

The background image is a composite of two astronomical scenes. The upper portion shows a dark night sky filled with stars, with a prominent cluster of bright blue stars in the upper right. The lower portion shows a landscape at twilight or dawn, with a bright crescent moon on the left and a bright star with diffraction spikes on the right. A bare, dark tree stands in the center of the landscape.

Видимое движение небесных тел

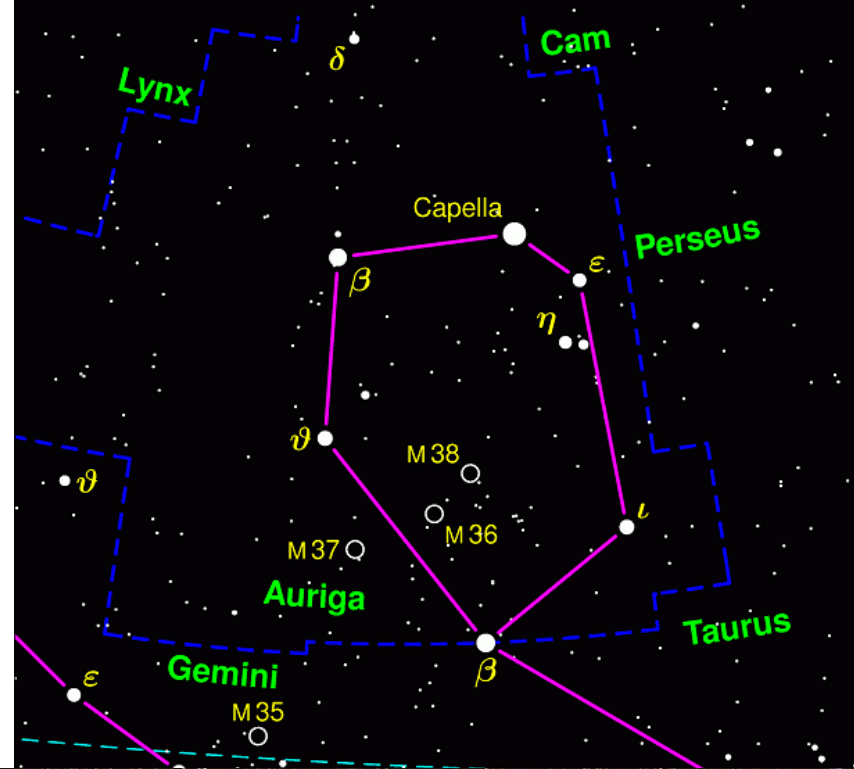
Ведущий программист ГАИШ МГУ,
Учитель астрономии МОУ Гимназии №1 и МОУ Лицея №14,
Руководитель астрономического кружка им Е.П. Левитана г. Жуковского,
ЦПМК ВсОШ по Астрономии

Видимая звездная величина

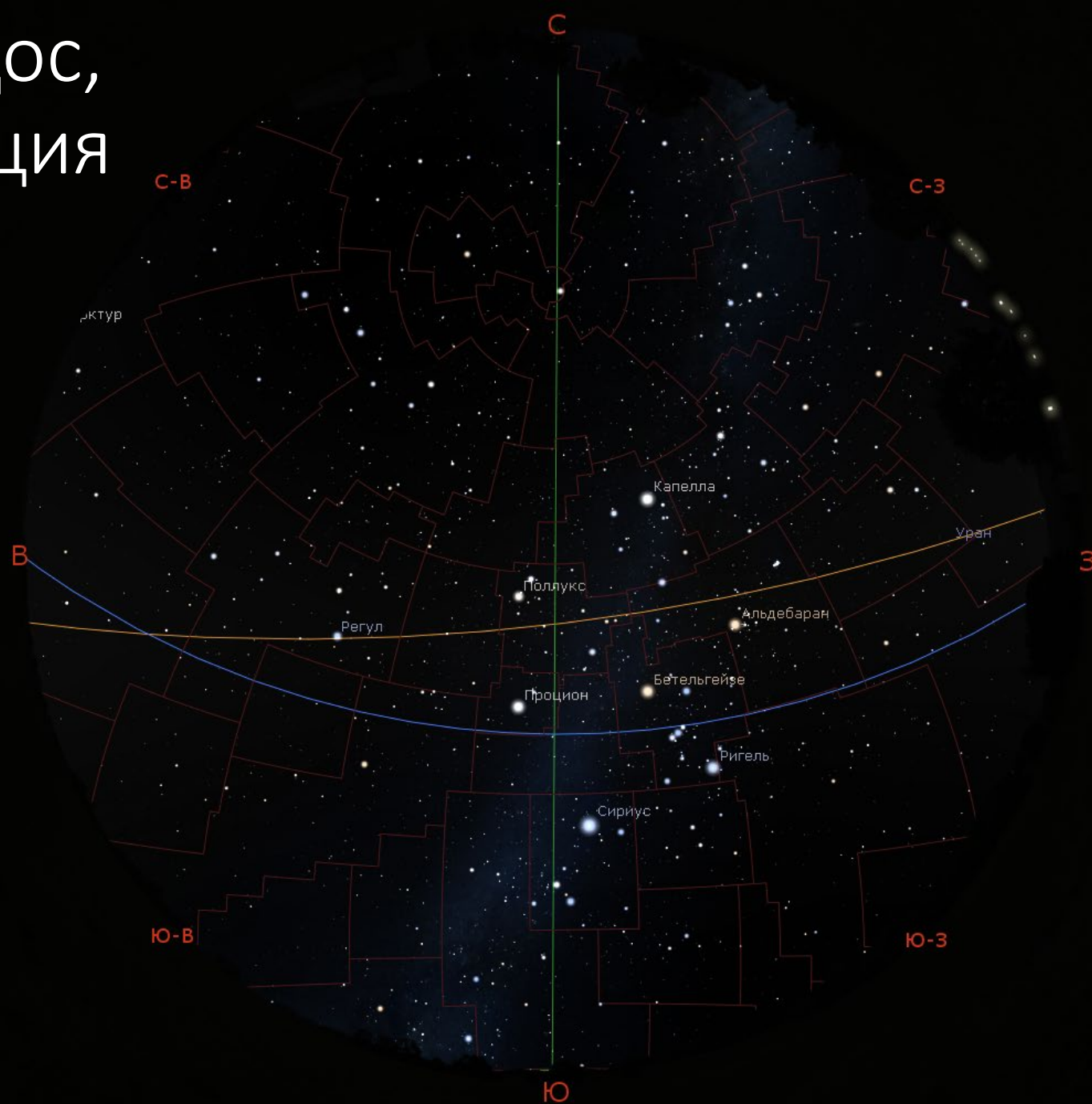
- мера яркости небесного тела (точнее, освещённости, создаваемой этим телом) с точки зрения земного наблюдателя. Обычно используют величину, скорректированную до значения, которое она имела бы при отсутствии атмосферы. Чем ярче объект, тем меньше его звёздная величина.



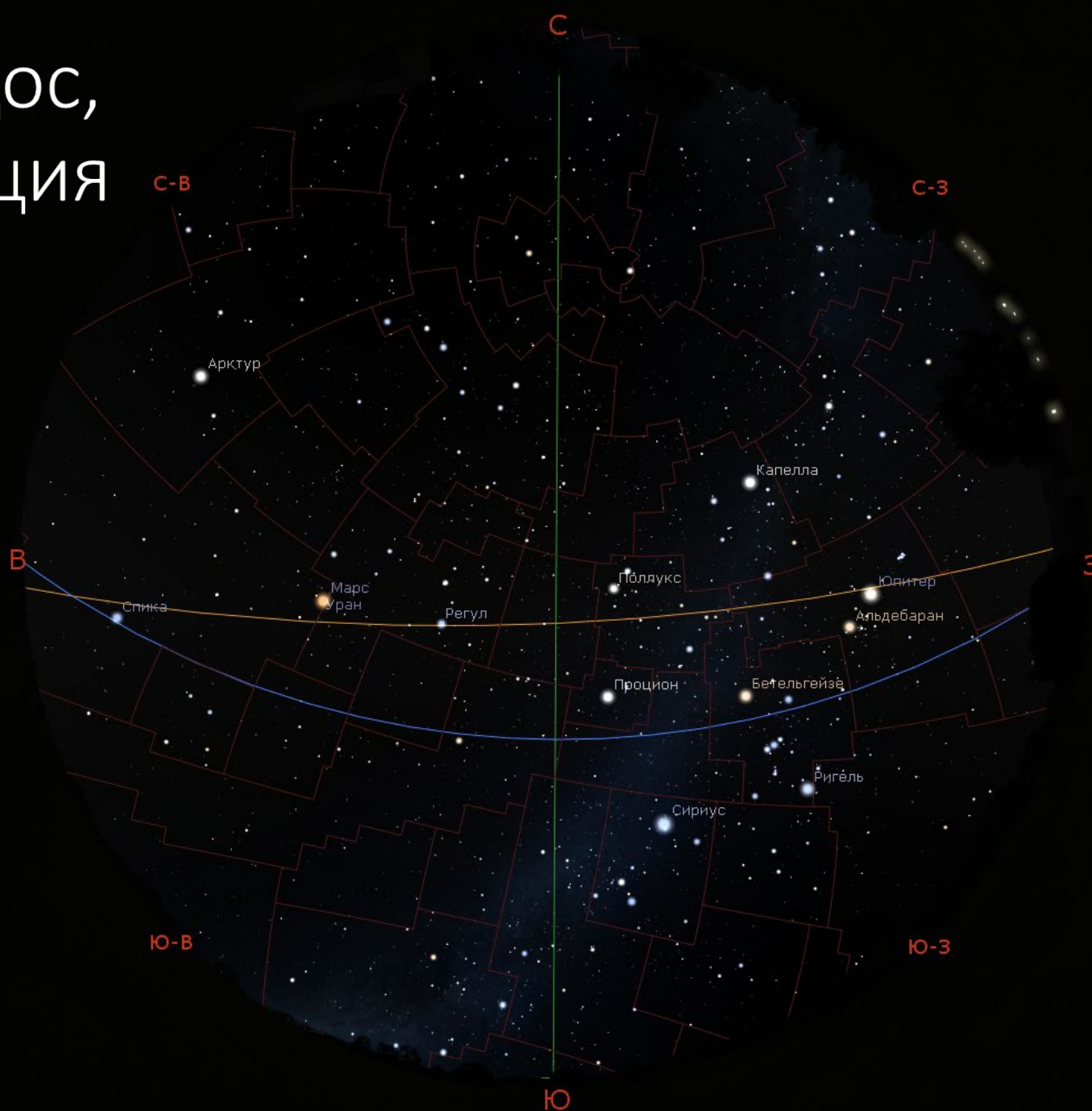
Гиппарх Никейский
190 г. до н.э. – 120 г. до н.э.



