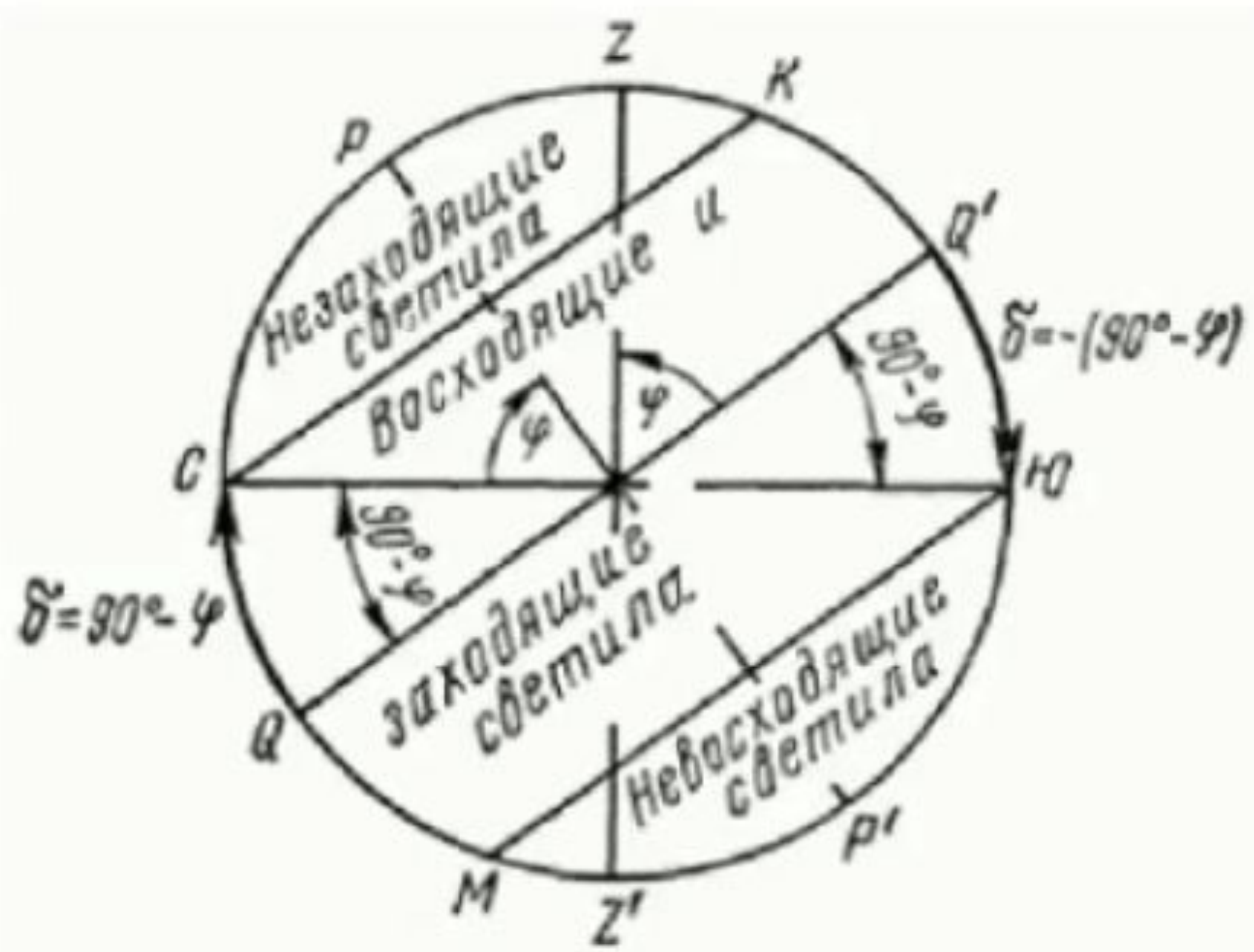
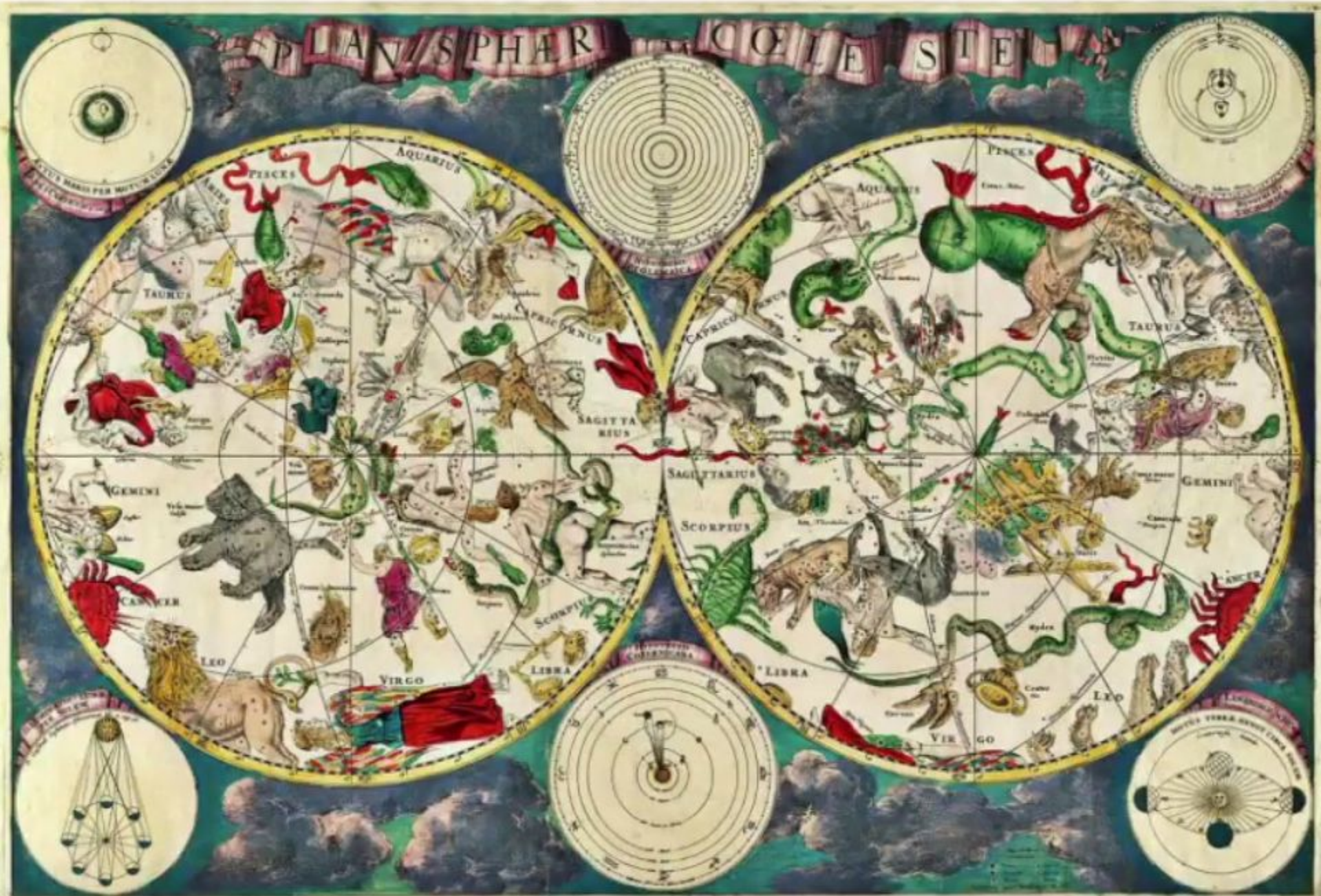


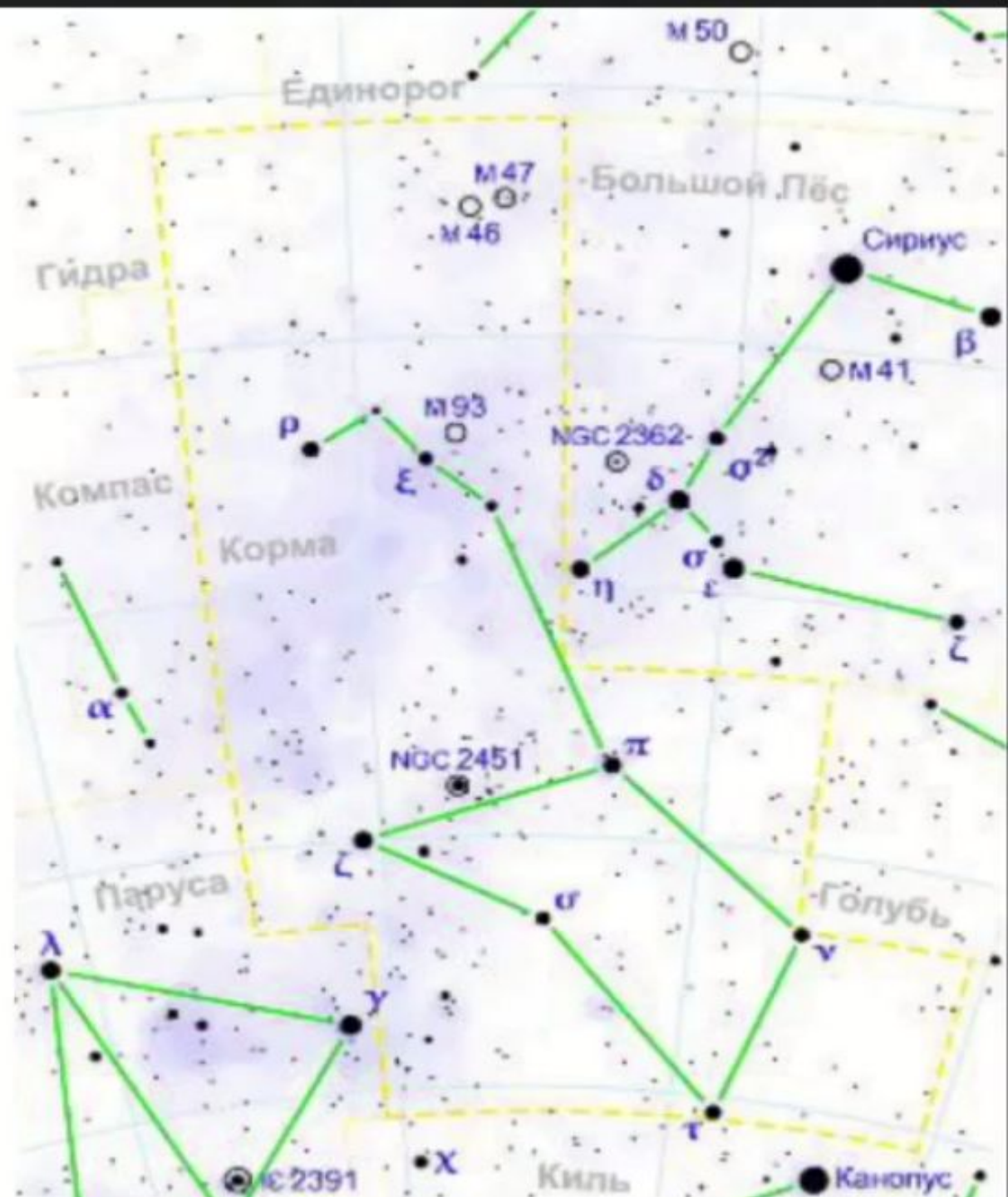
Решение задач



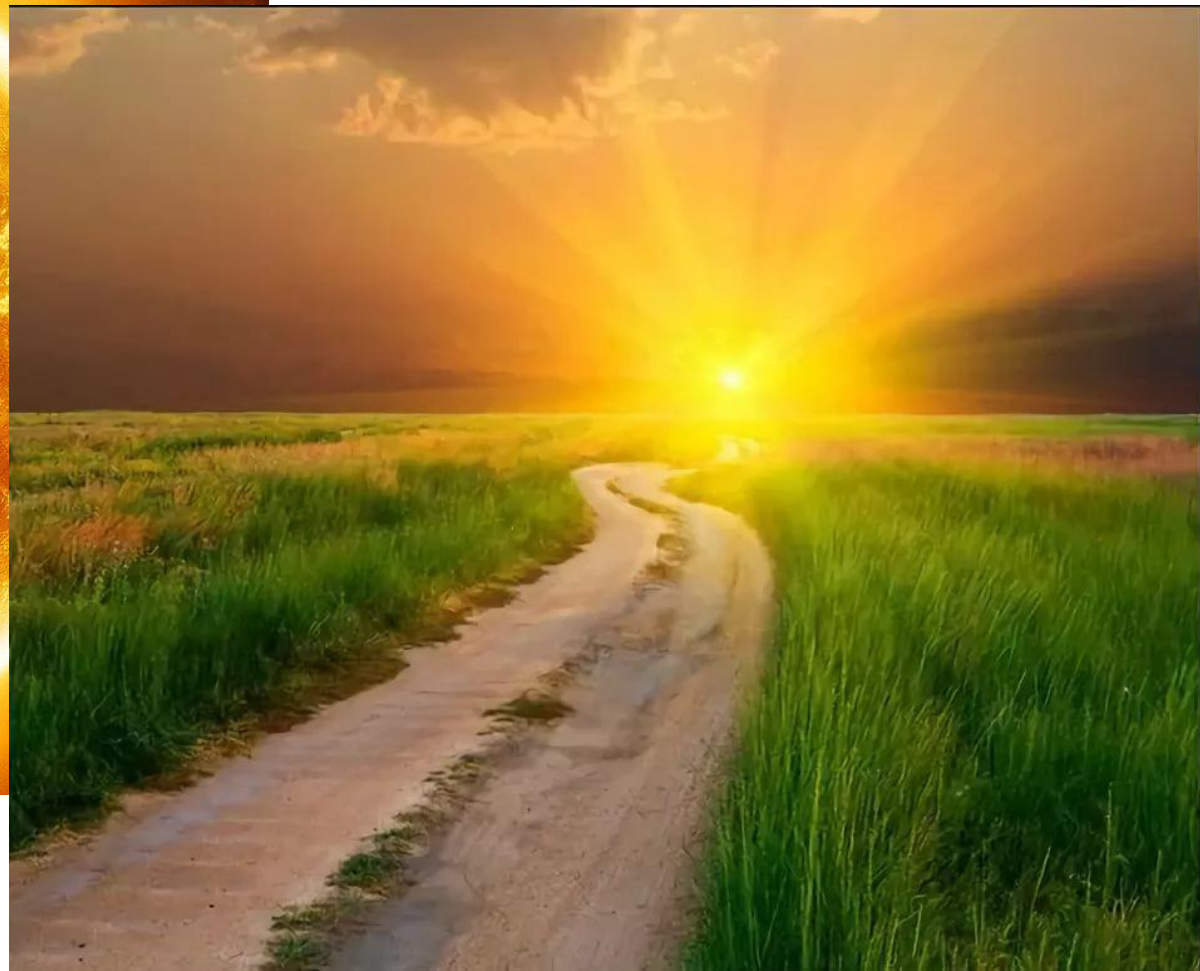
# Звездные карты



# Звездные карты



Назовите самую яркую звезду  
земного неба



# Видимая звездная величина

- мера яркости небесного тела (точнее, освещённости, создаваемой этим телом) с точки зрения земного наблюдателя. Обычно используют величину, скорректированную до значения, которое она имела бы при отсутствии атмосферы. Чем ярче объект, тем меньше его звёздная величина.

$$E = Ft = \frac{L}{4\pi R^2} \Rightarrow E \sim \frac{1}{R^2}$$

# Самые яркие звезды

Объект	Созвездие	<i>m</i>
Сириус	Большой Пёс	-1,47
Канопус	Киль	-0,72
$\alpha$ Центавра	Центавр	-0,27
Арктур	Волопас	-0,04
Вега	Лиры	+0,03
Капелла	Возничий	+0,08
Ригель	Орион	+0,12
Процион	Малый Пёс	+0,38
Ахернар	Эридан	+0,46
Бетельгейзе	Орион	+0,50
Альтаир	Орёл	+0,75
Альдебаран	Телец	+0,85
Антарес	Скорпион	+1,09
Поллукс	Близнецы	+1,15
Фомальгаут	Южная Рыба	+1,16
Денеб	Лебедь	+1,25
Регул	Лев	+1,35

