
по звездам

# Координаты любой точки на поверхности Земли

**определяется**

- его широтой и долготой ( $\varphi$  и  $\lambda$ )  
(пересечением его меридиана с параллелью)
- **Астрономической широтой** ( $\varphi$ )  
называется угол между отвесной линией, проведенной в точке наблюдения, и экваториальной плоскостью Земли
- **Астрономической долготой** ( $\lambda$ )  
называется двугранный угол между плоскостью астрономического меридиана, проходящего через данную точку, и плоскостью начального астрономического меридиана

# Астрономические координаты:

- а) необходимы при изучении размеров и фигуры Земли в целом;
- б) определяют значения исходных географических координат для начальных пунктов геодезической сети, т. е. позволяют осуществить ориентировку референц-эллипсоида в теле Земли, а также определяют географическое положение триангуляции;
- в) необходимы для осуществления редуцирования геодезических измерений на референц-эллипсоид

# **Астрономический азимут**

- двухгранный угол между плоскостью астрономического меридиана данной точки и вертикальной плоскостью, ориентированной по данному направлению

## ***Астрономические азимуты:***

- а) контролируют в триангуляции и полигонометрии угловые измерения;
- б) используются в качестве независимого контроля измерений на точках теодолитных ходов и для эталонирования точных гироскопических приборов

# Географическое положение места на земном шаре

- для нахождения широты необходимо знать зенитное расстояние  $Z$  (или высоту над горизонтом  $h$ ) местное время  $S$  (поправку часов  $U$ )
- для определения долготы нужно найти поправку часов  $U_1$   $U_2$  в обоих пунктах наблюдения и сравнить их показания

# Для определения широты

лучше всего

- **наблюдать зенитное расстояние светила в меридиане или около него** (неточное знание времени меньше всего повлияет на результат)
- **подходит Полярная звезда** (она никогда не уходит далеко от меридиана)

# Проще всего широту определять

- **по высоте Полярной звезды, находящейся от полюса на расстоянии около  $1^\circ$ , в момент верхней или нижней кульминации**
- **в этом случае нужно отнять или прибавить к измеренной высоте  $1^\circ$ , чтобы получить широту места**

# Проще всего определять долготу

- **определив местное время**  
наблюдением за звездами или Солнцем
- **и зная время на меридиане, принятом**  
за начальный

***Разность местного времени для  
двух пунктов равна разности  
географических долгот этих  
пунктов, выраженной в единицах  
времени***

# Определение азимута предмета

выполняют определением

- азимута светила
- и угла между направлениями на светило и на предмет

$$An = A + Q$$

*Рассчитав угол между направлениями на Полярную звезду и предмет, по астрономическим таблицам для отсчитанного момента времени находят часовой угол Полярной звезды и ее азимут  $A$ , после чего рассчитывают азимут земного предмета*