Родос, Греция



Родос, Греция



Яркость
относительно
Веги

Видны невооружё нным глазом	Видимая величина	Яркость относитель но Веги	Число звёзд ярче этой видимой величины
Да	-1,0	250 %	1
	0,0	100 %	4
	1,0	40 %	15
	2,0	16 %	48
	3,0	6,3 %	171
	4,0	2,5 %	513
	5,0	1,0 %	1 602
	6,0	0,40 %	4 800
	6,5	0,25 %	9 096
Нет	7,0	0,16 %	14 000
	8,0	0,063 %	42 000
	9,0	0,025 %	121 000
	10,0	0,010 %	340 000

Формула Погсона

$$\frac{E_1}{E_2} = 10^{0.4(m_2 - m_1)} \Rightarrow m_1 - m_2 = -2.5 \lg \left(\frac{E_1}{E_2} \right)$$

В возрасте 18 лет вычислил орбиты 2 комет.

С 1850 по 1851 года - обсерватория Бишопа.

В 1851 - н. с. обсерватории Редклифф в Оксфорде, Англия.

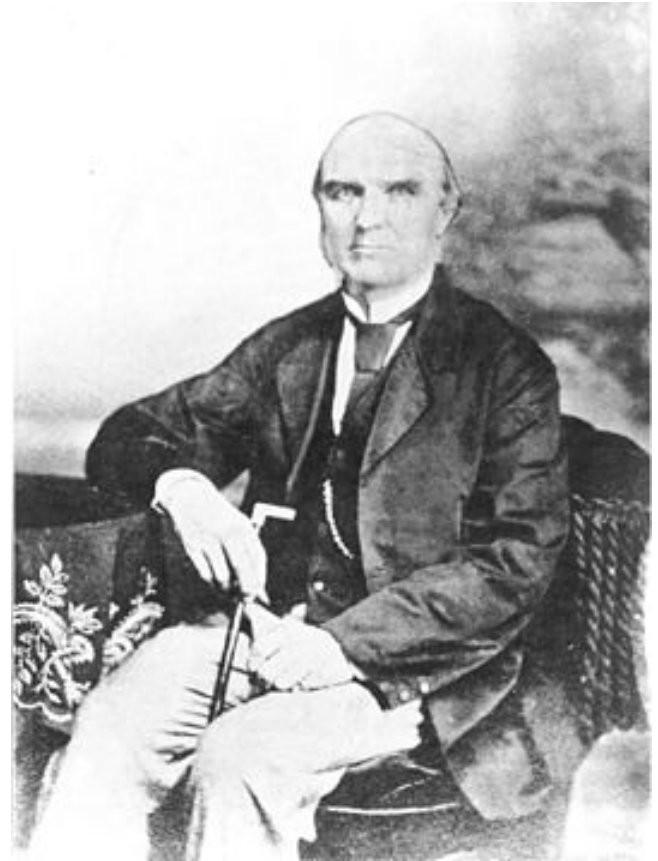
В 1860 переехал в Мадрас, Индия, где занял должность государственного астронома.

В Мадрасской обсерватории издал каталог 11015 звёзд.

Также открыл там 5 астероидов и 6 переменных звёзд.

Особенно отмечен за своё наблюдение о том, что в системе видимых звёздных величин, введённой греческим астрономом Гиппархом, звёзды первой величины примерно в сто раз ярче, чем звёзды шестой величины.

В 1856 году он предложил взять такое положение за стандарт, чтобы каждое уменьшение звёздной величины представляло уменьшение в яркости равное корню пятой степени из 100



Норман Роберт Погсон
23.03.1829 - 23.06.1891

Шпаргалка

Отношение	Разница в m
2,512	1
6,25	2
16	3
40	4
100	5

Объект	Яркость m_V
Солнце	-26.7
Полная Луна	-12.7
Венера	-4.6
Юпитер	-2.9
Марс	-2.5
Меркурий	-2.4
Сириус	-1.47
Канопус	-0.72
Толиман	-0.3
Сатурн	-0.2
Арктур	-0.04
Вега	0.03
Капелла	0.08
Ригель	0.12

Самые яркие звезды

Объект	Обозначение	m_V
Сириус	α Большого Пса	−1.47
Канопус	α Киля	−0.72
Толиман	α Центавра	−0.27
Арктур	α Волопаса	−0.04
Вега	α Лирь	+0.03
Капелла	α Возничего	+0.08
Ригель	α Ориона	+0.12
Процион	α Малого Пса	+0.38
Ахернар	α Эридана	+0.46
Бетельгейзе	α Ориона	+0.50 (1.50)
Альтаир	α Орла	+0.75
Альдебаран	α Тельца	+0.85
Антарес	α Скорпиона	+1.09
Поллукс	β Близнецов	+1.15
Фомальгаут	α Южной Рыбы	+1.16
Денеб	α Лебедя	+1.25
Регул	α Льва	+1.35

Объекты земного неба

Объект	m_V
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

Задача №1

- Во сколько раз ярче

А) Сириус ($-1,5^m$), чем α^2 Козерога ($3,5^m$)?

Б) Арктур ($-0,04^m$), чем к Рака (4.96^m)?

В) Мегрец ($3,3^m$), чем звезда Шольца ($18,3^m$)?

Г) Шеат (2.4^m), чем звезда ван Маанена ($12,4^m$)?

- **Ответ:** А) 100 раз, Б) 100 раз, В) 1 000 000 раз, Г) 10 000 раз

- Воспользуемся формулой Погсона $\frac{E_1}{E_2} = 10^{0.4(m_2 - m_1)}$:

- А) $\frac{E_1}{E_2} = 10^{0.4(m_2 - m_1)} = 10^{0.4(3.5 - (-1.5))} = 10^2 = 100$

- Б) $\frac{E_1}{E_2} = 10^{0.4(m_2 - m_1)} = 10^{0.4(4.96 - (-0.04))} = 10^2 = 100$

- В) $\frac{E_1}{E_2} = 10^{0.4(m_2 - m_1)} = 10^{0.4(18.3 - 3.3)} = 10^6$

- Г) $\frac{E_1}{E_2} = 10^{0.4(m_2 - m_1)} = 10^{0.4(12.4 - 2.4)} = 10^4$

Задача №2

- Современная астрономия работает как с очень яркими объектами, например, Солнцем со звёздной величиной около -27^m , так и с очень слабыми звёздами и галактиками с блеском до $+30^m$. Вычислите, во сколько раз отличаются по яркости эти объекты.
- **Ответ:** примерно в $6 \cdot 10^{22}$ раз.
- Воспользуемся формулой Погсона
- $$\frac{E_1}{E_2} = 10^{0.4(m_2 - m_1)}$$
- $$\frac{E_1}{E_2} = 10^{0.4(m_2 - m_1)} = 10^{0.4(30 - (-27))} = 6 \cdot 10^{22}$$

Задача №3

- Суммарный блеск двойной звезды составляет 5^m , а блеск одной из её компонент равен 7^m . Во сколько раз вторая компонента ярче или слабее первой?
- **Ответ:** примерно в 5,31 раза.