# Основные свойства логарифмов

$$1. \log_a 1 = 0;$$

$$2. \log_a a = 1;$$

$$3. \log_a \frac{1}{a} = -1;$$

$$4. \log_{a^k} a = \frac{1}{k};$$

$$5. \log_a a^m = m;$$

$$6. \log_{a^k} a^m = \frac{m}{k};$$

$$7. \log_a bc = \log_a b + \log_a c;$$

$$8. \log_a \frac{b}{c} = \log_a b - \log_a c;$$

$$9. \log_{a^k} b = \frac{1}{k} \log_a b;$$

$$10. \log_a b^m = m \log_a b;$$

$$11. \log_{a^k} b^m = \frac{m}{k} \log_a b;$$

$$12. \log_a b = \frac{\log_c b}{\log_c a};$$

$$13. \log_a b = \frac{1}{\log_b a};$$

$$14. \log_a b \cdot \log_c d = \\ = \log_c b \cdot \log_a d$$

$$15. a^{\log_c b} = b^{\log_c a}$$



# Объекты земного неба

Объект	<i>m</i>
Солнце	-26,7 (в 400 000 раз ярче полной Луны)
Луна в полнолуние	-12,74
Вспышка «Иридиума» (максимум)	-9,5
Сверхновая 1054 года (максимум)	-6,0
Венера (максимум)	-4,67
Международная космическая станция (максимум)	-4
Земля (при наблюдении с Солнца)	-3,84
Юпитер (максимум)	-2,94
Марс (максимум)	-2,91
Меркурий (максимум)	-2,45
Сатурн (с кольцами; максимум)	-0,24
Звёзды Большого Ковша	+2
Галактика Андромеды	+3,44
Галилеевы спутники Юпитера	+5...6
Уран	+5,5
Самые слабые звёзды, наблюдаемые невооружённым глазом	От +6 до +7,72
Нептун	+7,8
Лебедь X-1	+8,95
Проксима Центавра	+11,1
Самый яркий квазар	+12,6
Самый слабый объект, заснятый в 8-метровый наземный телескоп	+27
Самый слабый объект, заснятый в космический телескоп «Хаббл»	+31,5

# Пределная звездная величина наблюдаемая глазом

$$\frac{E_T}{E_\Gamma} = 10^{0,4(\Delta m)} \Rightarrow \Delta m = m_T - m_\Gamma$$

$$m_T - m_\Gamma = 2,5 \lg \left( \frac{E_T}{E_\Gamma} \right) = 2,5 \lg \left( \frac{\frac{\pi D_T^2}{4}}{\frac{\pi d_\Gamma^2}{4}} \right) = 5 \lg \left( \frac{D_T}{d_\Gamma} \right)$$

$$m_T = m_\Gamma + 5 \lg \left( \frac{D_T}{d_\Gamma} \right) = 6,5^m - 5 \lg 6 + 5 \lg (D_T [\text{мм}])$$

$$m_T = 2,1^m + 5 \lg (D_T [\text{мм}])$$

# Абсолютная звездная величина

$$\frac{E_m}{E_M} = 10^{0,4(M-m)} \Rightarrow \frac{R_M}{R_m} = 10^{0,2(M-m)}$$

$$M - m = 5 \lg\left(\frac{R_M}{R_m}\right) = 5 \lg\left(\frac{10}{R_m}\right)$$

$$M = m - 5 \lg(R_m) + 5$$

$$m = M - 5 + 5 \lg(R[\text{пк}])$$

# Задача - 1.2

1.2.

Наша Галактика состоит из 100 миллиардов звёзд, формирующих 20% её массы. Оцените общую массу Галактики в килограммах.

- Строго говоря это так же вопрос.
- В первом приближении для грубой оценки предположим, что все эти звёзды похожи на Солнце.
- Следовательно полная масса Солнца будет:

$$1 M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30} \text{ кг} \Rightarrow M_{\text{Галактики}} = N_{\text{звёзд}} \cdot 1 M_{\odot} = \\ = 10^{11} \cdot 2 \cdot 10^{30} = 2 \cdot 10^{41} \text{ кг}$$

- В реальности масса галактики еще больше почти на порядок из-за темной материи

# Астероиды



4 Vesta

- Масса всех до 4% Лунной
- ~кг



21 Lutetia



253 Mathilde



243 Ida / 1 Dactyl



433 Eros



951 Gaspra



2867 Šteins



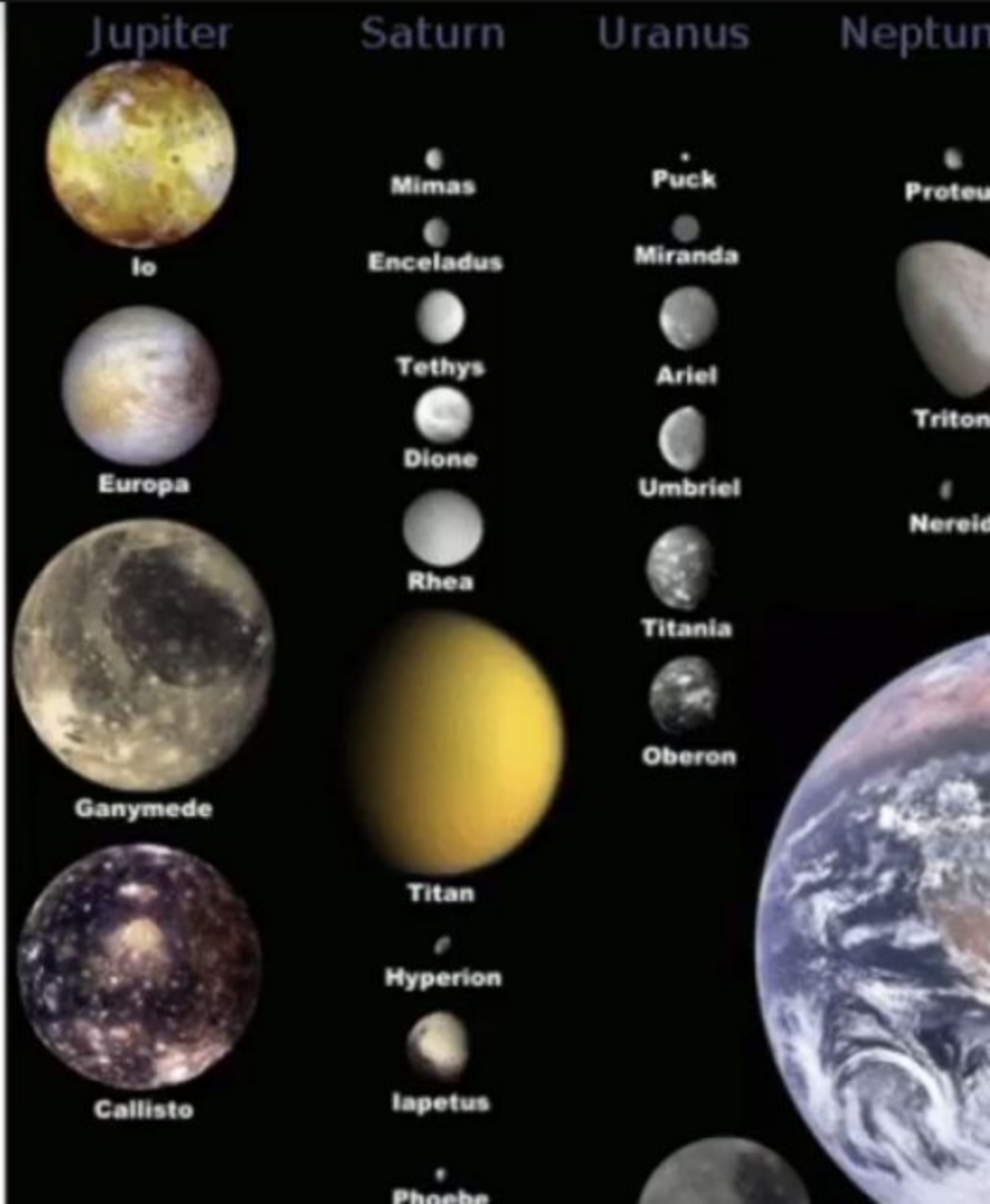
5535 Anefrank



25143 Itokawa

## Спутники планет

- В кг
- 1 Масса Луны =  $7,3 \cdot 10^{22}$  кг
- В массах Луны



# Планеты Земной группы



- В кг
- Массах Земли =  $5,97 \cdot 10^{24}$  кг



## Планеты-Гиганты

- В кг
- Массах Земли =  $5,97 \cdot 10^{24}$  кг
- Массах Юпитера =  $1,9 \cdot 10^{27}$  кг





# Звездные скопления




- В Массах Солнца =  $2 \cdot 10^{30}$  кг
- $10^4 \sim 10^7$  Масс Солнца

# Галактики



- В Массах Солнца =  $2 \cdot 10^{30}$  кг
- $10^8 \sim 10^{12}$  Масс Солнца

# Скопления галактик



- В Массах Солнца =  $2 \cdot 10^{30}$  кг
- $10^{13} \sim 10^{15}$  Масс Солнца

# Сверхскопления галактик

100 миллионов световых лет



- В Массе Солнца =  $2 \cdot 10^{30}$  кг
- $10^{16} \sim 10^{18}$  Масс Солнца

# Большие числа

## ДЕСЯТИЧНЫЕ ПРИСТАВКИ

наименование		обозначение		множитель	наименование		обозначение		множитель
русское	международное	русское	международ.		русское	международное	русское	международ.	
йотта	Yotta	И	Y	$10^{24}$	деци	deci	д	d	$10^{-1}$
зетта	Zetta	З	Z	$10^{21}$	санци	centi	с	с	$10^{-2}$
экса	Exa	Э	E	$10^{18}$	милли	milli	м	m	$10^{-3}$
пета	Peta	П	P	$10^{15}$	микро	micro	мк	μ	$10^{-6}$
тера	Tera	Т	T	$10^{12}$	нано	nano	н	n	$10^{-9}$
гига	Giga	Г	G	$10^9$	пико	pico	п	p	$10^{-12}$
мега	Mega	М	M	$10^6$	фемто	femto	ф	f	$10^{-15}$
кило	kilo	к	k	$10^3$	атто	atto	а	a	$10^{-18}$
гекто	hecto	г	h	$10^2$	цепто	zepto	з	z	$10^{-21}$
дека	deca	да	da	10	йокто	yocto	и	y	$10^{-24}$

\* В соответствии с ГОСТ 8.417-2002, не допускается применять с приставками наименование и обозначения следующих единиц СИ: минута, час, сутки, градус, минута угловая, секунда угловая, астрономическая единица, диоптрия, атомная единица массы.

# Сравнение характеристик и величин



- Система СИ не охватывает огромный диапазон величин характерный для астрономии поэтому в астрономии очень много внесистемных величин
- При получении характеристик необходимо преобразовывать их в величины и единицы, которые можно с чем-то сравнить
- Приучать навык сравнения применять при проверке и оценке полученных ответов

# Задача - 1.3

1.3.

Определите радиус Галактики Млечный Путь в километрах.

- Возьмем из учебника 29 параграф размеры Млечного пути – поперечник 100000 световых лет.
- Для решения задачи потребуется две величины:
- Скорость света:  $c = 3 \cdot 10^5$  км
- Число секунд в году:  $t = 365,25 \cdot 24 \cdot 3600 = 3,15 \cdot 10^7$  секунд
- Один световой год – путь который свет проходит за год:  $1 \text{ св. год} = c \cdot t = 3 \cdot 10^5 \cdot 3,15 \cdot 10^7 = 9,45 \cdot 10^{12}$  км
- Радиус Галактики в километрах:  $R = \frac{10^5 \text{ св.лет}}{2} = 5 \cdot 10^4 \cdot 9,45 \cdot 10^{12} = 4,7 \cdot 10^{17}$  км



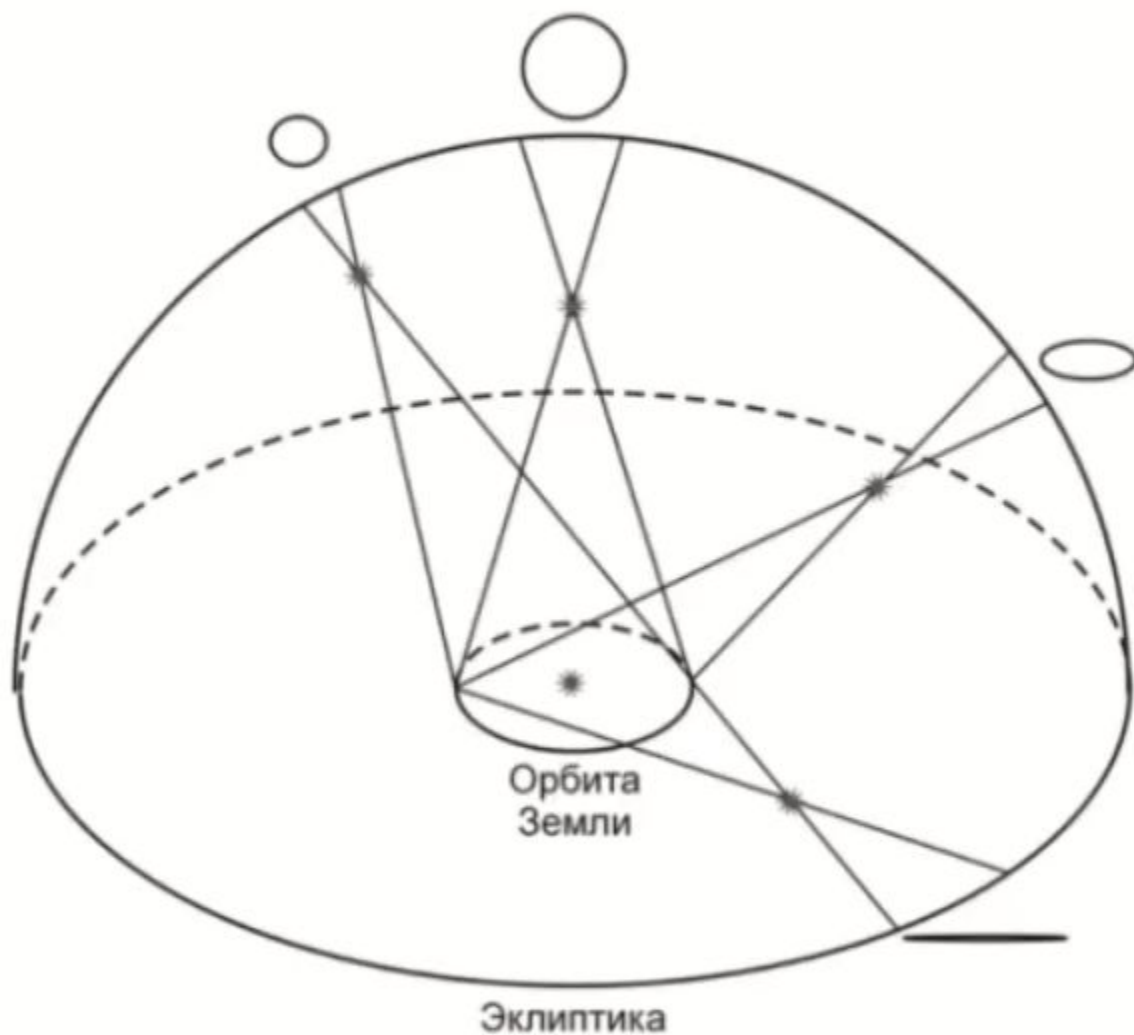
# Годичный параллакс

- Геометрические размеры:

- $\sin \pi = \frac{a_{\oplus}}{r}$

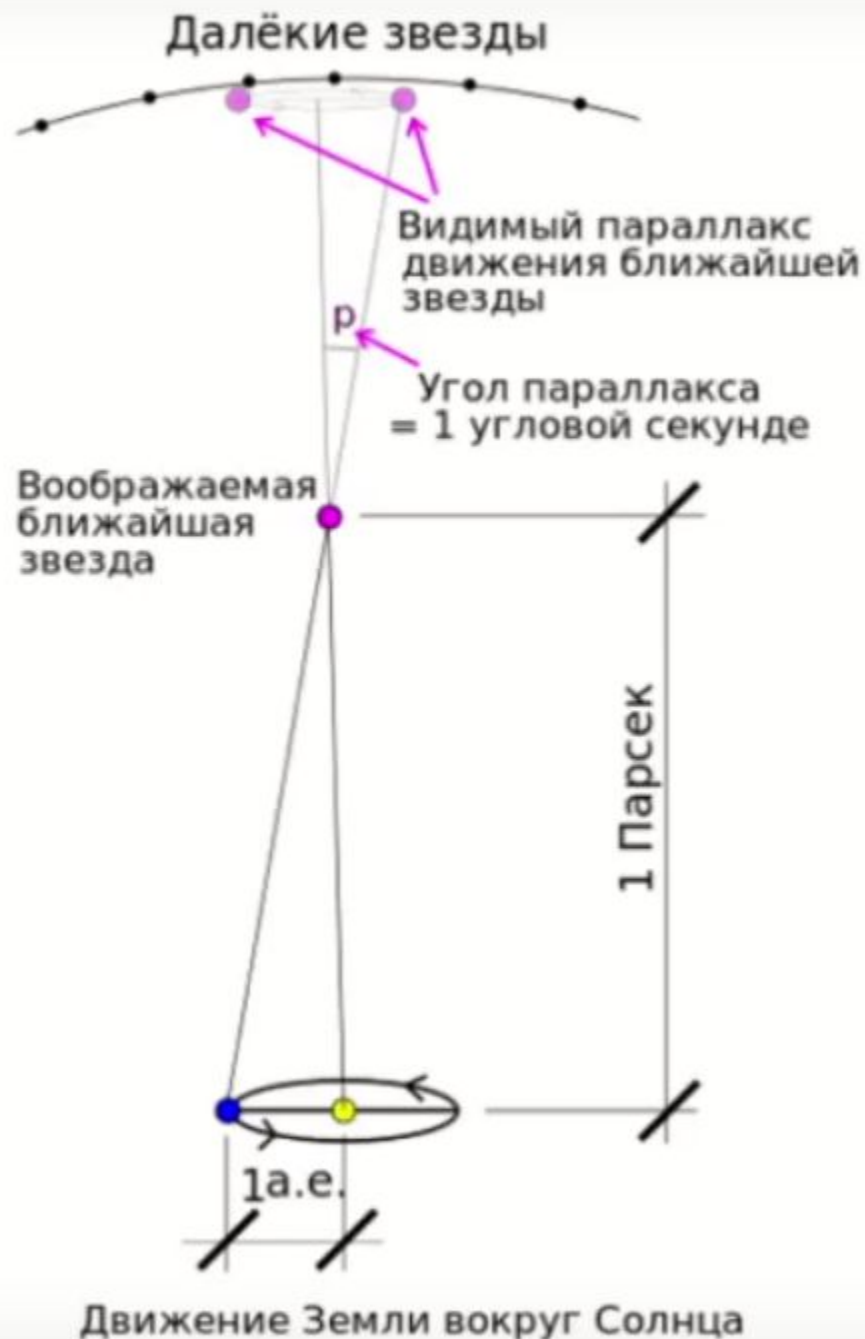
- Приближение малых углов

- $\pi'' = \frac{1}{r}$

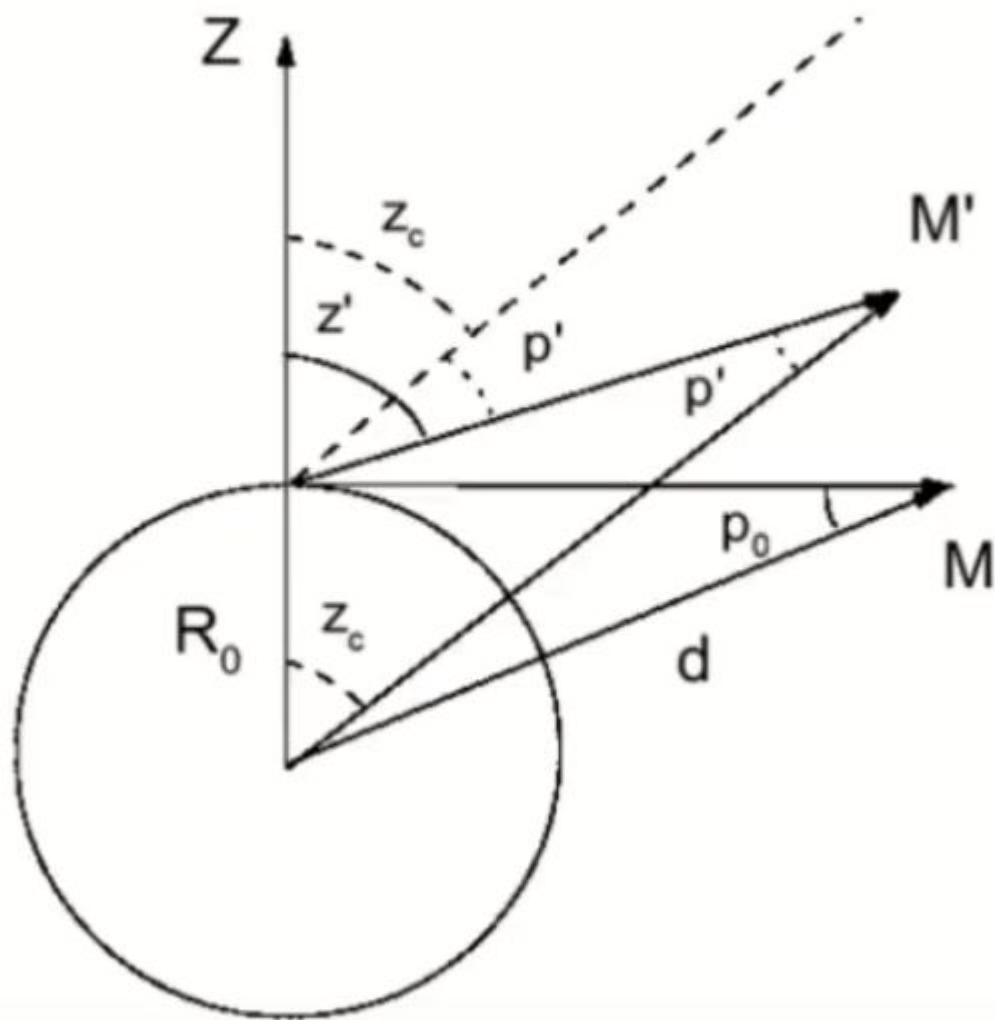


# Парсек

- 1 пк  $\approx 206\,264,8$  а. е. =  $3,0856776 \cdot 10^{13}$  км = 3,2616 светового года.
- Парсек — это расстояние, с которого отрезок длиной в одну астрономическую единицу (практически равный среднему радиусу земной орбиты), перпендикулярный лучу зрения, виден под углом в одну угловую секунду ( $1''$ )



# Горизонтальный параллакс



- $p' = p \sin z'$

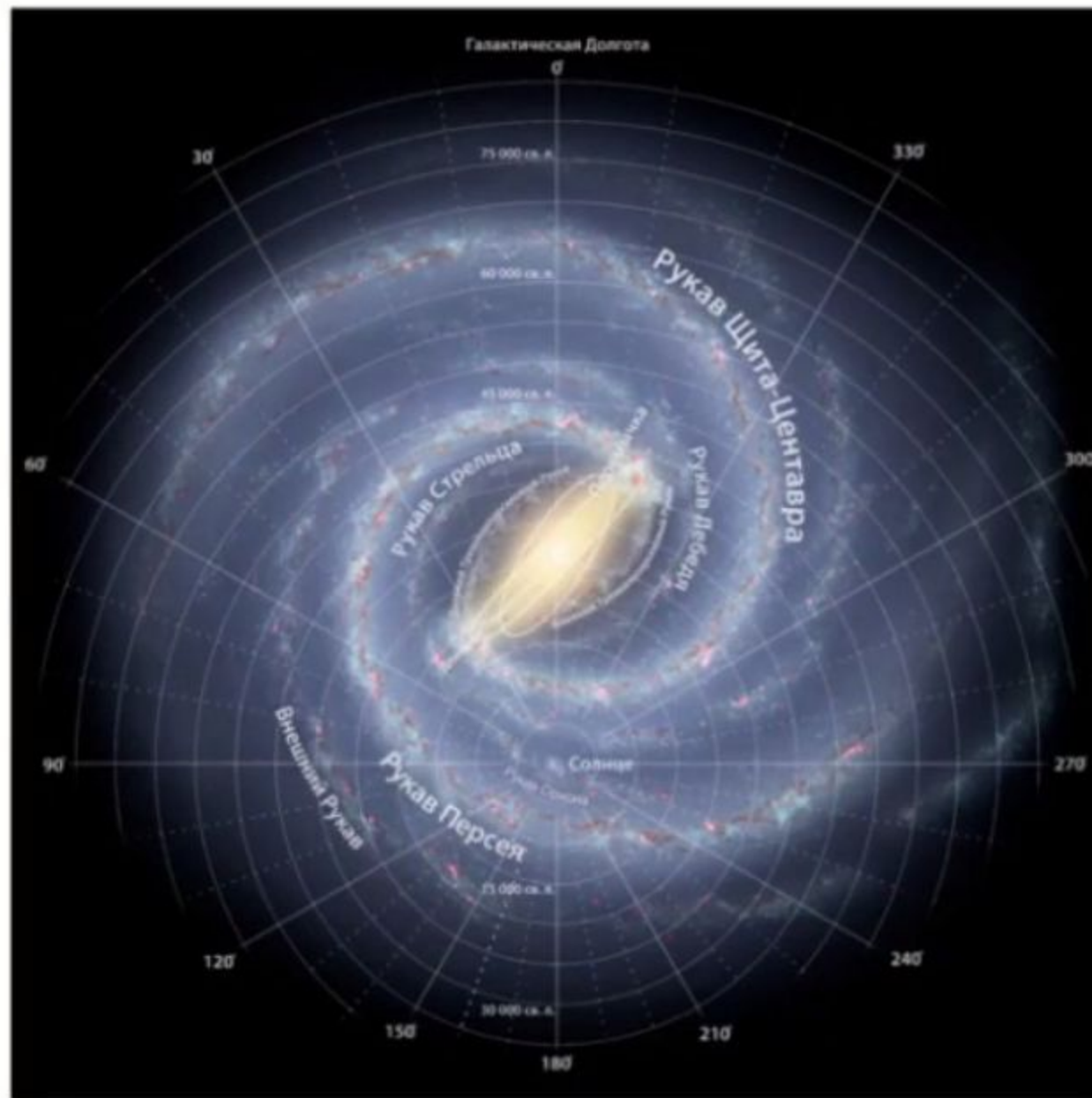
- $z_c = z' - p \sin z'$

- $\sin p_0 = \frac{R_{\oplus}}{d}$

- $d = \frac{206265'' R_{\oplus}}{p_0''}$

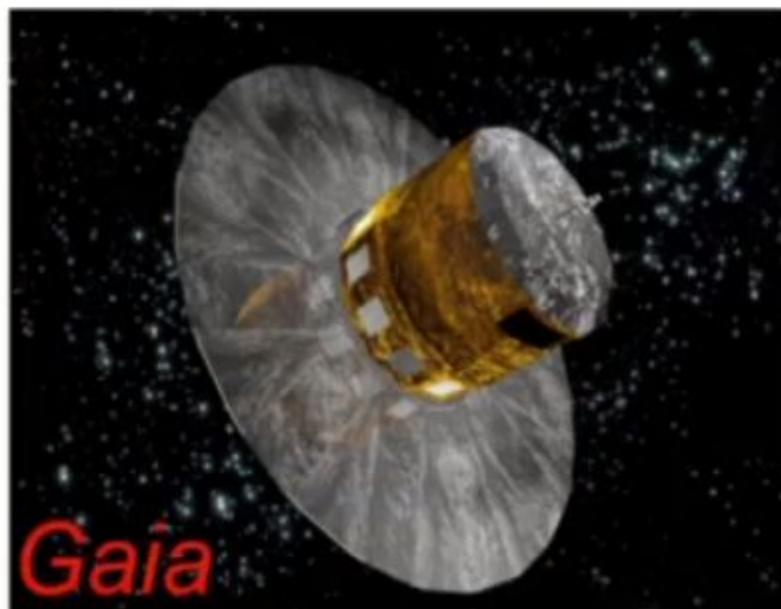
# Световой год

- **Световой год** (русское обозначение: св. год; международное: ly) — единица измерения расстояния в астрономии, равная дистанции, которое электромагнитные волны (свет) проходят в вакууме не испытывая влияния гравитационных полей за один юлианский год.
- 1 св. год = 3,26 пк



# Шкала расстояний в астрономии

- Диаметры объектов – км
- Планетные системы – а.е.
- Расстояния между звездам – пк
- Размеры галактик – 10- 100 кпк
- Расстояния между галактик – 1 Мпк
- Размеры скоплений галактик – 10 Мпк
- Размеры сверхскоплений галактик – 100 Мпк
- Размеры наблюдаемой вселенной – 4 Гпк



# Задача - 1.4

1.4.

Сигнал с посланием о нашей цивилизации отправили в сторону шарового скопления М13. Когда можно ожидать ответ?

- Возьмем из учебника 30 параграф, подведение итогов, расстояние до М13 – 7,6 кпк.
- Для решения задачи потребуется величина перевода кпк в световые годы:
- Соотношение световых лет и кпк: 1 кпк = 3,26 св. года
- Вывод о том, что сигнал движется со скоростью света. Следовательно он должен сначала дойти до скопления М13. И после принятия и его отправки обратно он пройдет тоже расстояние.
- Расстояние до М13 в световых годах:  $R_{M13} = 7,6 \cdot 10^3 \cdot 3,26 = 2,48 \cdot 10^4$  св. лет
- Следовательно сигнал пройдет туда и обратно:  $t = 2 \cdot R_{M13} = 2,48 \cdot 10^4 \cdot 2 \approx 5 \cdot 10^4$  лет

# Задача - 1.5

1.5.

Из вещества Солнца сделали проволоку диаметром 1 мм, не изменяя её среднюю плотность. Дотянется ли эта проволока из центра до края Галактики?

- Раз плотность не изменили, значит объем Солнца превратился в объем проволоки. Потребуется формула объема шара равного Солнцу:

$$V_{\text{Шара}} = \frac{4}{3}\pi R_{\odot}^3 = \frac{1}{6}\pi D_{\odot}^3$$

- Представление, что проволока это цилиндр, соответственно объем цилиндра с заданным по условию диаметром – 1 мм:

$$V_{\text{цилиндра}} = \pi R_{\text{цилиндра}}^2 h_{\text{цилиндра}} = \frac{\pi D_{\text{цилиндра}}^2 h_{\text{цилиндра}}}{4}$$

- Приравняем эти два объема и выразим высоту полученного цилиндра и переведем полученную величину в световые годы:

$$h_{\text{цилиндра}} = \frac{2}{3} \left( \frac{D_{\odot}}{D_{\text{цилиндра}}} \right)^2 \cdot D_{\odot} = \frac{2}{3} \left( \frac{1,4 \cdot 10^6 \text{ км}}{10^{-6} \text{ км}} \right)^2 \cdot 1,4 \cdot 10^6 = 1,8 \cdot 10^{30} \approx 2 \cdot 10^{17} \text{ св. лет}, \text{ что больше размеров наблюдаемой Вселенной}$$

# Массы, плотности и объемы

- Связь массы, плотности и объема:

$$M = \rho \cdot V \Rightarrow \frac{M_1}{M_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2} \cdot \frac{V_1}{V_2}$$

- Объем шара:

$$V_{\text{шара}} = \frac{4}{3} \pi R_{\text{шара}}^3 = \frac{1}{6} \pi D_{\text{шара}}^3$$

- Объем сегмента шара:

$$V_{\text{сегмента шара}} = \frac{\pi \cdot h_{\text{сегмента шара}}^2}{3} \cdot (3R - h_{\text{сегмента шара}})$$

- Объем слоя:

$$V_{\text{слоя}} = \frac{4}{3} \pi R_{\text{шара}}^2 h_{\text{слоя}}$$

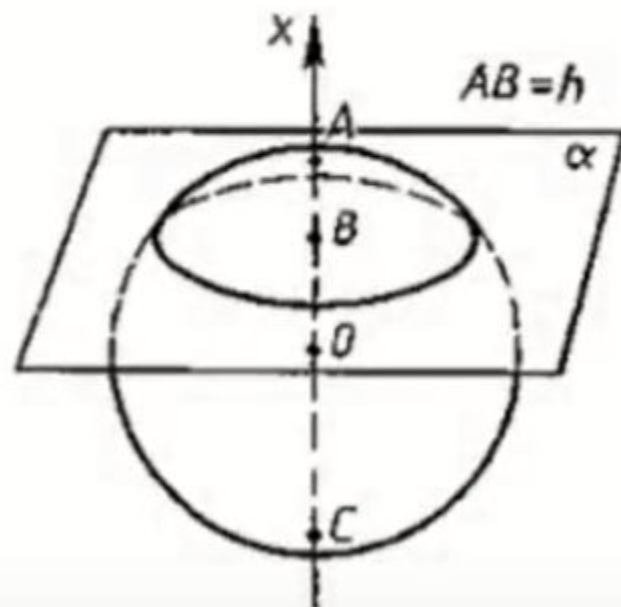
- Объем диска и цилиндра:

$$V_{\text{цилиндра}} = \pi R_{\text{цилиндра}}^2 h_{\text{цилиндра}}$$

- Объем кольца:

$$V_{\text{кольца}} = \pi (R_{\text{внешнее}}^2 - R_{\text{внутреннее}}^2) h_{\text{кольца}}$$

- Объем тора:





# Задача - 1.6

1.6.