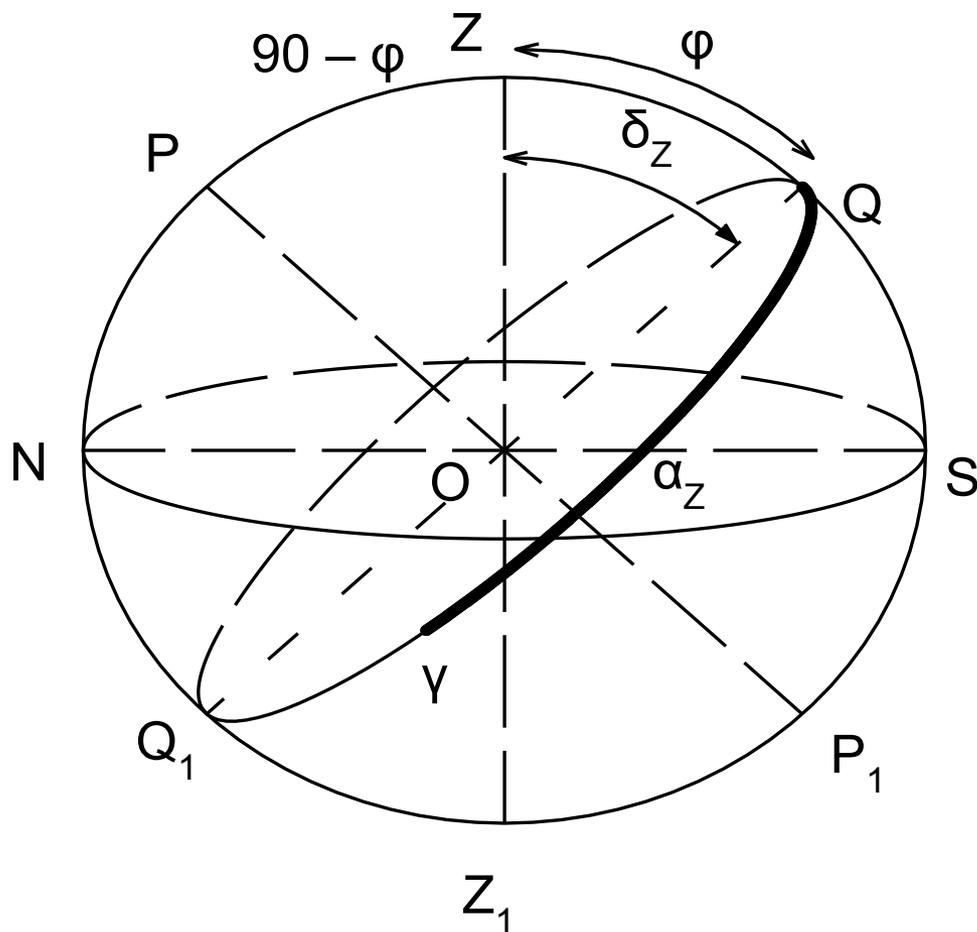


Рис. 1.7. Небесная сфера

- $Z(\alpha_z, \delta_z)$  – координаты точки зенита в данный момент времени  $T$
- $\phi = \delta_z, S = \alpha_z$  – географические координаты точки наблюдения
- В различных методах астрономических определений по-разному решается задача определения координат точки зенита

# Для нахождения координат точки Z

- сначала выполняют наблюдение звезд, координаты которых известны ( $\alpha_{\sigma}; \delta_{\sigma}$ ),
- затем, используя метод засечек, находят координаты точки Z

# Основные методы определения координат точки Z

- **Зенитальные** - координаты точки Z определяют по зенитным расстояниям до двух звезд
- **Азимутальные** - координаты точки Z получают по двум азимутам, измеренным до звезд  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$
- **Зенитально-азимутальные** - из наблюдения одной звезды получают Z и A, а затем находят координаты точки Z

# Вопрос 4

Связь между горизонтальной,  
первой и второй  
экваториальной  
системами координат на  
основе  
астрономических определений

# Связь между небесными и географическими координатами

(горизонтальной и экваториальными системами координат)

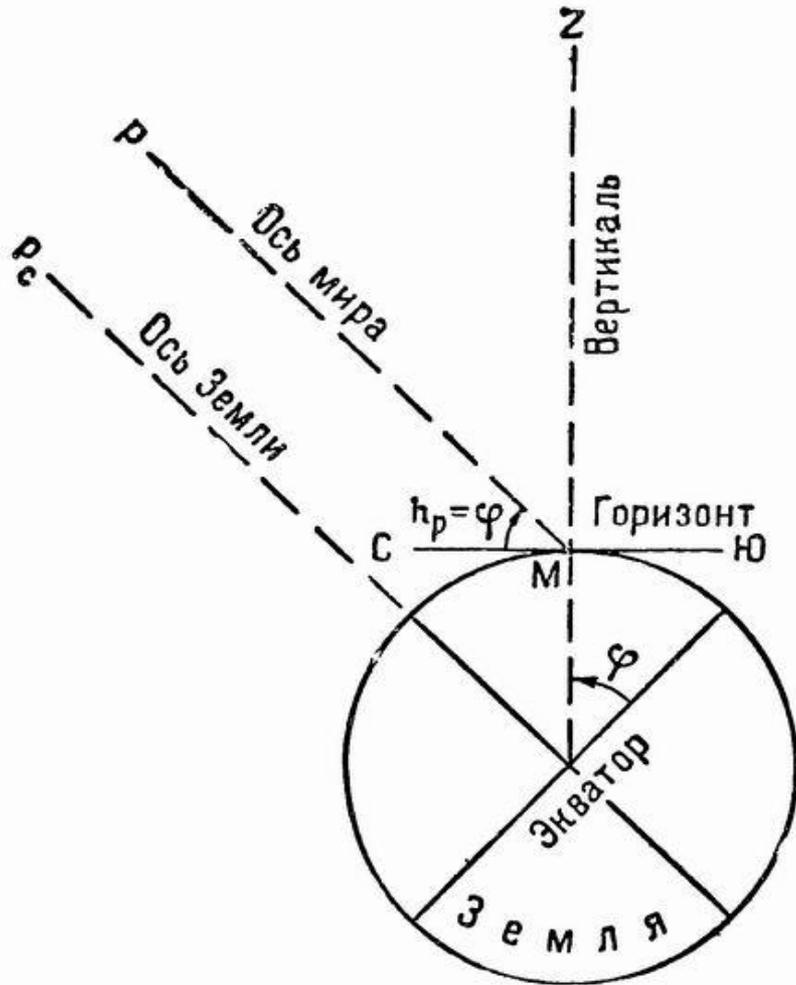
Теорема 1. Географическая широта места наблюдения численно равна склонению зенита в точке наблюдения и равна высоте полюса мира над горизонтом

$$\varphi = \delta_Z = h_P$$

# Высота полюса мира равна географической широте места

наблюдателя ( $\varphi_{\text{набл}} = h_p$ )

- измерив высоту полюса мира (практически высоту Полярной звезды), наблюдатель получит географическую широту своего места





# Связь между небесными и географическими координатами

Теорема 2. Разность часовых углов одного и того же светила, измеренного в один и тот же момент времени в двух разных точках земной поверхности, численно равна разности географических долгот этих точек на земной поверхности

$$t_1 - t_2 = \lambda_2 - \lambda_1$$

# Связь между первой и второй экваториальными системами

## Формула звёздного времени

$$S = t_{\gamma} = t + \alpha$$

Сумма часового угла и прямого восхождения светила равно звёздному времени