- Воспользуемся формулой Погсона:

- $\frac{E_1}{E_2} = 10^{0.4(m_2 - m_1)}, E_{\Sigma} = E_1 + E_2$

- $\frac{E_{\Sigma}}{E_1} = \frac{E_1 + E_2}{E_1} = 1 + \frac{E_2}{E_1} = 10^{0.4(m_1 - m_{\Sigma})} \Rightarrow$

- $\frac{E_2}{E_1} = 10^{0.4(m_1 - m_{\Sigma})} - 1 = 10^{0.4(5 - 7)} - 1 \approx 5.31$

Задача №4

- Одна двойная звезда состоит из двух звёзд 0^m , а другая – из одной звезды -1^m и одной звезды 1^m . Какая из этих пар ярче и во сколько раз?

- **Ответ:** Вторая ярче в 1,45 раза

- Воспользуемся формулой Погсона:

- $\frac{E_1}{E_2} = 10^{0.4(m_2 - m_1)}, E_{\Sigma 1} = E_1 + E_2, E_{\Sigma 2} = E_3 + E_4$

- $\frac{E_{\Sigma 1}}{E_{\Sigma 2}} = \frac{E_1 + E_2}{E_3 + E_4} = \frac{E_2}{E_4} \cdot \frac{1 + \frac{E_1}{E_2}}{1 + \frac{E_3}{E_4}} = 10^{0.4(m_4 - m_2)} \cdot \frac{1 + 10^{0.4(m_1 - m_2)}}{1 + 10^{0.4(m_4 - m_3)}} \Rightarrow$

- $10^{0.4(1 - 0)} \cdot \frac{1 + 10^{0.4(0 - 0)}}{1 + 10^{0.4(1 - (-1))}} = 10^{0.4} \cdot \frac{1 + 1}{1 + 10^{0.8}} \approx 0.687 \Rightarrow$

- $\frac{E_{\Sigma 2}}{E_{\Sigma 1}} = \left(\frac{E_{\Sigma 1}}{E_{\Sigma 2}} \right)^{-1} = \frac{1}{0.687} \approx 1.45$

Задача №5

- Скопление звёзд содержит миллион одинаковых звёзд, каждая из которых имеет звёздную величину 10^m . Какую звёздную величину имеет всё скопление целиком?

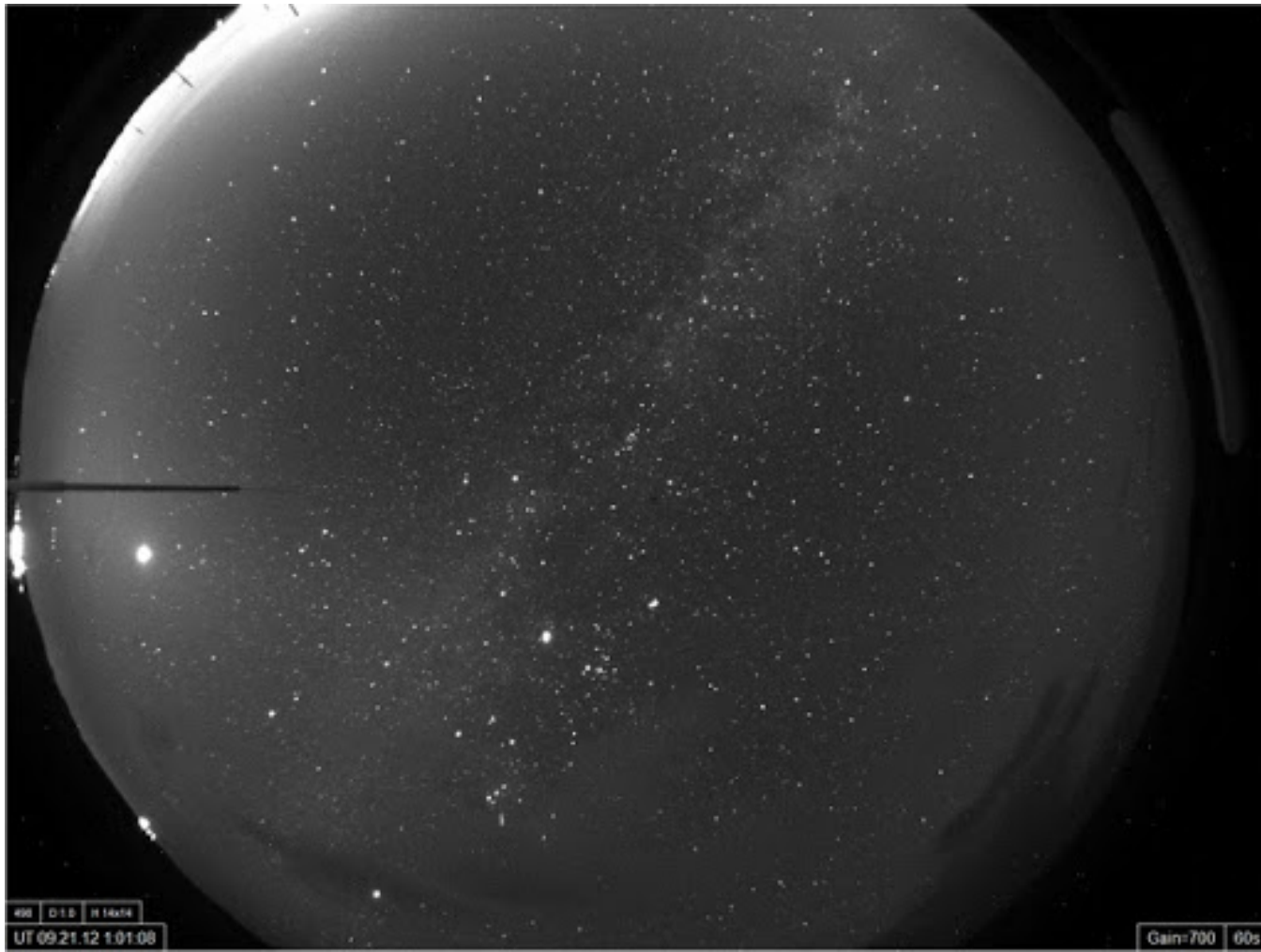
• **Ответ:** -5^m .

- Воспользуемся формулой Погсона:
- $\frac{E_1}{E_2} = 10^{0.4(m_2 - m_1)}$, $E_\Sigma = E_1 + \dots + E_1$
- $\frac{E_\Sigma}{E_1} = \frac{E_1 + \dots + E_1}{E_1} = N = 10^{0.4(m_1 - m_\Sigma)} \Rightarrow$
- $m_\Sigma = m_1 - 2.5 \lg N \approx 10 - 15 \Rightarrow -5$

- Почему на небе 88 созвездий, но 89 отдельных площадок созвездий?

Задача №6

- **Ответ:** Потому что созвездие Змеи состоит из двух отдельных частей, разделённых созвездием Змееносца.