Космический аппарат вылетел из Солнечной системы со скоростью 10 км/с. Сколько времени он будет лететь до звезды Проксима Центавра?

- Из параграфа 8 учебника расстояние до Проксима 1,4 пк.
- Переведем эту величину в световые годы, если 1 пк = 3,26 св. года:
- Получается, что расстояние до Проксима составит – 4,6 светового года
- Определим во сколько раз скорость корабля меньше чем скорость света:

$$\bullet \frac{V_{\text{корабля}}}{c} = \frac{10}{3 \cdot 10^5} = 3,3 \cdot 10^{-4}$$

- То есть скорость корабля в 30000 раз медленнее скорости света, следовательно во столько же раз увеличится и время полета:

$$\bullet t_{\text{перелета}} = \frac{c}{V_{\text{корабля}}} \cdot t_{\text{света}} = 3 \cdot 10^4 \cdot 1,4 \cdot 3,26 = 1,37 \cdot 10^5 \text{ лет, следовательно время перелета составит 137 тысяч лет}$$

## Отношения скоростей

- Отношения при рассмотрении времен и скоростей очень полезны и дают возможность сравнивать между собой параметры движения объектов:

- $$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\frac{2\pi R_1}{T_1}}{\frac{2\pi R_2}{T_2}} = \frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{T_2}{T_1}$$

- Скорость Земли по орбите вокруг Солнца:
- $V_{\text{Земли}} = 30 \text{ км/сек}$
- Скорость Луны по орбите вокруг Земли:
- $V_{\text{Луны}} = 1 \text{ км/сек}$
- Скорость Солнца вокруг центра Галактики:
- $V_{\text{Земли}} = 220 \text{ км/сек}$

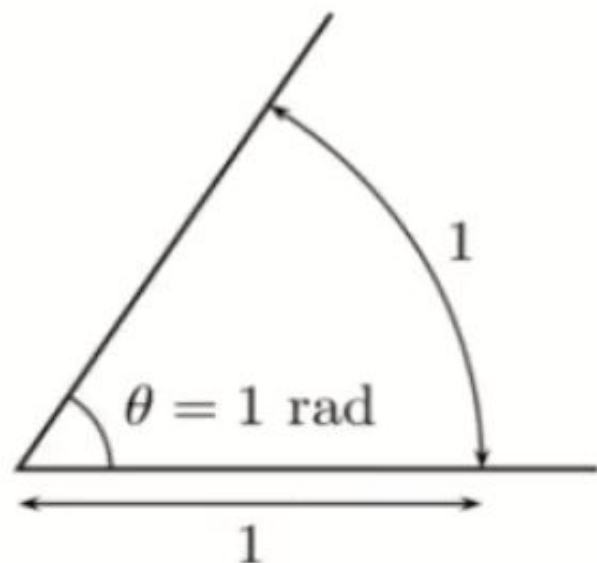
## Задача - 1.7

1.7.

Расстояние до Луны — 1,3 световых секунды, а её угловой диаметр при наблюдении с Земли равен  $0,5^\circ$ . Во сколько раз Луна меньше Земли по радиусу?

- Из параграфа 13 учебника радиус Земли составляет 6371 км.
- Переведем 1,3 световой секунды в км  
 $1 \text{ св. сек} = 3,9 \cdot 10^5 \text{ км}$
- Используя формулу углового размера из определения радиана выясним радиус Луны:
- $\alpha = \frac{R}{L} \Leftrightarrow R_{\text{Луны}} = \frac{1}{2} \cdot L \cdot \frac{\alpha_{\text{Луны}}}{57,3^\circ} = \frac{1}{2} \cdot 3,9 \cdot 10^5 \cdot \frac{0,5^\circ}{57,3^\circ} \approx 1701 \text{ км}$
- Найдем отношение размеров:
- $\frac{R_{\text{Земли}}}{R_{\text{Луны}}} = \frac{6371 \text{ км}}{1701 \text{ км}} = 3,75$

# Угловые единицы измерения



- Углы

$$\alpha = \frac{R}{L} \Leftrightarrow \alpha'' = 206265'' \frac{R}{L}$$

- Малые углы

$$\sin \alpha \approx \frac{\alpha''}{206265''}$$

- Для  $\alpha = \frac{\pi}{6}$

- $\sin \frac{\pi}{6} = 0.50$  и  $\frac{30^\circ \cdot 3600''}{206265''} \approx 0.52$

- $2\pi - 360^\circ$

- 1 радиан =  $\frac{360^\circ \cdot 60' \cdot 60''}{2\pi} \approx 206264,8'' \approx 206265''$

- Градусы

- От  $0^\circ - 360^\circ$
- В  $1^\circ = 60' = 3600''$
- В  $1' = 60''$

- Часы

- От  $0^h - 24^h$
- $24^h - 360^\circ$
- $1^h - 15^\circ$
- $4^m - 1^\circ$

- Радианы

- От 0 до  $2\pi$   
 $l = \alpha \cdot R$
- $2\pi - 360^\circ$
- 1 радиан =  $\frac{360^\circ \cdot 60' \cdot 60''}{2\pi} \approx 206264,8'' \approx 206265''$

# Задача - 1.8

1.8.

Масса галактики М87 равна  $3 \cdot 10^{12}$  масс Солнца, угловой диаметр  $7'$ , расстояние до неё 55 миллионов световых лет. Найдите среднюю плотность галактики.

- Вспомни чему равна плотность:

$$\rho = \frac{M}{V}$$

- Воспользуемся формулой углового размера для нахождения радиуса М87, только теперь выберем коэффициент перевода из радиан в угловые минуты:

$$\alpha = \frac{R}{L} \Leftrightarrow R_{\text{Луны}} = \frac{1}{2} \cdot L \cdot \frac{\alpha_{\text{М87}}}{3438'} = \frac{1}{2} \cdot 5,5 \cdot 10^7 \cdot \frac{7'}{3438'} \approx 1,1 \cdot 10^5 \text{ св. лет} \approx 34,3 \text{ кпк}$$

- В предположении, что галактика имеет сферическую форму, найдем среднюю плотность М87:

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{3 \cdot 10^{12} M_{\odot}}{\frac{4}{3} \pi R_{\text{М87}}^3} = 0,018 M_{\odot} / \text{пк}^3 \approx 8 \cdot 10^{-21} \text{ кг/м}^3$$



# Задача - 1.9

**1.9.** С помощью интерферометра из больших оптических телескопов на Гавайских островах проводятся наблюдения Марса с расстояния 1 а.е. Детали какого наименьшего размера на Марсе можно будет изучить?

- Вспомним, что 1 а.е. в км  $1 \text{ а.е.} = 1,5 \cdot 10^8 \text{ км}$
- Используя формулу углового разрешения телескопа из параграфа 19 и диаметра телескопа на гавайях в 10 м, а также из фотографии телескопов видим что расстояния между ними составляет 140 м определим угловое разрешение телескопа в угловых секундах:

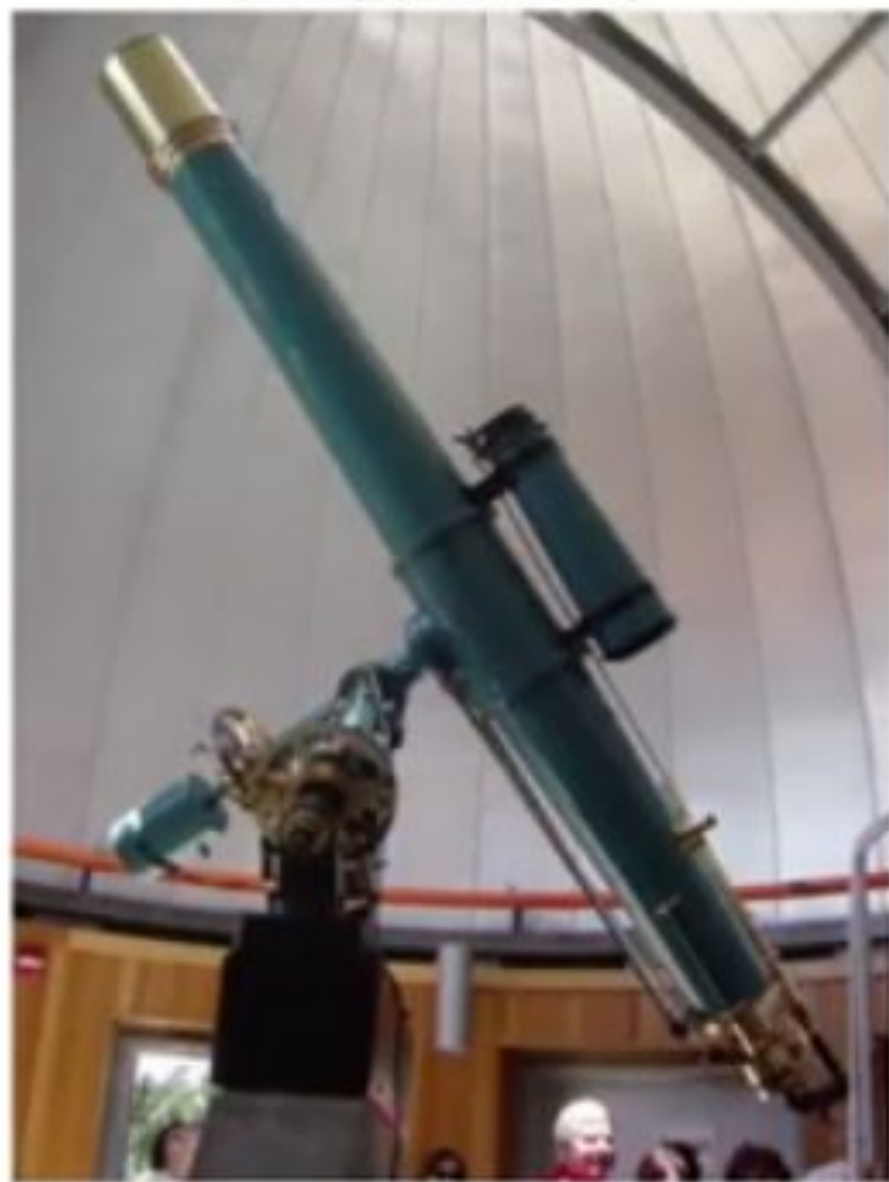
$$\alpha = \frac{140''}{D} \Leftrightarrow \alpha = \frac{140''}{1,4 \cdot 10^4} \approx 0,01''$$

- Найдем какое линейное расстояние соответствует этому углу с 1 а.е.:

$$L_{\text{Марсе}} = \Delta \cdot \frac{\alpha_{\text{Телескопа}}}{206265''} = 1,5 \cdot 10^8 \cdot \frac{0,01''}{206265''} \approx 7 \text{ км}$$

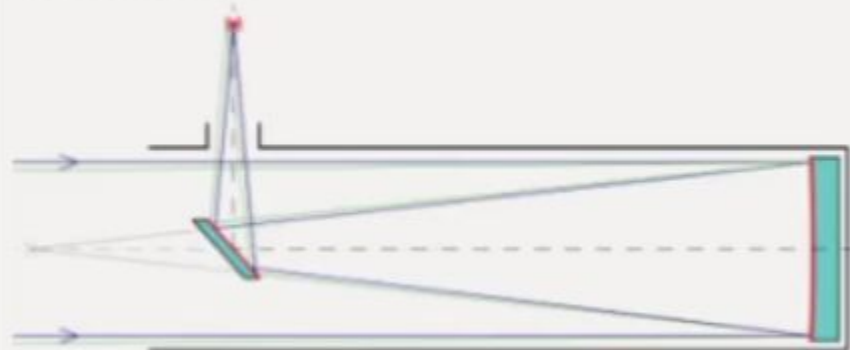


# Рефрактор

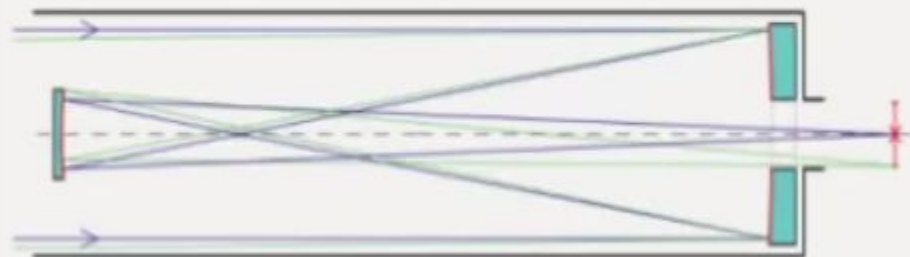


# Рефлектор

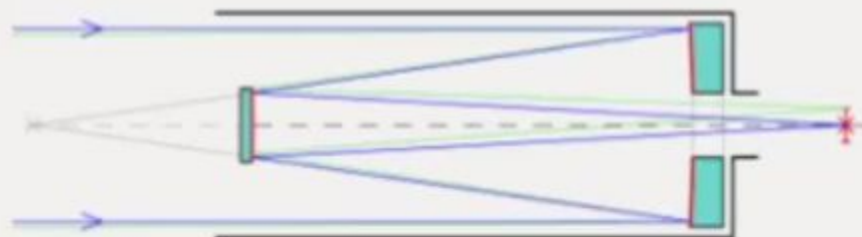
Newton-Teleskop



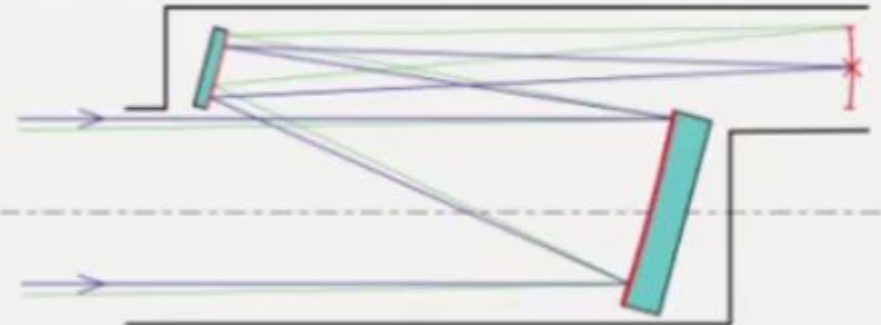
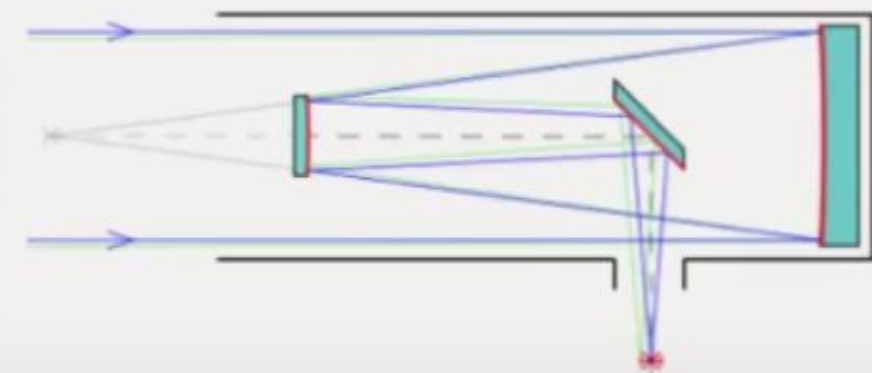
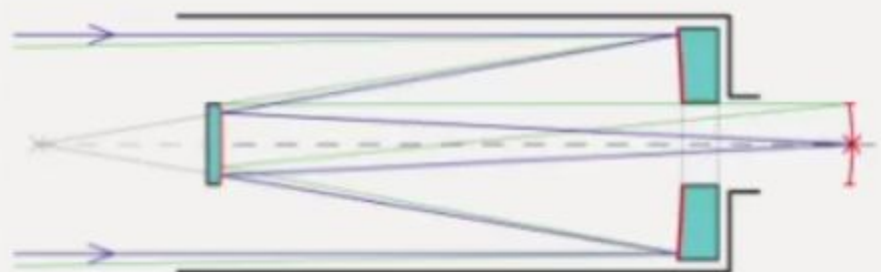
Gregory-Teleskop