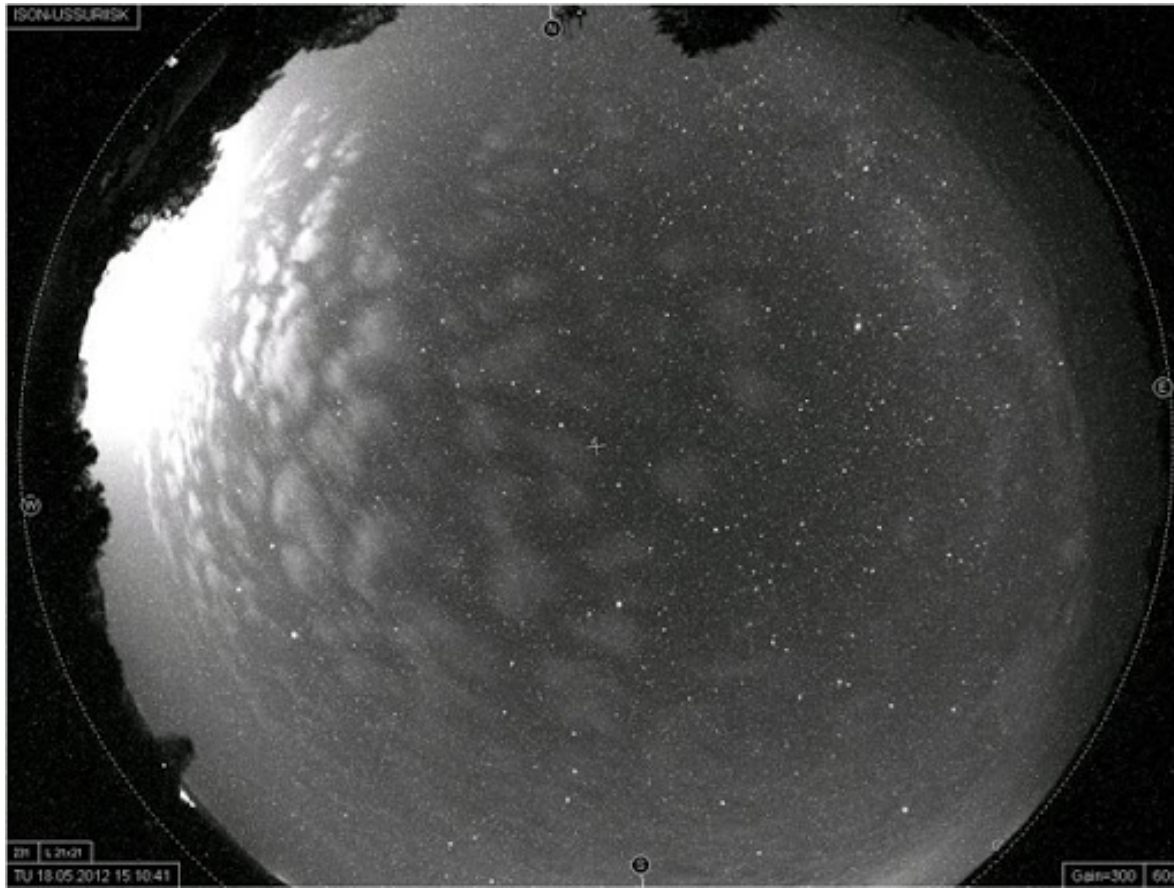
Задача №7

- Пользуясь картой звёздного неба или программой-планетарием ответьте, какие из перечисленных животных являются названиями созвездий:
- А) Гепард, Кошка, Леопард, Лев, Рысь, Тигр?
- Б) Змея, Крокодил, Черепаха, Саламандра, Хамелеон, Ящерица?
- В) Голубь, Ворон, Журавль, Лебедь, Павлин, Тукан?
- Г) Белка, Волк, Жираф, Заяц, Лось, Росомаха?
- **Ответ:** А) Лев и Рысь; Б) Змея, Хамелеон, Ящерица; В) Голубь, Ворон, Журавль, Лебедь, Павлин, Тукан; Г) Волк, Жираф, Заяц

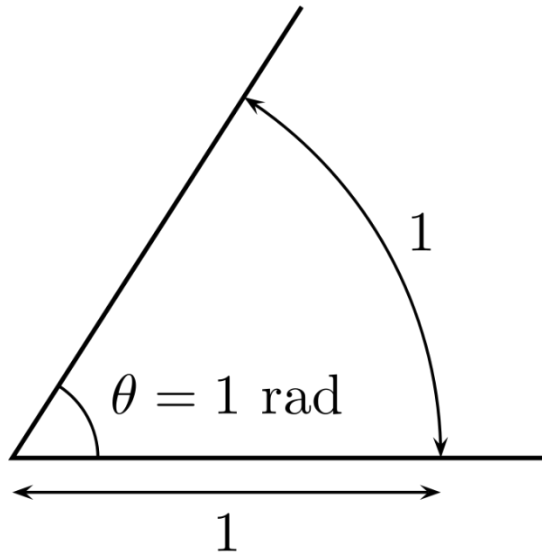


Задача №8

- Какие собственные имена имеют звезды α Орла, α Волопаса, α Лебедя, α Лир, α Ориона, β Персея, α Скорпиона, ϵ Большой Медведицы?
- **Ответ:** Альтаир, Арктур, Денеб, Вега, Бетельгейзе, Алголь, Антарес, Алиот.



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 $\frac{30^\circ \cdot 3600''}{206265''} \approx 0.52$

- $2\pi - 360^\circ$

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

- 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 2π

$$l = \alpha \cdot R$$

- $2\pi - 360^\circ$

- $1 \text{ радиан} = \frac{360^\circ \cdot 60' \cdot 60''}{2\pi} \approx 57,3^\circ \approx 3437,7'' \approx 206264,8'' \approx 206265''$

Небесная сфера



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

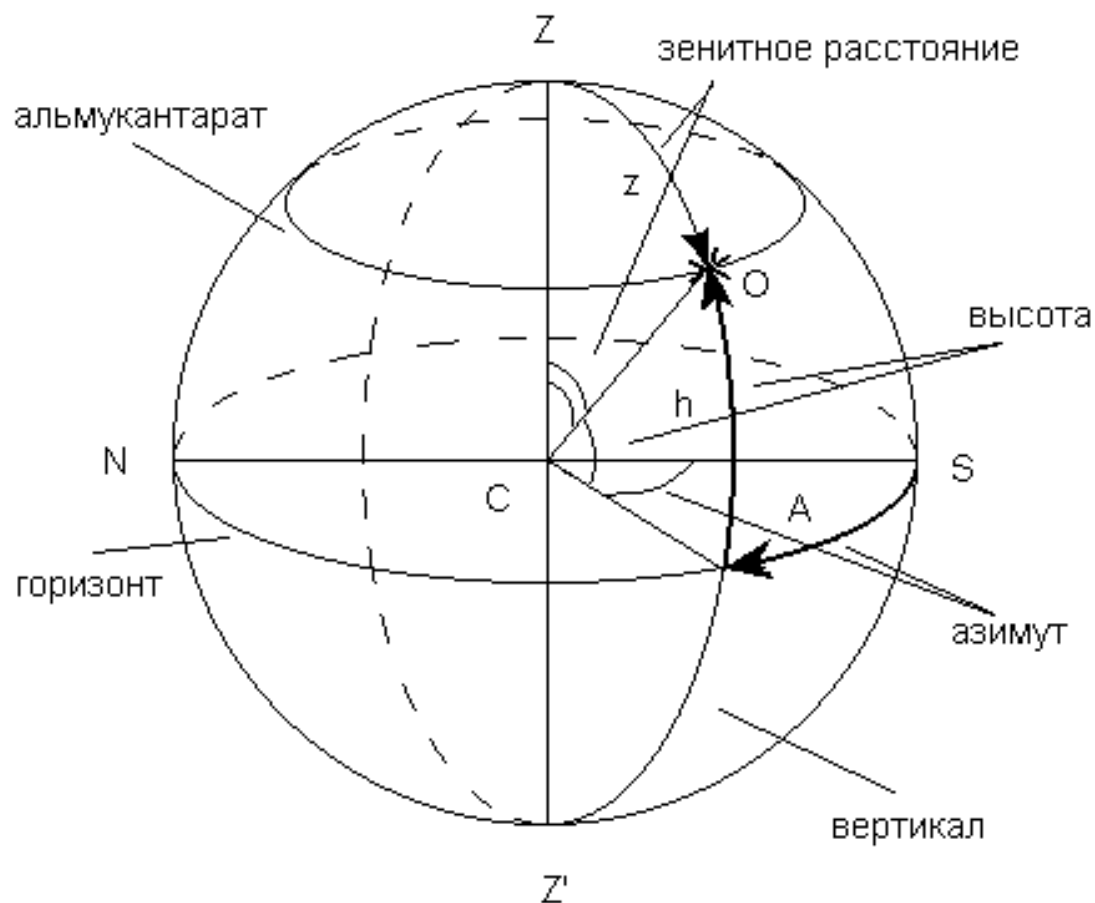
- Большие круги

- 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 $\varepsilon=23.5^\circ$ ($B.P.$, $L.C.$, $O.P.$, $3.C.$)
- Первый вертикал (E, Z, W, Z')

- Малые круги

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

Горизонтальные координаты



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

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

- Прямое восхождение - α
 - 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 - δ
 - Угол в плоскости круга склонения от небесного экватора до светила. От 90° до 90°
- Полярное расстояние - p
 - Угол в плоскости круга склонений от полюса P до светила. От 0° до 180°
- Северный полюс — P ($\delta = 90^\circ$)
- Южный полюс — P' ($\delta = -90^\circ$)

[illegible]