Cassegrain-Teleskop



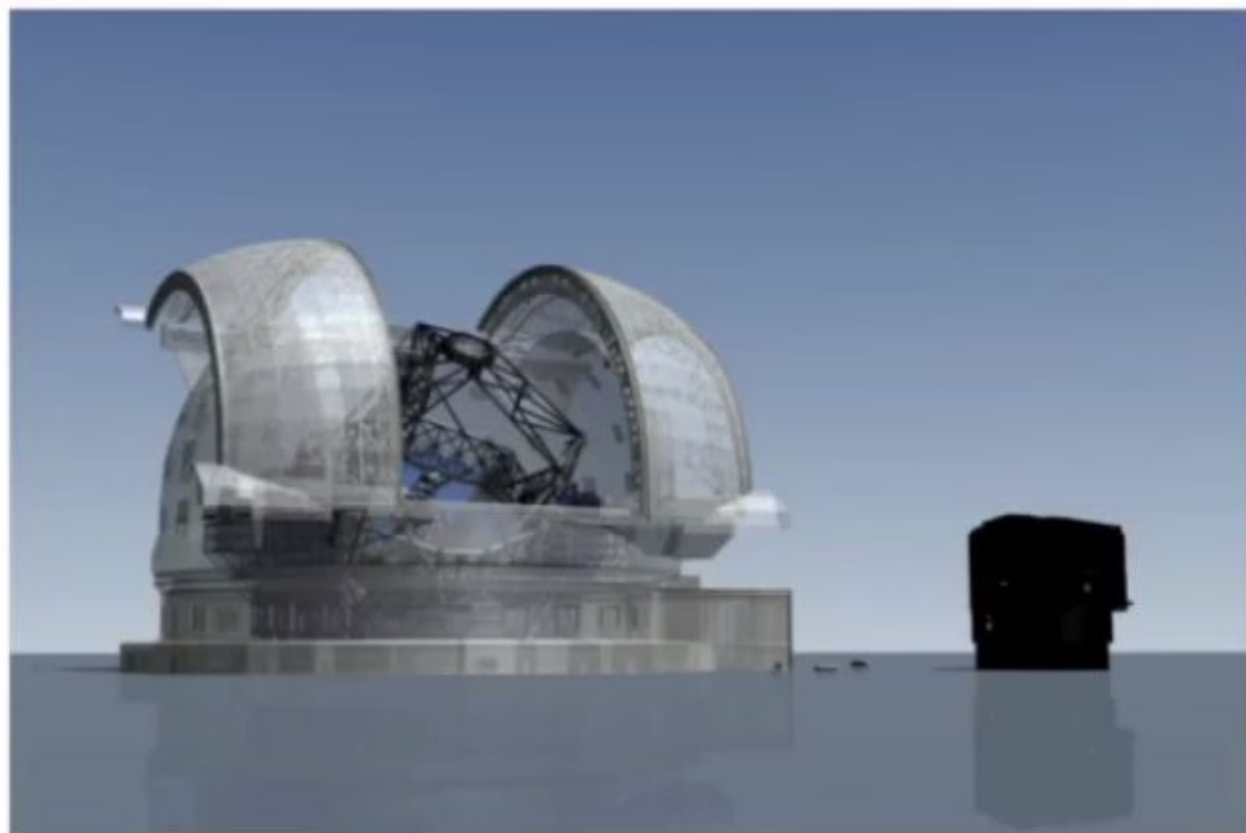
Ritchey-Chretien-Cassegrain-Teleskop





# Формула Погсона

- Формула  
Погсона



$$\frac{E_1}{E_2} = 10^{0,4(m_2 - m_1)} \Rightarrow m_1 - m_2 = -2,5 \lg\left(\frac{E_1}{E_2}\right)$$

# Задача - 1.10

**1.10.** Во сколько раз звёздное скопление Плеяды в небе Земли светит слабее Солнца?

- Вспомним и посмотрим на фотографию плеяд в учебнике в параграфе 29 и увидим, что в скоплении видно 8 звезд  $3^m$
- Из справочных данных в конце задачника увидим, что видимая звездная величина Солнца на Земле составляет  $-27,6^m$
- Воспользуемся формулой Погсона для нахождения отношения яркостей, для упрощения будем считать 8 ярчайших звезд плеяд одинаковыми.

$$\bullet \frac{E_{\odot}}{E_{M45}} = \frac{E_{\odot}}{8E_3} = \frac{1}{8} \cdot 10^{0,4(m_3 - m_{\odot})}$$

- Подставим числа и найдем итоговый ответ:

$$\bullet \frac{E_{\odot}}{E_{M45}} = \frac{E_{\odot}}{8E_3} = \frac{1}{8} \cdot 10^{0,4(3+27,6)} \approx 2,2 \cdot 10^{11}$$

# Задача - 1.11

1.11. Когда-нибудь Солнце станет белым карликом. Каким будет его радиус?

- Это так же вопрос ответ на который можно найти в параграфе 24.
- Средняя плотность белого карлика  $\sim 10^7$  г/см<sup>3</sup>.
- Попробуем оценить размер белого карлика с массой в одну Солнечную и указанной выше плотностью:

$$R_{\text{БК}} = \sqrt[3]{\frac{M_{\odot}}{\frac{4}{3}\pi\rho_{\text{БК}}}} = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 10^{30}}{\frac{4}{3}\pi 10^{10}}} \approx 3600 \text{ км}$$

- Радиус

$$\sim R_{\oplus} \approx 0,01R_{\odot}$$

# Белые карлики

- Светимость

$$\sim 10^{-4} L_{\odot} \quad \text{E}$$

- Масса

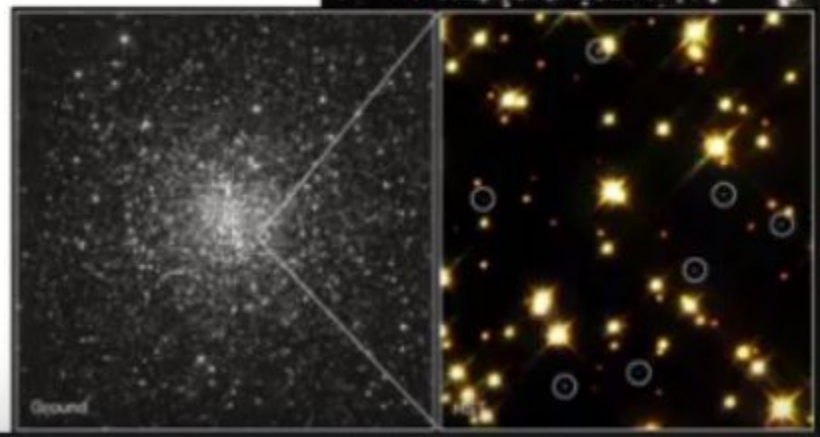
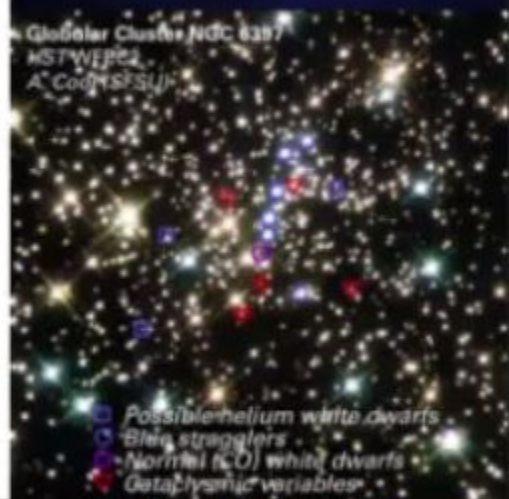
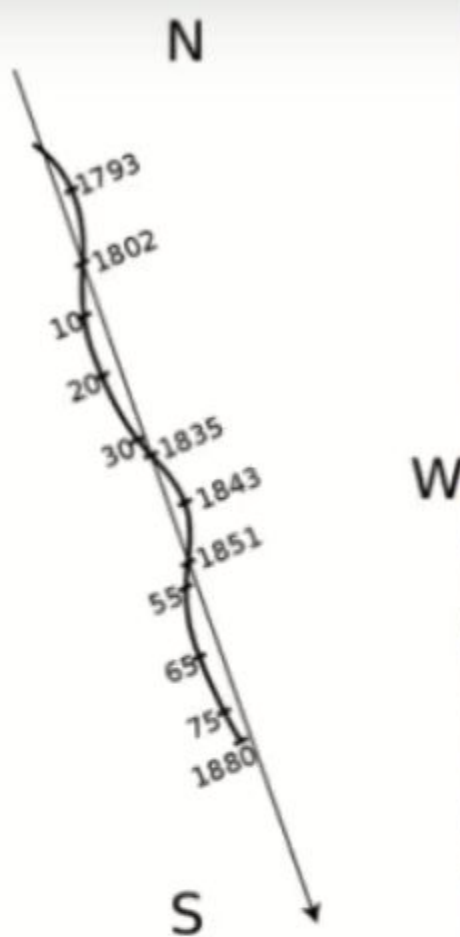
$$M_{WD} < 1,44 M_{\odot}$$

- Радиус

$$\sim R_{\oplus} \approx 0,01 R_{\odot}$$

- Уравнение состояния – вырожденный электронный газ:

$$P = k\rho^{5/3}$$



# Задача - 1.12

1.12.

Почему телескоп имени Хаббла с зеркалом диаметром 2 метра иногда обеспечивает лучшее разрешение, чем наземные телескопы с диаметром зеркала 6—8 метров?

- Это так же вопрос ответ на который можно найти в параграфе 19.
- Ответ кроется в атмосфере Земли, она искажает путь лучей поскольку в ней присутствует турбуленция. И характерные величины этого размывание  $1''$ .
- Лучшие обсерватории расположены в местах, где такие изображения достигают  $0,4''$ - $0,6''$
- Разрешение же крупнейших оптический телескопов на порядок и более превышает эти величины.
- Поэтому были изобретены системы адаптивной корректирующей оптики.

## Задача - 2.4

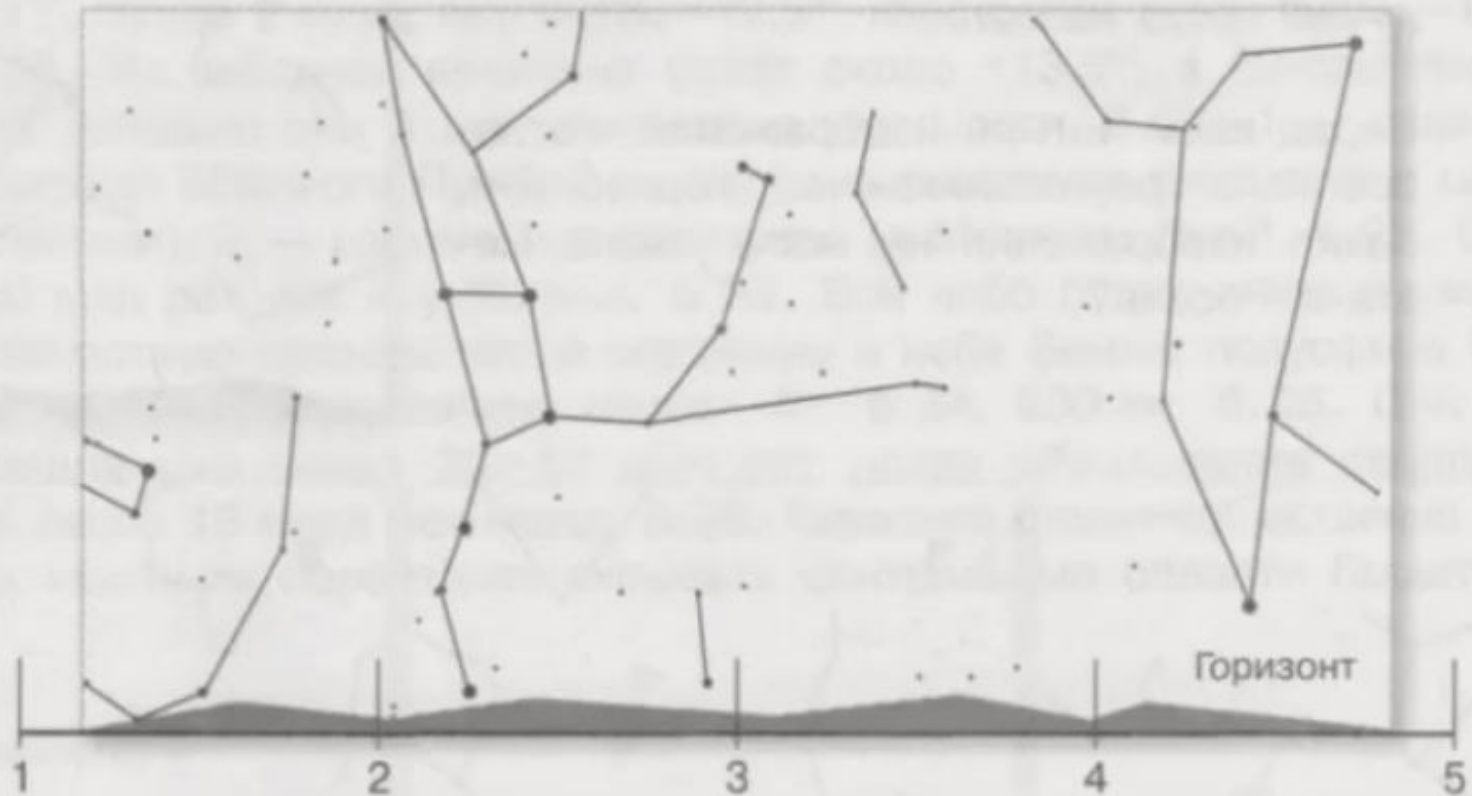
**2.1.** Известно, что звезда  $2^m$  светит в  $10^{0,4} = 2,512$  раз слабее звезды  $1^m$ , звезда  $3^m$  — в 2,512 раз слабее звезды  $2^m$  и т.д. Во сколько раз самые тусклые звёзды, заметные глазом ( $6^m$ ), светят слабее звёзд  $1^m$ ?

- Для решения данной задачи нужно воспользоваться формулой Погсона:
- $$\frac{E_1}{E_2} = 10^{0,4(m_2 - m_1)}$$
- Подставив в нее величины:
- $$\frac{E_1}{E_6} = 10^{0,4(6-1)} = 10^2 = 100$$
- Получим ответ – 100 раз

# Задача - 2.4

2.4.

Какая из пяти точек горизонта, помеченных на рисунке, — точка севера?



- На изображении мы видим ковш Большой Медведицы и на самом краю часть созвездия Малой медведицы – правильный ответ - 1

# Задача - 2.5

**2.5.** Что ярче в небе Земли — все звёзды ковша Большой Медведицы или звезда Вега?

- Для решения данной задачи нужно воспользоваться формулой Погсона:

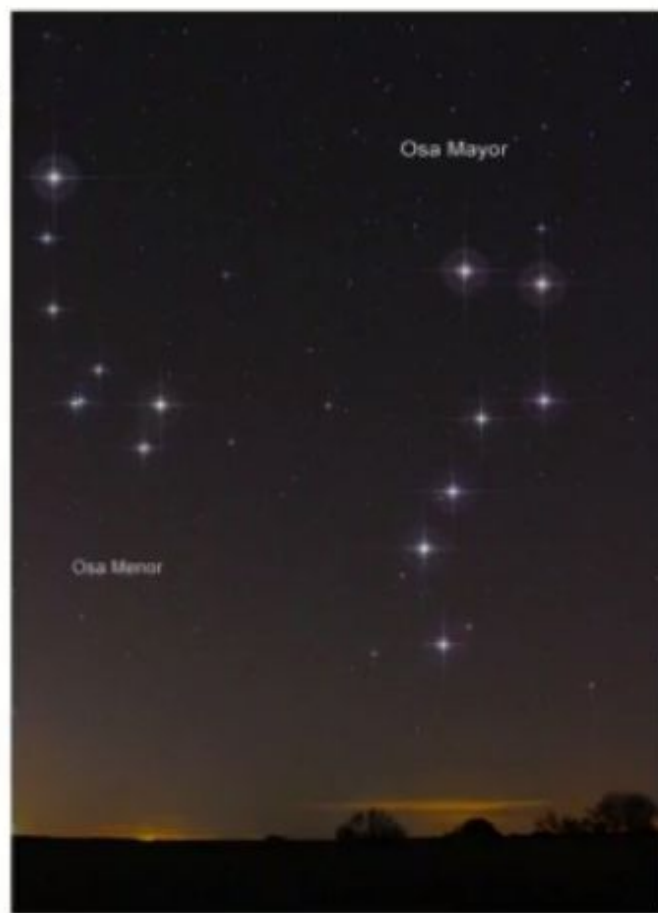
$$\bullet \frac{E_1}{E_2} = 10^{0,4(m_2 - m_1)}$$

- Вспомним, что в учебнике указано, что 7 звезд ковша примерно  $2^m$ . А Вега —  $0^m$ .

- Найдём отношение освещенностей:

$$\bullet \frac{E_1}{7E_2} = \frac{1}{7} 10^{0,4(2-0)} = \frac{1}{7} 10^{0,8} = 0,9$$

- Следовательно звёзды ковша ярче





# Задача - 2.6

**2.6.** Крупным телескопам доступны звёзды, в миллиард раз более слабые, чем звёзды, доступные невооружённому глазу. Какова их звёздная величина?

- Для решения данной задачи нужно воспользоваться формулой Погсона:
- $\frac{E_1}{E_2} = 10^{0,4(m_2 - m_1)}$
- Вспомним, что наиболее слабые звезды доступные невооруженному глазу- 6,5m.
- Запишем отношение освещенностей для звездных величин:
- $10^9 = 10^{0,4(m_{\text{телескопа}} - 6,5)}$
- Следовательно диаметр телескопа будет равен:
- $m_{\text{телескопа}} = 2,5 \cdot 9 + 6,5 = 29^m$

# Задача - 2.8

2.8.

Сколько точек небесной сферы не изменяют своего положения относительно земного горизонта?

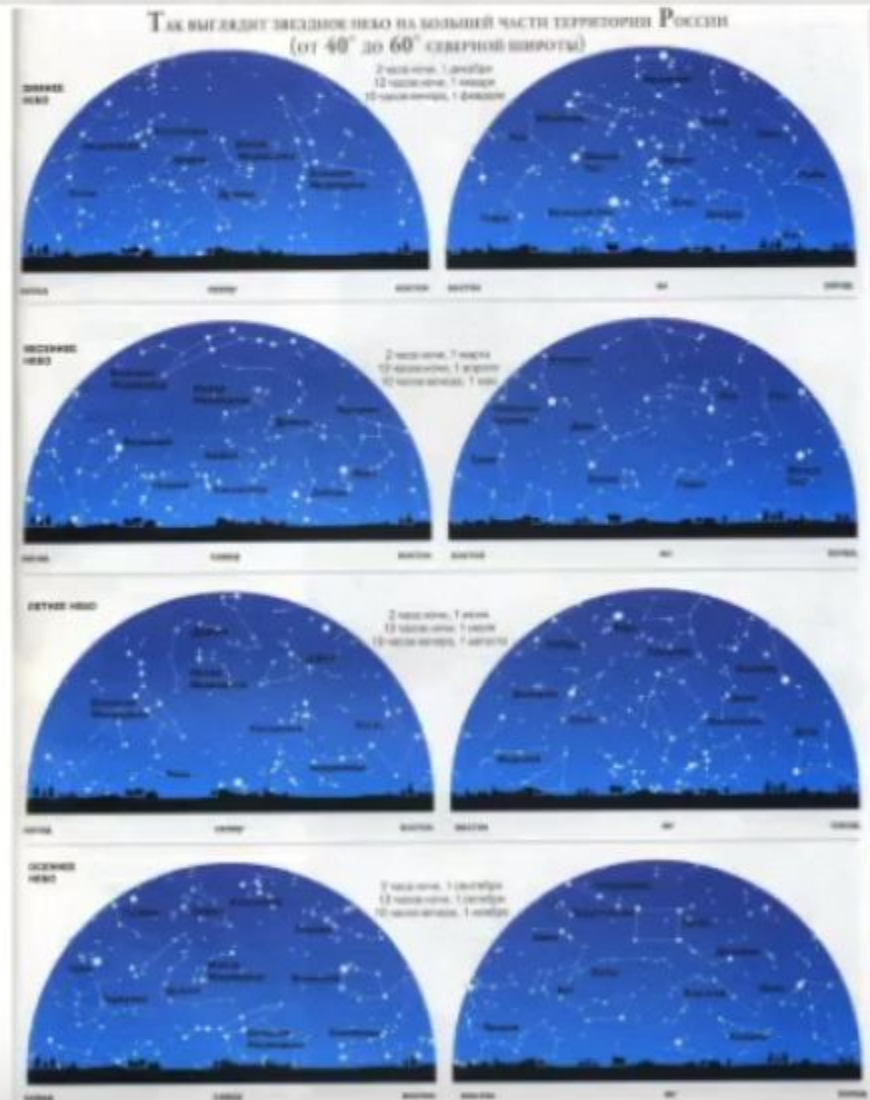
- Если брать точки небесной сферы в экваториальной системе - то только северный и южный полюса. Азимуты и высоты этих точек не изменяются из-за суточного вращения небосвода.
- Если брать точки небесной сферы в горизонтальной системе координат, то это точки севера, юга, запада, востока, зенита и надира.



# Задача - 2.10

**2.10.** Могут ли звёзды одного созвездия за несколько часов изменить положение относительно горизонта? А одна относительно другой?

- Ответ на первый вопрос- да конечно могут в следствии вращения Земли.
- На второй вопрос – нет звезды очень далеки и их угловое смещение составляет угловые миллисекунды в год.



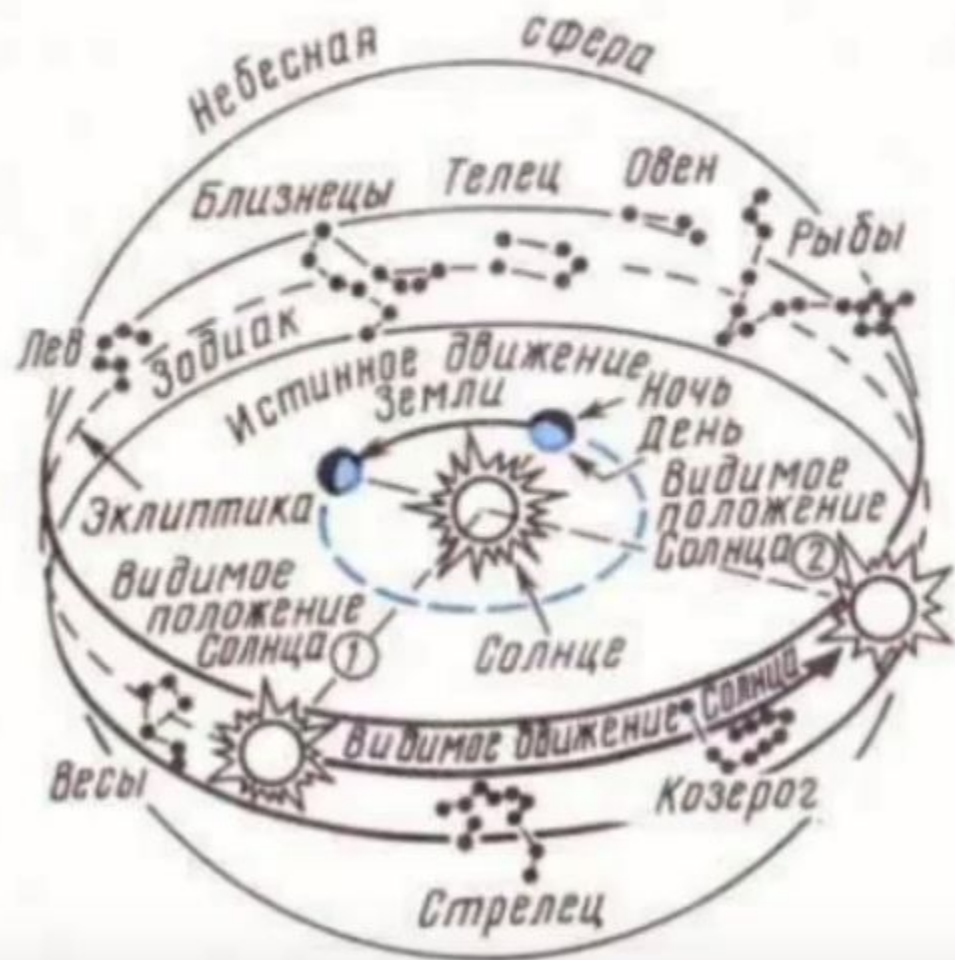
# Задача - 2.11

2.11.



Солнце в июле перемещается по созвездию Близнецов. Когда это созвездие лучше всего видно на ночном небе?

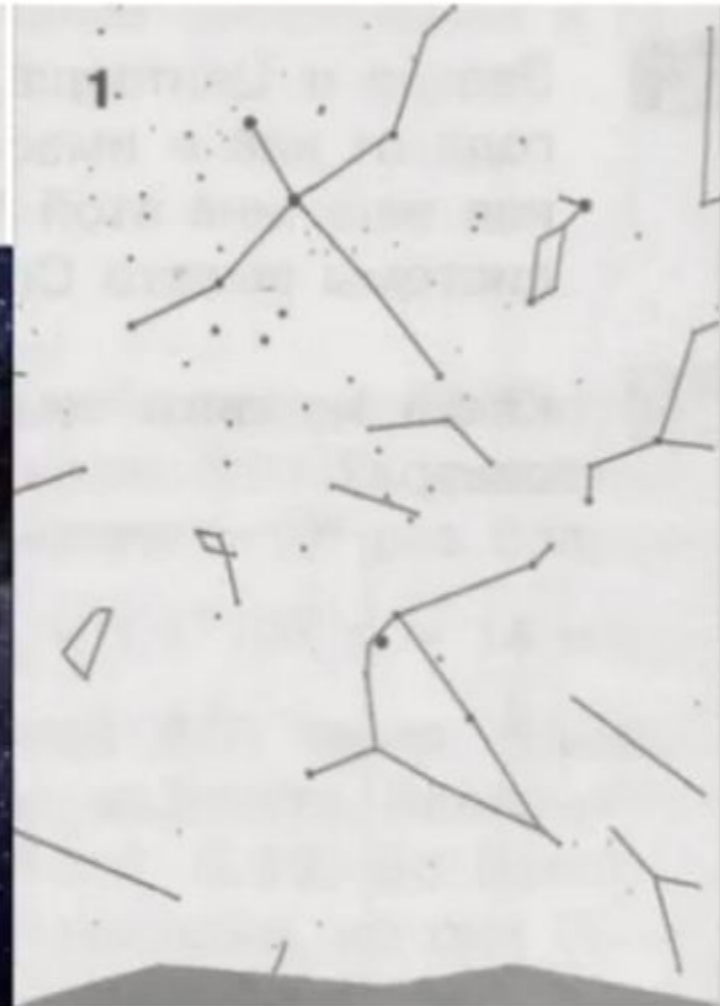
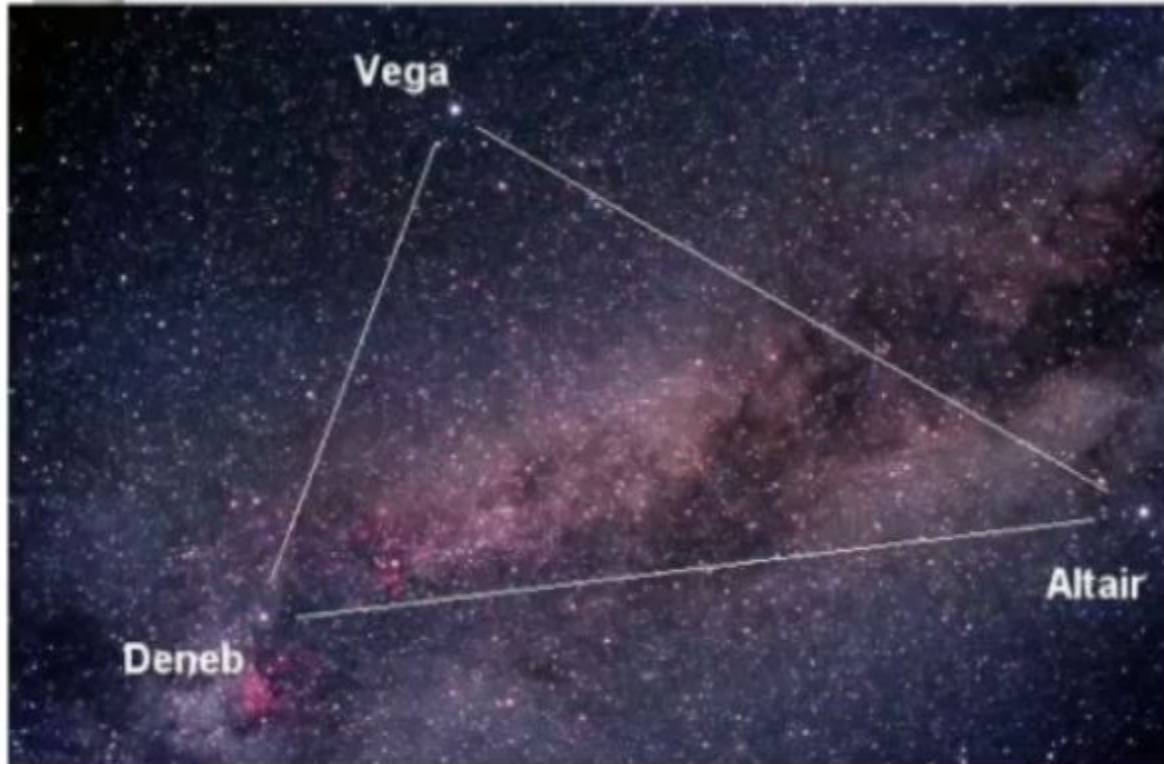
- Ответ так же очевиден, если вспомнить, что Земля вращается вокруг Солнца и Солнце нам видится на фоне зодиакальных созвездий. И чтобы эти созвездия наблюдать нужно, чтобы Земля оказалась на противоположной точке орбиты, через полгода. Следовательно ответ - январь



# Задача - 2.12

2.12.

Почему «летне-осенний треугольник», состоящий из звёзд Вега ( $\alpha$  Лирь), Денеб ( $\alpha$  Лебедя) и Альтаир ( $\alpha$  Орла), получил такое название?