- Эклиптика –

- Годишний 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

- $\alpha = 0^h$ $\delta = 0^\circ$

- Точка Летнего Солнцестояния

- $\alpha = 6^h$ $\delta = \varepsilon = 23.5^\circ$

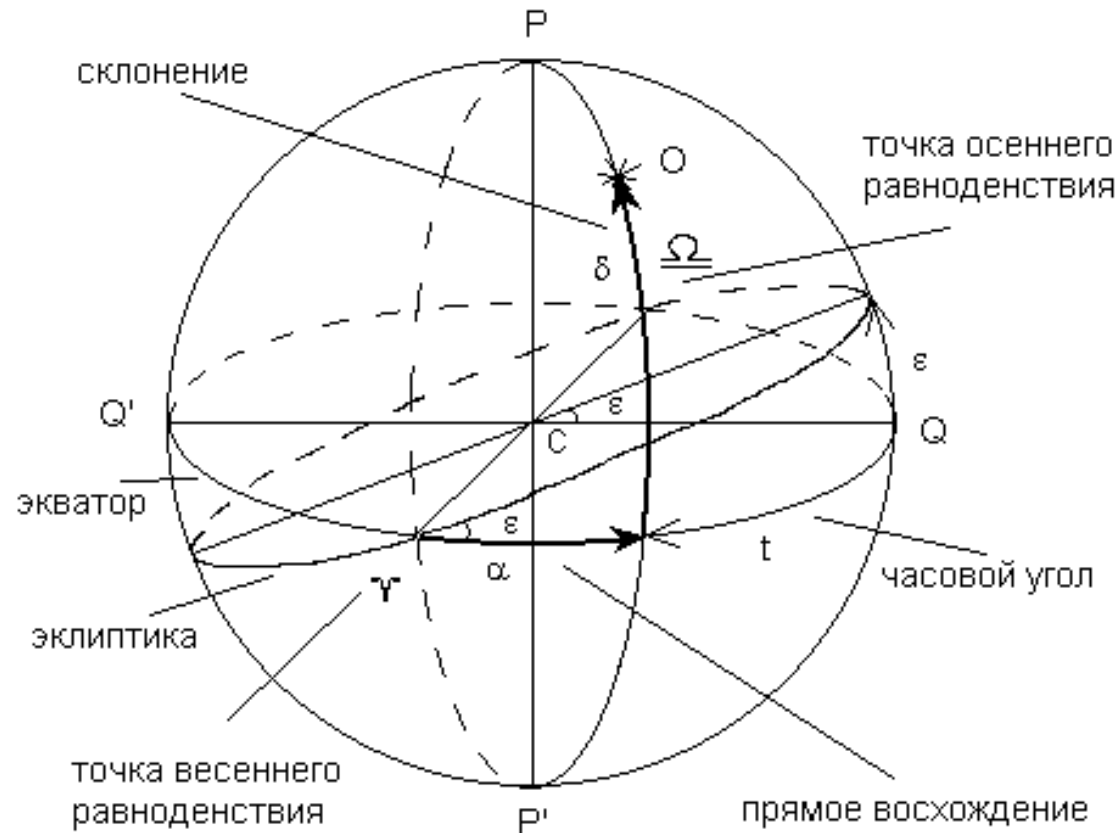
- Точка Осеннего равноденствия

- $\alpha = 12^h \quad \delta = 0^\circ$

- Точка Зимнего Солнцестояния

- $\alpha = 18^h \quad \delta = -\varepsilon = -23.5^\circ$

Эклиптика



- Северный полюс эклиптики

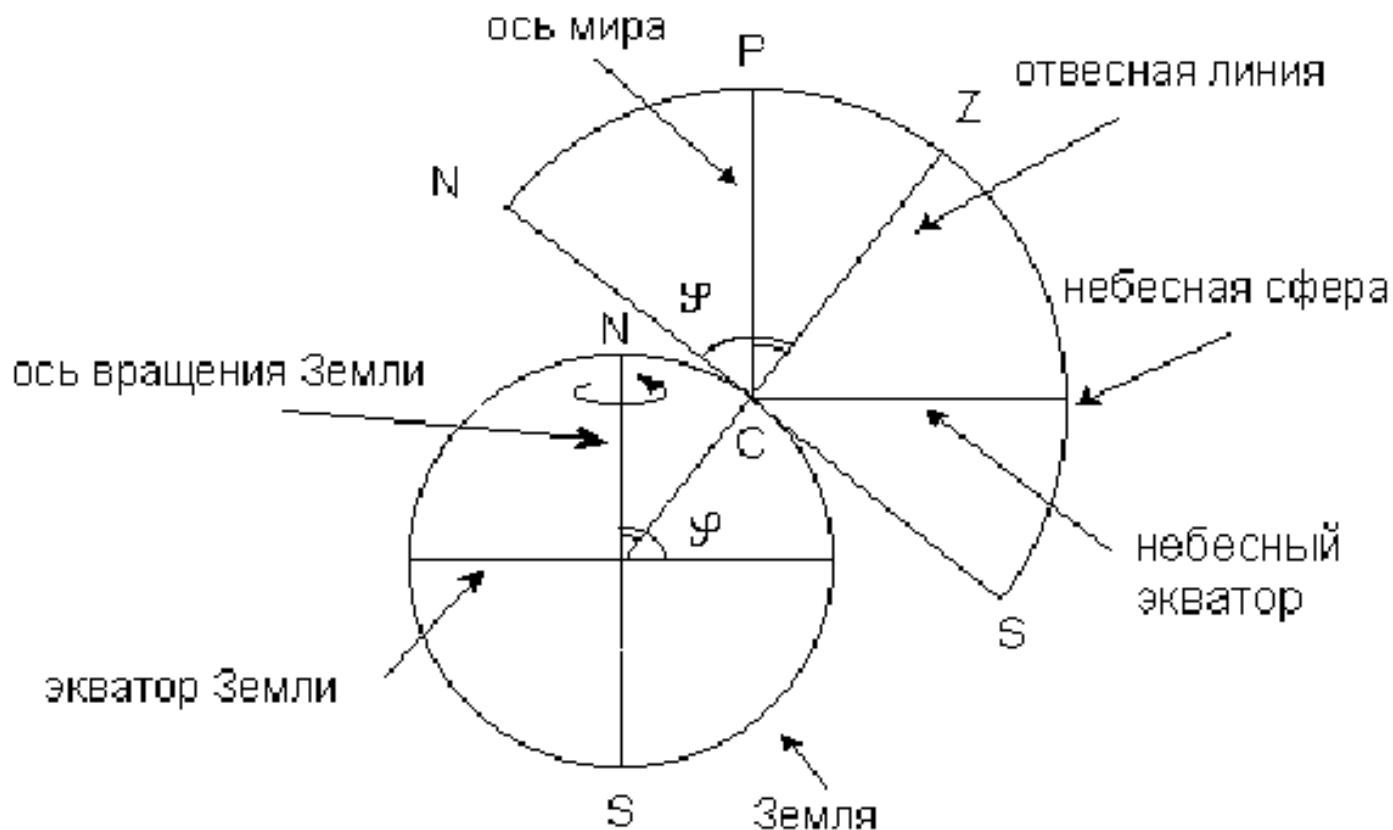
- $\alpha = 18^h$ $\delta = 90^\circ - \varepsilon = 66.5^\circ$

- Южный полюс эклиптики

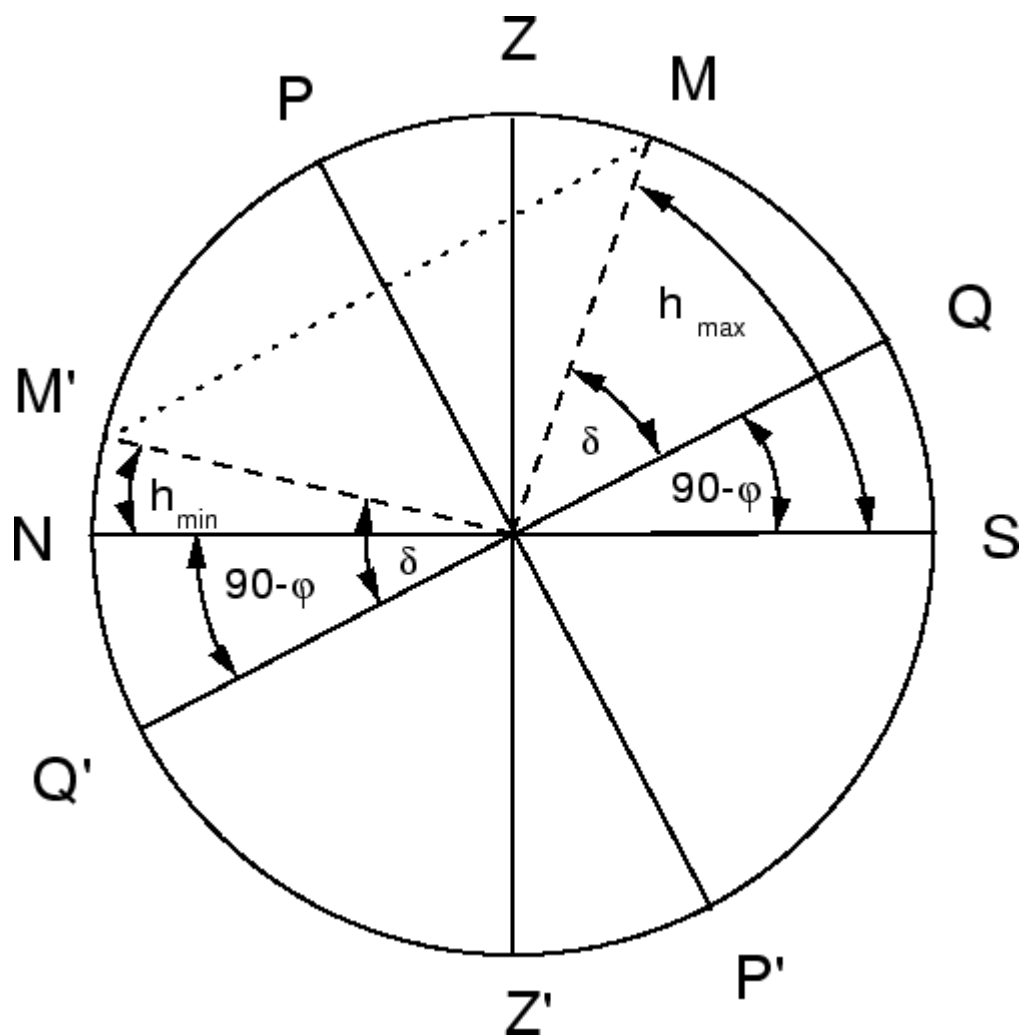
- $\alpha = 6^h \quad \delta = -(90^\circ - \varepsilon) = -66.5^\circ$