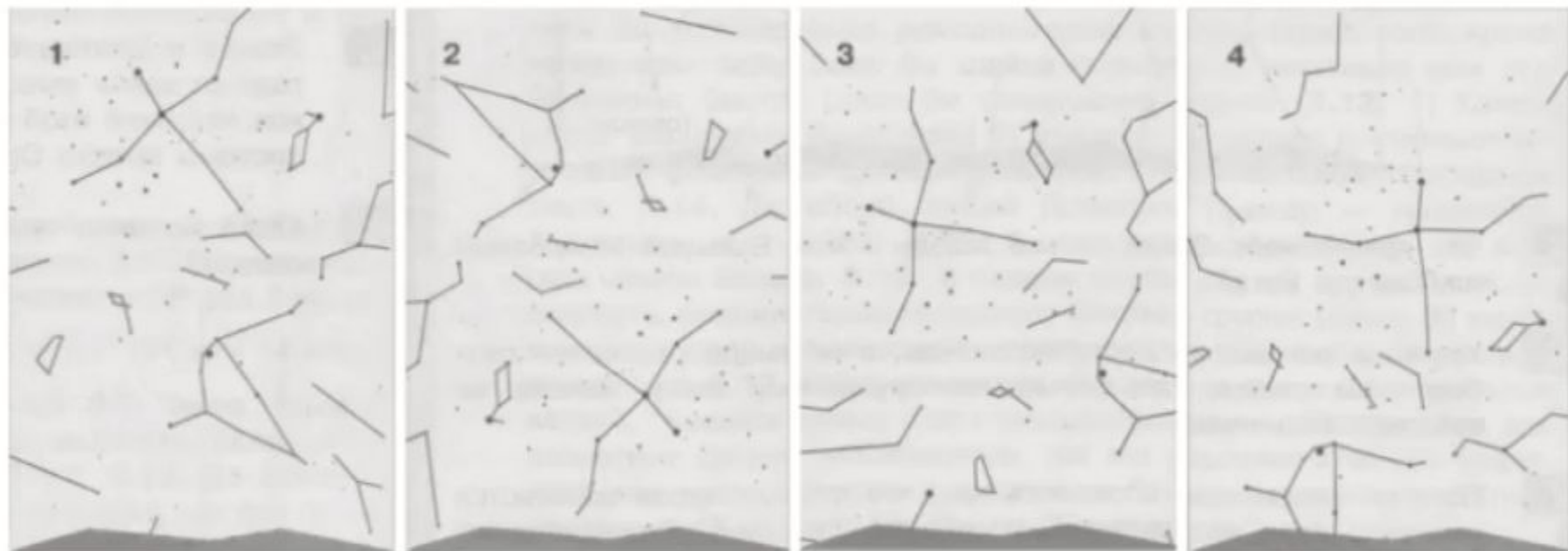


- Лучше всего виден в это время ночью и вечером. В средних широтах особенно, поскольку начинает быть виден примерно в одно и то же время после захода Солнца.

# Задача - 2.13

2.13.

Перед вами четыре изображения «летне-осеннего треугольника» над горизонтом. Какие изображения не могут иметь места в России?



- №2 так как может быть только в южном полушарии, поскольку в кресте Лебеда, Денеб расположен в северной части созвездия

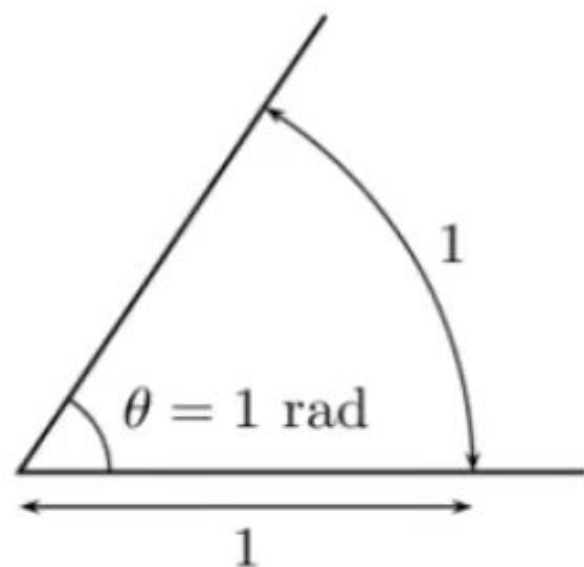
# Задача - 2.14

**2.14.** Однажды вы увидели в созвездии Тельца яркий объект, похожий на звезду, которого нет на звёздной карте. Что это может быть?



- Вероятнее всего это какая то планета, поскольку созвездие Тельца зодиакальное и по нему проходит эклиптика, а значит годичный путь Солнца, пути Луны и планет.

# Угловые единицы измерения



- Углы

$$\alpha = \frac{R}{L} \Leftrightarrow \alpha'' = 206265'' \frac{R}{L}$$

- Малые углы

$$\sin \alpha \approx \frac{\alpha''}{206265''}$$

- Для  $\alpha = \frac{\pi}{6}$

- $\sin \frac{\pi}{6} = 0.50$  и  $\frac{30'' \cdot 3600''}{206265''} \approx 0.52$

- $2\pi - 360^\circ$

- 1 радиан =  $\frac{360^\circ \cdot 60' \cdot 60''}{2\pi} \approx 206264,8'' \approx 206265''$

- Градусы

- От  $0^\circ - 360^\circ$
- В  $1^\circ = 60' = 3600''$
- В  $1' = 60''$

- Часы

- От  $0^h - 24^h$
- $24^h - 360^\circ$
- $1^h - 15^\circ$
- $4^m - 1^\circ$

- Радианы

- От 0 до  $2\pi$   
 $l = \alpha \cdot R$
- $2\pi - 360^\circ$
- 1 радиан =  $\frac{360^\circ \cdot 60' \cdot 60''}{2\pi} \approx 206264,8'' \approx 206265''$



# Небесная сфера



- Небесная сфера - воображаемая сфера произвольного радиуса, на которую проецируются небесные тела.

- **Большие круги**

- Математический горизонт -  $h=0^\circ$  (N,E,S,W)
- Экватор -  $\delta = 0^\circ$  (E,Q,W,Q')
- Небесный меридиан  $Az=0^\circ$  и  $Az=180^\circ$ , (N,Z,S,Z')
- Эклиптика  $\epsilon=23.5^\circ$  (B.P., L.C., O.P., Z.C.)
- Первый вертикал (E,Z,W,Z')

- **Малые круги**

- Суточные круги светила -  $\delta = \text{const}$
- Альмукутантарат -  $h = \text{const}$

# Горизонтальные координаты

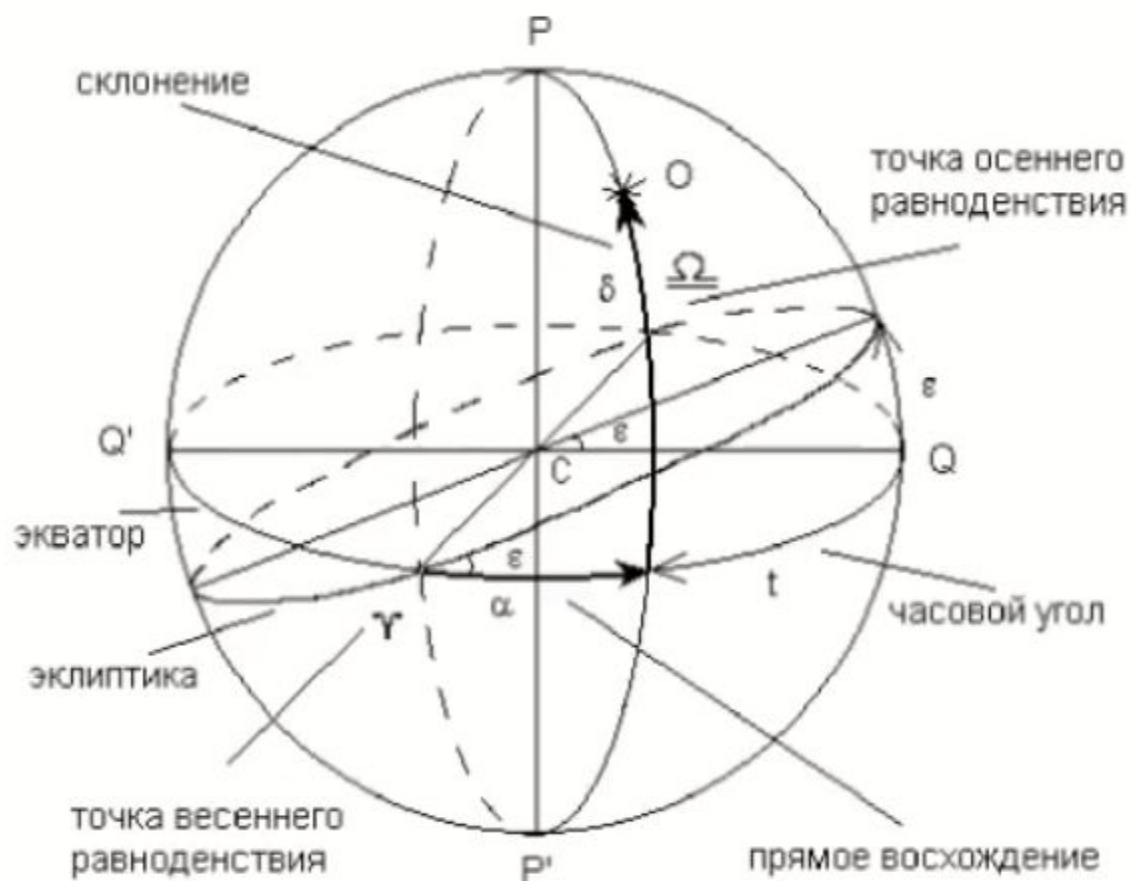


- Азимут - Az
  - Угол в плоскости горизонта от точки Юга (S) от  $0^{\circ}$  до  $360^{\circ}$ , или от  $0^{\circ}$  до  $180^{\circ}$  к W, и  $0^{\circ}$  до  $-180^{\circ}$  к E,
- Высота - h
  - Угол в плоскости вертикала от математического горизонта до светила. От  $-90^{\circ}$  до  $90^{\circ}$
- Зенитное расстояние
  - Угол в плоскости вертикала от зенита Z до светила. От  $0^{\circ}$  до  $180^{\circ}$
- Зенит – Z ( $h=90^{\circ}$ )
- Надир – Z' ( $h=-90^{\circ}$ )

$$h + z = 90^{\circ}$$

# Небесные координаты

- Прямое восхождение -  $\alpha$ 
  - Угол в плоскости небесного экватора от точки В.Р. к востоку от  $0^h$  до  $24^h$
- Часовой угол -  $t$ 
  - Угол в плоскости небесного экватора от точки пересечения небесного экватора с небесным меридианом к западу от  $0^h$  до  $24^h$
- Склонение -  $\delta$ 
  - Угол в плоскости круга склонения от небесного экватора до светила. От  $90^\circ$  до  $90^\circ$
- Полярное расстояние -  $p$ 
  - Угол в плоскости круга склонений от полюса  $P$  до светила. От  $0^\circ$  до  $180^\circ$
- Северный полюс -  $P$  ( $\delta = 90^\circ$ )
- Южный полюс -  $P'$  ( $\delta = -90^\circ$ )

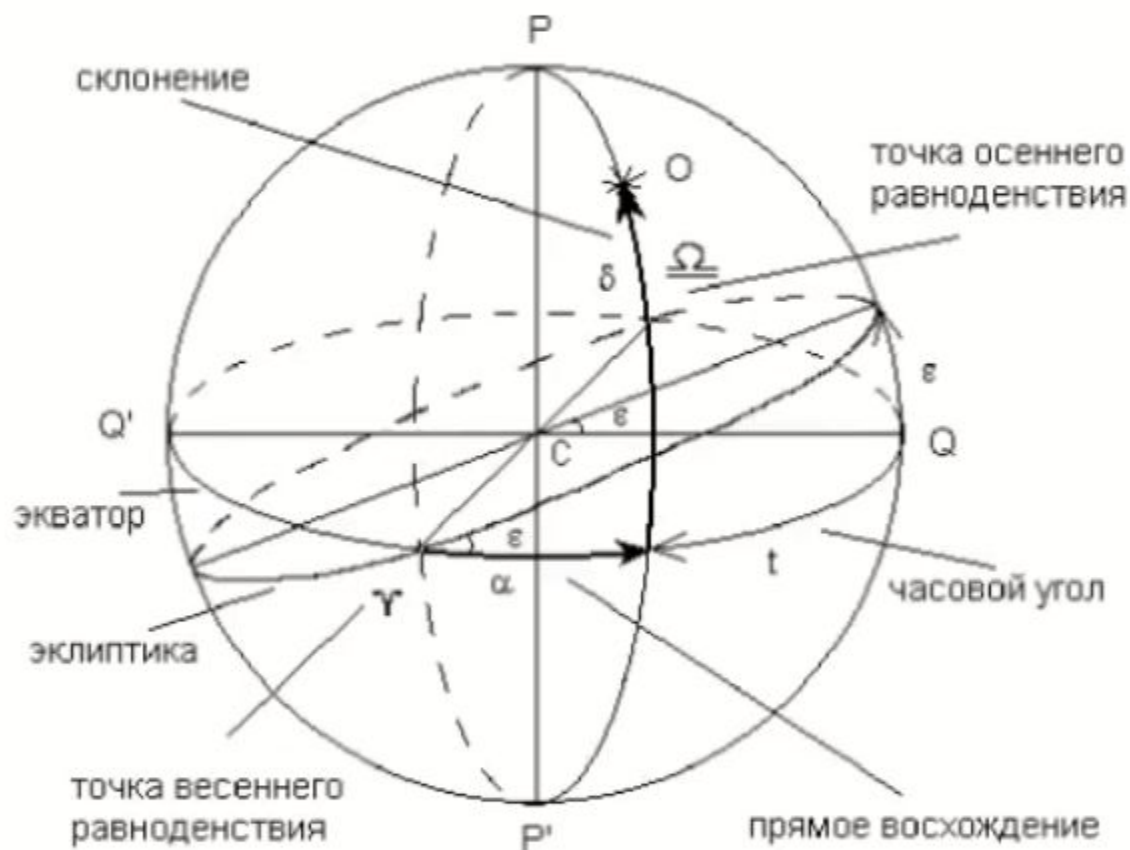


$$\delta + p = 90^\circ$$

- Эклиптика –
  - годичный путь центра Солнца по небу.
  - Отражение вращения Земли вокруг Солнца
  - Солнце движется все время **на восток**
  - Угол между плоскостью небесного экватора и плоскостью эклиптики  $\varepsilon = 90^\circ - \iota = 90^\circ - 66.5^\circ = 23.5^\circ$