Задача на высоту полюса мира

- Какова высота полюса мира в южном полушарии Земли и как можно найти значение этой широты в отсутствии яркой звезды вблизи южного полюса мира

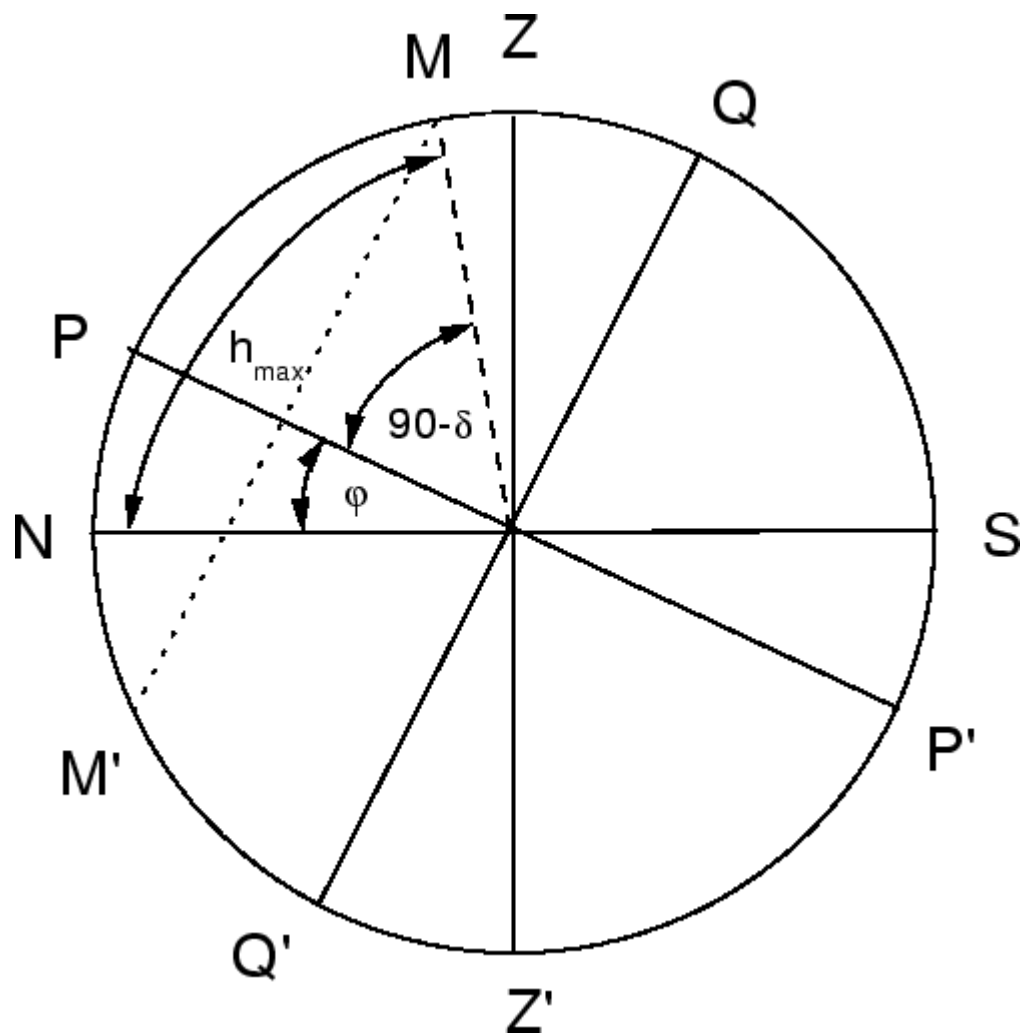


Нижняя и верхняя кульминация



- 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 $\delta = \varphi$
- $h_{\text{В.К.}} = 90^\circ$
- $h_{\text{Н.К.}} = 2\varphi - 90^\circ$

Нижняя и верхняя кульминация

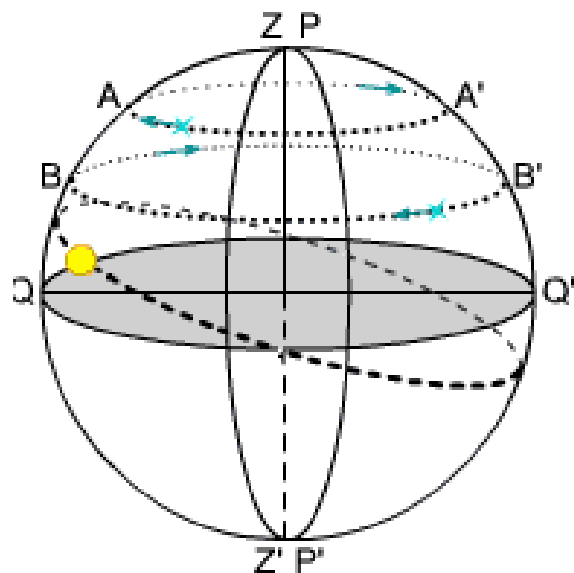


- Момент кульминации – пересечение светилом небесного меридиана
- Случай когда $\delta > \varphi$
- $h_{\text{Б.К.}} = 90^\circ - \varphi + \delta > 90^\circ$
- $h_{\text{Б.К.}} = 180^\circ - (90^\circ - \varphi + \delta) = 90^\circ + \varphi - \delta$
- $h_{\text{Б.К.}} = 90^\circ + \varphi - \delta$
- $h_{\text{Н.К.}} = -(90^\circ - \varphi) + \delta$
- Случай когда $\delta = 90^\circ - \varphi$
- $h_{\text{Б.К.}} = 0^\circ$
- $h_{\text{Н.К.}} = 2\varphi - 90^\circ$

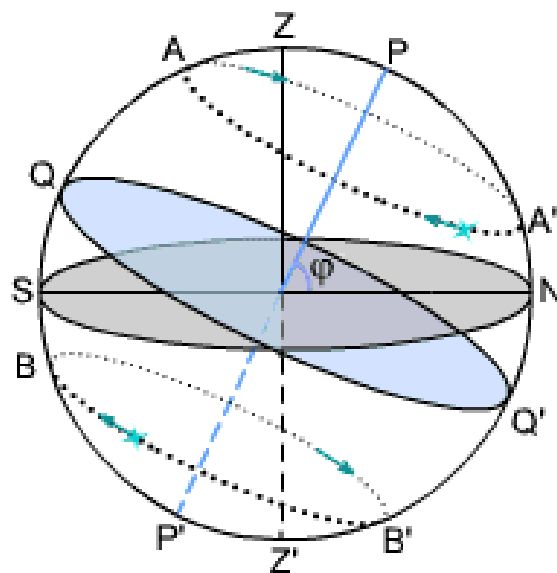
Задача №9

- Звёзды с какими склонениями на данной широте φ являются невосходящими?

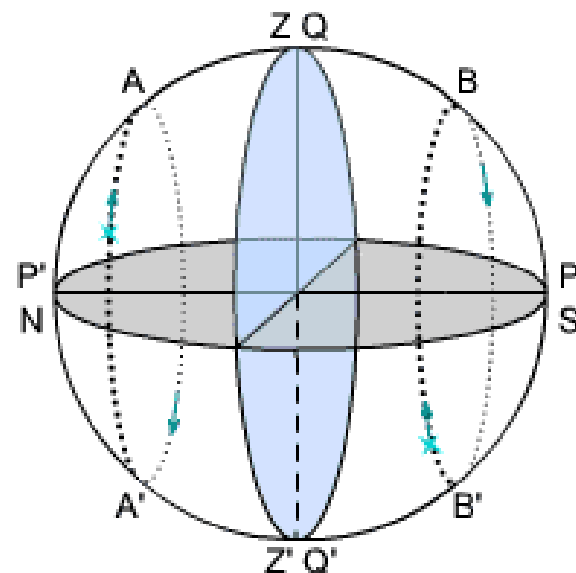
Ответ: $\delta \leq \varphi - 90^\circ$.