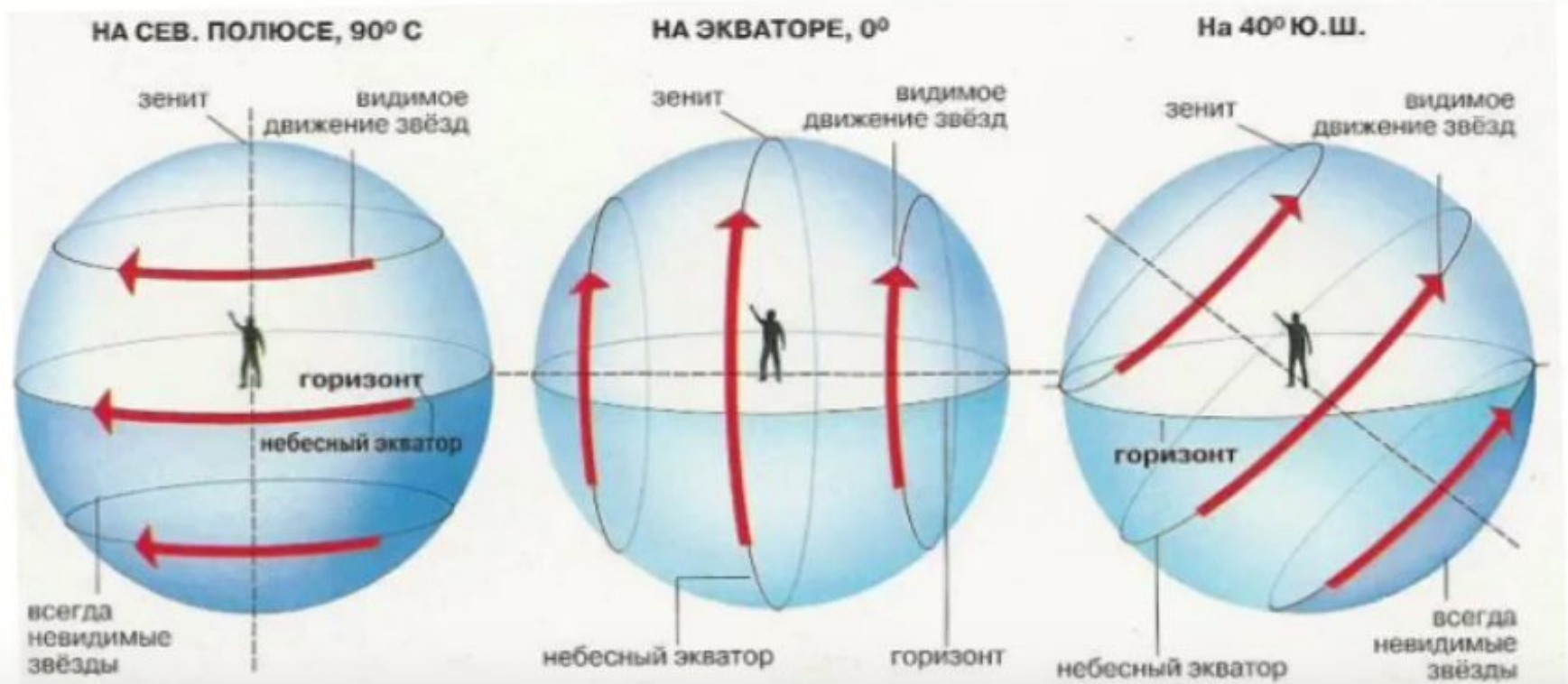
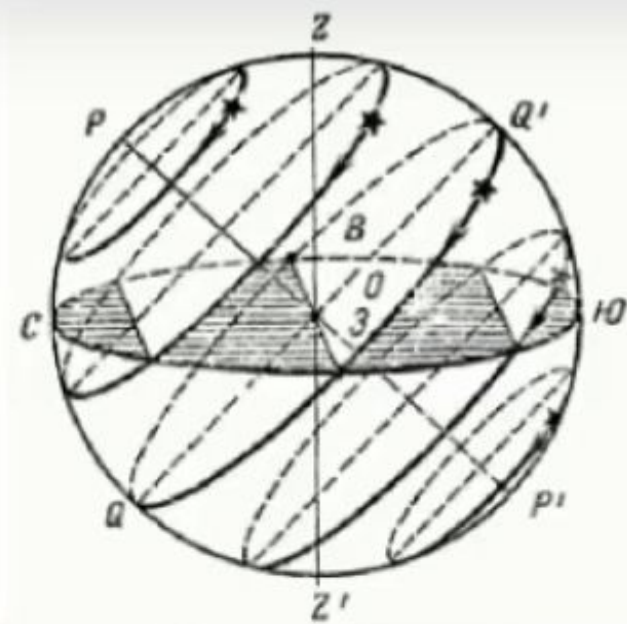
- Точка Весеннего равноденствия
  - $\alpha = 0^h \quad \delta = 0^\circ$
- Точка Летнего Солнцестояния
  - $\alpha = 6^h \quad \delta = \varepsilon = 23.5^\circ$
- Точка Осеннего равноденствия
  - $\alpha = 12^h \quad \delta = 0^\circ$
- Точка Зимнего Солнцестояния
  - $\alpha = 18^h \quad \delta = -\varepsilon = -23.5^\circ$

# Эклиптика

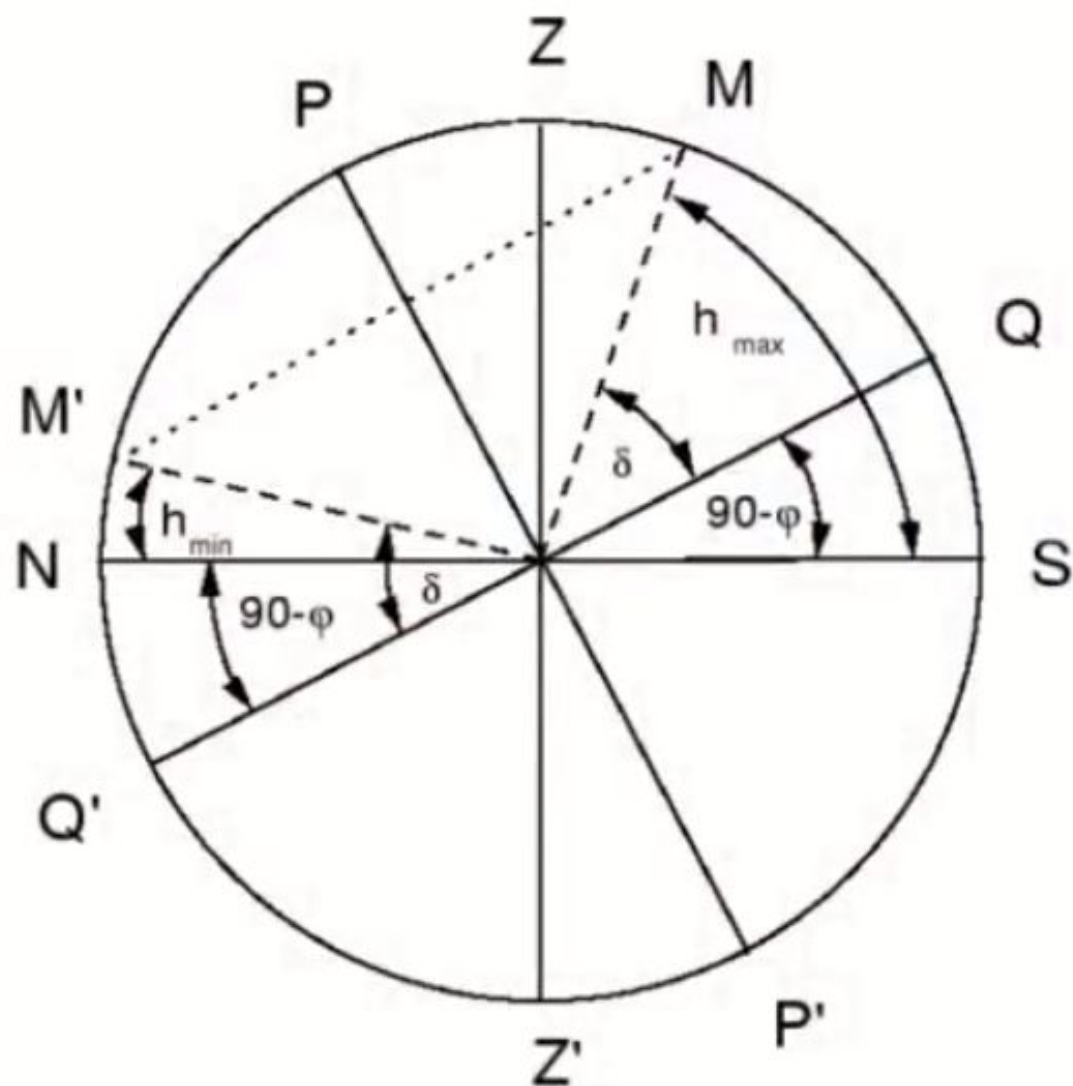


- Северный полюс эклиптики
  - $\alpha = 18^h \quad \delta = 90^\circ - \varepsilon = 66.5^\circ$
- Южный полюс эклиптики
  - $\alpha = 6^h \quad \delta = -(90^\circ - \varepsilon) = -66.5^\circ$

# Движение светил на разных широтах



# Нижняя и верхняя кульминация



- Момент кульминации – пересечение светилом небесного меридиана
- Верхняя – со стороны Z от оси мира
- Нижняя – со стороны Z' от оси мира
- Случай когда  $\delta < \varphi$
- $h_{\text{В.К.}} = 90^\circ - \varphi + \delta$
- $h_{\text{Н.К.}} = -(90^\circ - \varphi) + \delta$
- Случай когда  $\delta = \varphi$
- $h_{\text{В.К.}} = 90^\circ$
- $h_{\text{Н.К.}} = 2\varphi - 90^\circ$

# Задачи на моменты кульминаций



- Чему равна максимальная высота Солнца на широте Москвы  $\varphi = 56^\circ$  в день летнего и зимнего солнцестояний?

- Склонение Солнца в дни солнцестояний  $\delta = \pm \varepsilon$
- Максимальная высота Солнца – это его верхняя кульминация в момент местного полдня
- Случай когда  $\delta < \varphi$
- $h_{\text{в.к.}} = 90^\circ - \varphi + \delta_{\odot}$
- $h_{\text{в.к.}} = 90^\circ - \varphi \pm \varepsilon$
- Летнее солнцестояние
- $h_{\text{в.к.}} = 90^\circ - 56^\circ + 23.5^\circ = 57.5^\circ$
- Зимнее солнцестояние
- $h_{\text{в.к.}} = 90^\circ - 56^\circ - 23.5^\circ = 10.5^\circ$

# Задача - 2.16

**2.16.** Две звезды одновременно оказались в верхней кульминации по разные стороны от зенита на высоте  $80^\circ$ . Найдите разность склонений звёзд.

- Запишем выражения для верхних кульминаций обеих звёзд, с учетом того, что у одной  $\delta > \varphi$ , а второй  $\delta < \varphi$ :

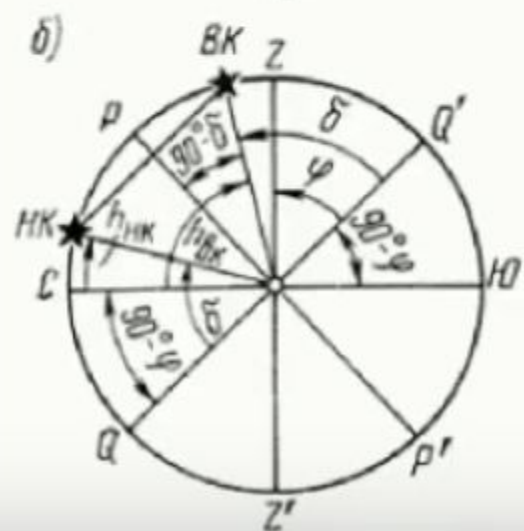
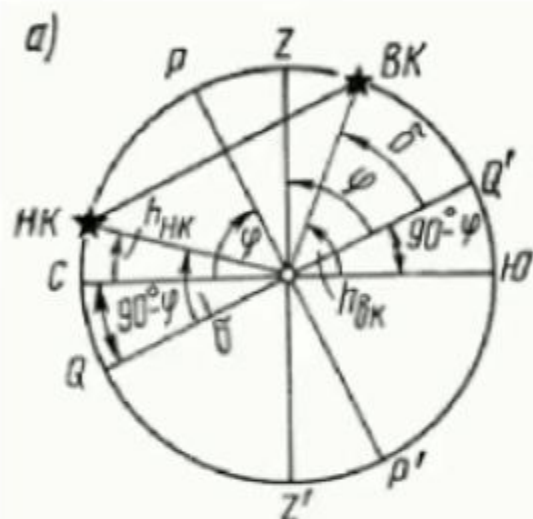
- $h_1 = 90^\circ + \varphi - \delta_1 = 80^\circ$

- $h_2 = 90^\circ - \varphi + \delta_2 = 80^\circ$

- Сложим оба уравнения:

- $180^\circ + \delta_2 - \delta_1 = 160^\circ$

- $\delta_1 - \delta_2 = 20^\circ$

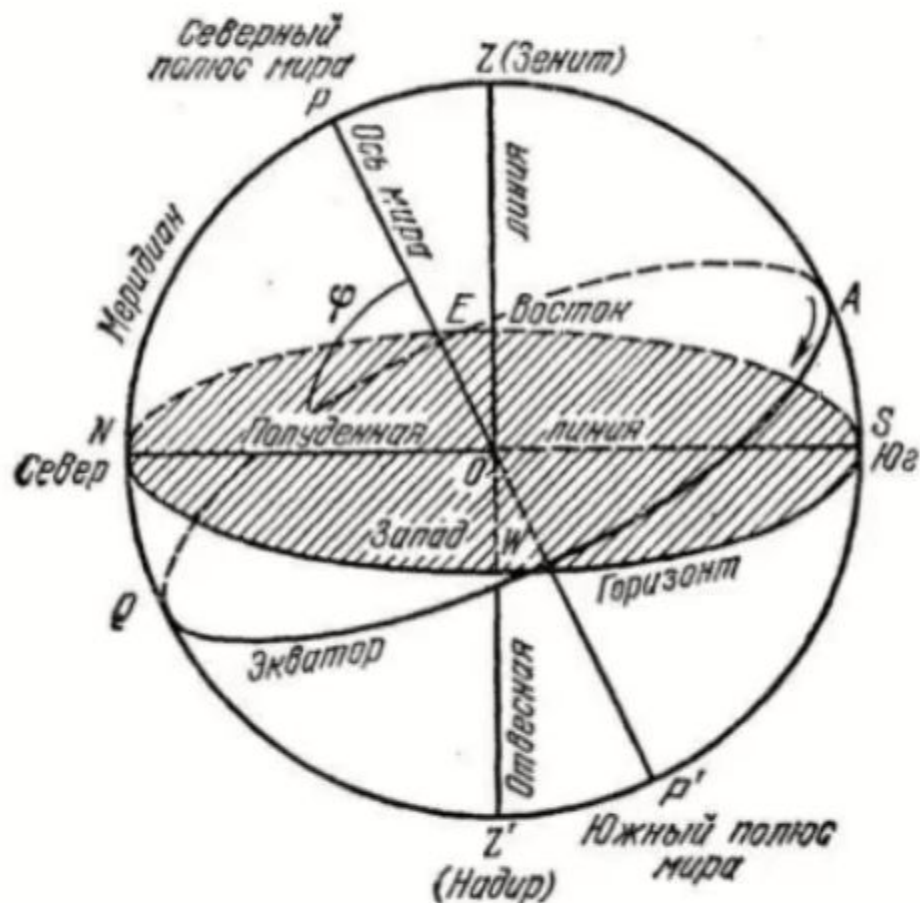




# Задача - 2.17

**2.17.** Светило видно в точке неба с азимутом  $A = 90^\circ$  и высотой  $h = 0^\circ$ .  
Каково склонение светила?

- Для решения этой задачи важно помнить одно важное свойство больших кругов небесной сферы – они всегда делят друг друга пополам.
- Следовательно данная точка находится на горизонте и оп определению азимута это точка запада.
- А в точках запада и востока, математический горизонт пересекает небесный экватор следовательно склонение светила на этом круге небесной сферы -  $0^\circ$



## Задача – 2.18

**2.18.** Звезда  $\alpha$  Центавра имеет склонение  $\delta = -61^\circ$ . Можно ли её увидеть в Сочи ( $43^\circ$  с.ш.)? В Хургаде ( $24^\circ$  с.ш.)?

- Условие видимости звезды – это как минимум выполнение условия, что ее верхняя кульминация должна быть больше  $0^\circ$ , т.е. над горизонтом.
- Проверим значение верхней кульминации Толимана в заданных городах, поскольку широта этих пунктов больше склонения звезды используем только нужную формулу:
- $h_{\text{Сочи}} = 90^\circ - \varphi_{\text{Сочи}} + \delta_{\text{Толиман}} = 90^\circ - 43^\circ - 61^\circ = -14^\circ$
- $h_{\text{Хургада}} = 90^\circ - \varphi_{\text{Хургада}} + \delta_{\text{Хургада}} = 90^\circ - 24^\circ - 61^\circ = 5^\circ$
- Значит в Хургаде Толиман виден над горизонтом, а Сочи нет.

# Задача – 2.19

2.19.

Для каких звёзд верно, что их азимут в Москве всё время возрастает со временем от  $-180^\circ$  до  $+180^\circ$ ?

- Для этого звезда не должна проходить через зенит, или за зенитом ближе к полюсу.
- Для этого звезда не должна проходить через надир, или за надиром ближе к полюсу.
- Следовательно склонение этих звёзд должно быть в интервале  $\delta \in (-56^\circ; 56^\circ)$