а) Северный полюс Земли



б) средние широты Земли



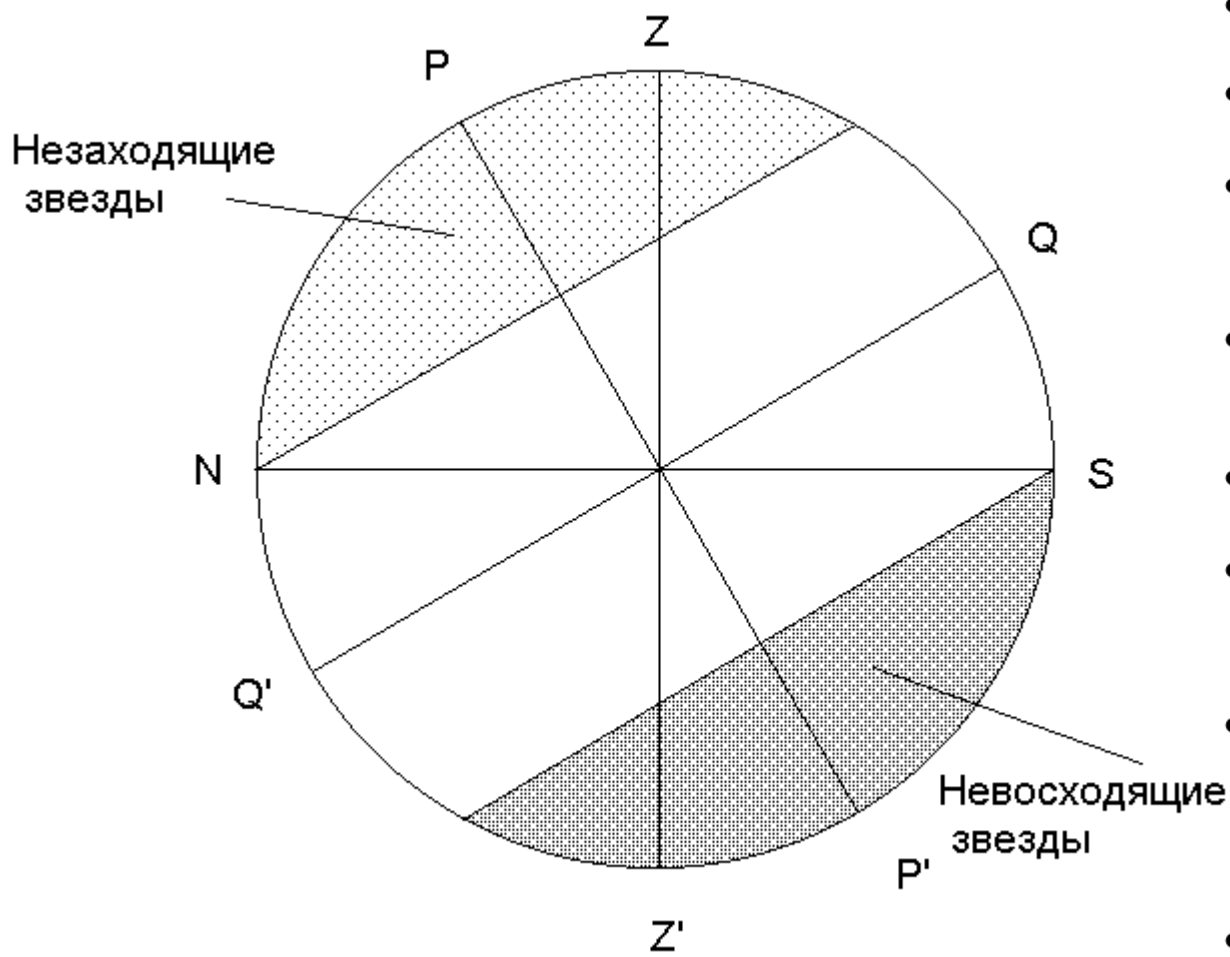
в) экватор Земли

- Определение невосходящих звезд верхняя кульминация должна быть отрицательной:

$$h_{\text{в.к.}} < 0^\circ \Rightarrow$$

$$90^\circ - \varphi + \delta < 0^\circ \Rightarrow \delta \leq \varphi - 90^\circ.$$

Вращение небесного свода



- Незаходящие звезды
- $h_{\text{н.к.}} > 0^\circ$
- $\delta > 90^\circ - \varphi$
- Невосходящие звезды
- $h_{\text{в.к.}} < 0^\circ$
- $\delta < \varphi - 90^\circ$
- Заходящие и восходящие звезды
- $90^\circ - \varphi > \delta > \varphi - 90^\circ$

Задача №10

- Координаты звезды γ Андромеды $\alpha = 2^h 4^m$, $\delta = 42^\circ 20'$. Какие координаты диаметрально противоположной точки небесной сферы?
- **Ответ:** $\alpha = 14^h 4^m$, $\delta = -42^\circ 20'$



- Необходимо прибавить по 180° по обеим координатам. Т. е. по склонению станет $\delta = -42^\circ 20'$
- А по прямому восхождению добавляется 12^h
- И оно станет $\alpha = 14^h 4^m$

- Астрономический азимут точки восхода звезды равен 238° . Чему равен азимут захода этой же звезды?

- **Ответ:** 122°

Задача №11

- Астрономический азимут отсчитывается от точки юга в сторону запада.
- Светила же восходят и заходят симметрично относительно небесного меридиана
- Значит от меридиана в сторону востока до точки восхода светила будет $360^\circ - 238^\circ = 122^\circ$
- Следовательно столько же в сторону точки захода относительно направления на юг



б) средние широты Земли

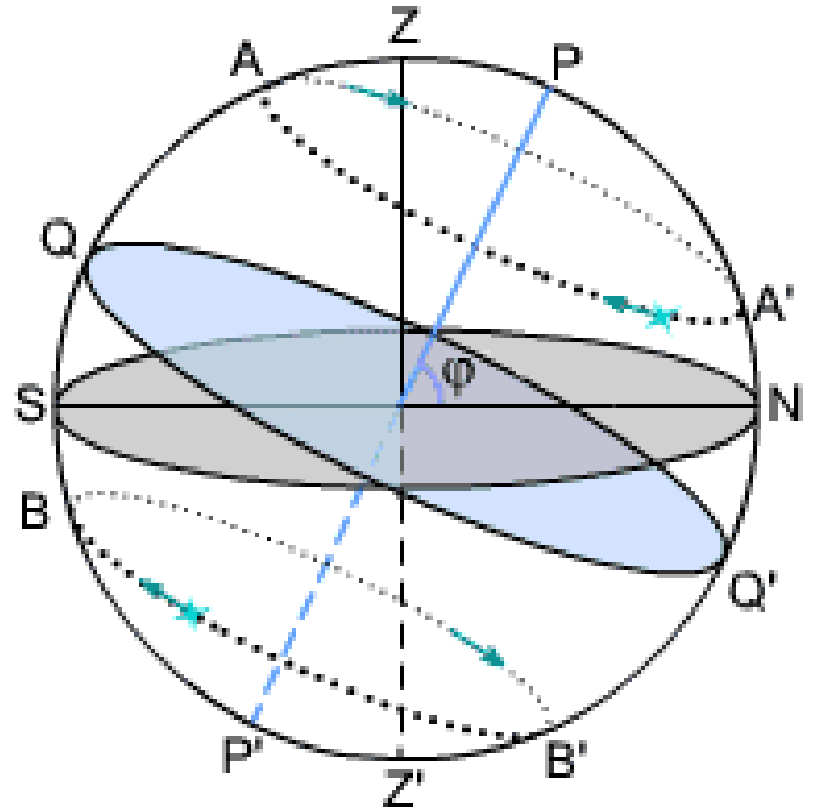
- 1000 км к северу это 9° широты. $\frac{360^\circ}{2\pi R_\oplus} \cdot 1000$
- $h_{\text{н.к.}} = -(90^\circ - \varphi) + \delta \Rightarrow h_{\text{н.к.}} = 30^\circ$.

Задача №13

- Верхняя кульминация α Кентавра ($\alpha = 14^h40^m$, $\delta = -60^\circ49'$) происходит над точкой юга на высоте $10^\circ11'$.

Чему равна широта места наблюдения?

- Ответ:** 19° с. ш.



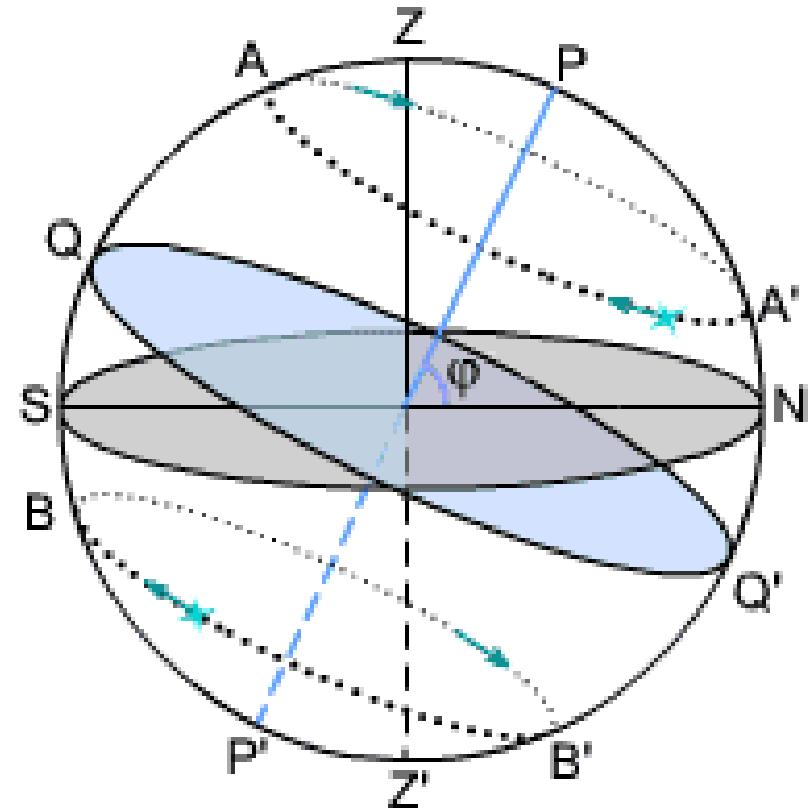
б) средние широты Земли

- Верхняя кульминация :
- $h_{\text{в.к.}} = 10^\circ11' \Rightarrow$
- $90^\circ - \varphi + \delta = 10^\circ11' \Rightarrow$
- $\varphi = 90^\circ + \delta - 10^\circ11' = 90^\circ + (-60^\circ49') - 10^\circ11' = 19^\circ$

Задача №14

- Чему равно склонение звезды Альхена, если её нижняя кульминация в Хабаровске ($48^{\circ}29'$ с. ш.) происходит на высоте $-25^{\circ}7'$.

• **Ответ:** $16^{\circ}24'$.



б) средние широты Земли

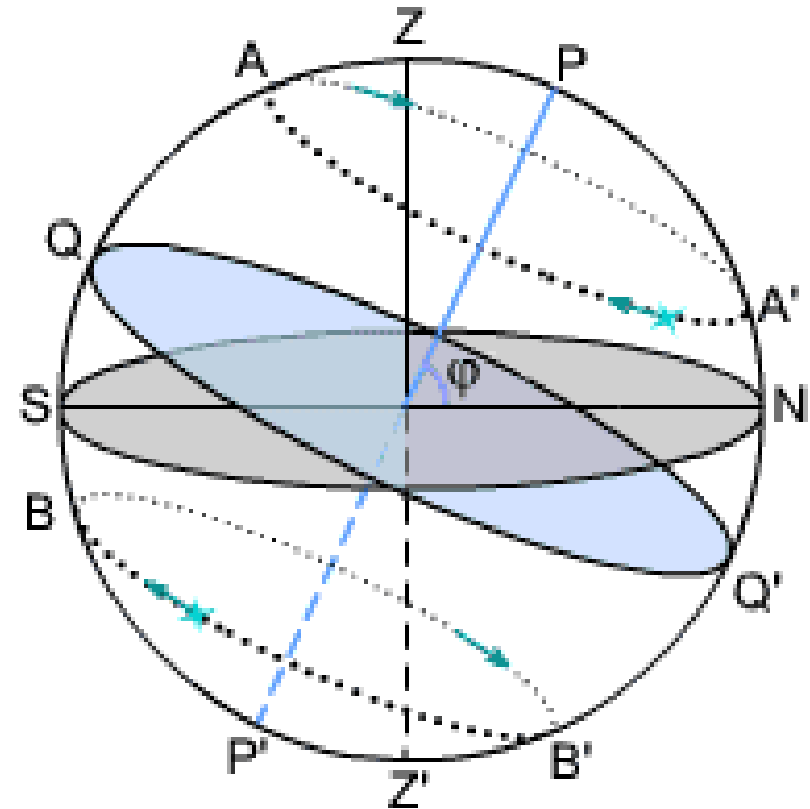
- Нижняя кульминация :
- $h_{\text{н.к.}} = 25^{\circ}07' \Rightarrow$
- $-(90^{\circ} - \varphi) + \delta = 25^{\circ}07' \Rightarrow$
- $\delta = 90^{\circ} - \varphi - 25^{\circ}07' = 90^{\circ} - 48^{\circ}29' - 25^{\circ}07' = 16^{\circ}24'$

Задача №15

- Зенитное расстояние Капеллы ($\alpha = 5^h 17^m$, $\delta = 46^\circ 0'$) во время верхней кульминации равно 15° . Чему равна широта точки наблюдения?

• **Ответ:** 31° с. ш. или 61° с. ш.

- Зенитное расстояние может отсчитываться в разные стороны от зенита а значит два случая
- Случай когда $\delta < \varphi$ зенитное расстояние в сторону юга по небесному меридиану
- $h_{\text{Б.К.}} = 90^\circ - z$
- $h_{\text{Б.К.}} = 90^\circ - \varphi + \delta$
- $z = \varphi - \delta \Rightarrow \varphi = \delta + z$
- $\delta = 46^\circ + 15^\circ = 61^\circ$
- Случай когда $\delta > \varphi$ зенитное расстояние в сторону севера по небесному меридиану
- $h_{\text{Б.К.}} = 90^\circ - z$
- $h_{\text{Б.К.}} = 90^\circ + \varphi - \delta$
- $z = \delta - \varphi \Rightarrow \varphi = \delta - z$
- $\delta = 46^\circ - 15^\circ = 31^\circ$



б) средние широты Земли

Задача №16



- Чему равна длина дуги земного экватора, заключённой между меридианами Москвы ($\phi = 55^\circ 45'$ с. ш., $\lambda = 37^\circ 37'$ в. д.) и Новосибирска ($\phi = 55^\circ 01'$ с. ш., $\lambda = 82^\circ 55'$ в. д.)? Ответ выразите в километрах.
- **Ответ:** 5042,6 км.
- Поскольку нам необходимо посчитать длину дуги экватора. То она заключена между долготами. Следовательно:
- $$l = \frac{2\pi R_{\oplus}}{360^\circ} \cdot (\lambda_1 - \lambda_2)$$
- $$l = \frac{2\pi \cdot 6400}{360^\circ} \cdot (82^\circ 55' - 37^\circ 37') \approx 5042.6 \text{ км}$$

- Как далеко находится горизонт для человека ростом 180 см, находящегося на ровной местности?
- **Ответ:** примерно 4,8 км.



- Понижение горизонта

$$\text{Угол } \gamma = \cos^{-1} \left(\frac{R}{R+h} \right) = \cos^{-1} \left(\frac{6371}{6371+0.0018} \right) = 0,043^\circ \approx 0.00075 \text{ рад}$$

- Расстояние до горизонта по Земле - s

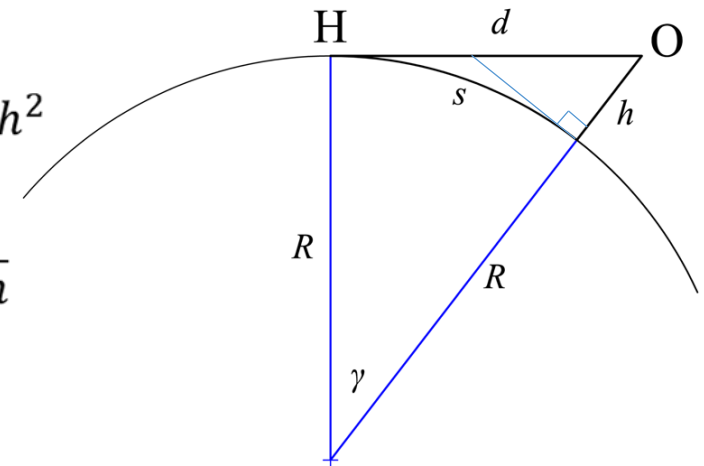
$$s = \gamma \cdot R = 0.00075 \cdot 6371 \approx 4.8 \text{ км}$$

- Расстояние до горизонта по прямой - d

$$R^2 + d^2 = (R + h)^2 \Leftrightarrow d^2 = (R + h)^2 - R^2 = 2Rh + h^2$$

$$d = \sqrt{2Rh + h^2} = \sqrt{2Rh \left(1 + \frac{h}{2R} \right)} \xrightarrow{h \ll R} \approx \sqrt{2Rh}$$

$$d \approx \sqrt{2Rh} \approx \sqrt{2 \cdot 6371 \cdot 0.0018} \approx 4.8$$



- На каких широтах можно наблюдать Солнце в зените?

- **Ответ:** От $-23,5^\circ$ до $+23,5^\circ$.

-

- ## Задача №19

Б) в Каракасе (широта $10,5^\circ$ с. ш.)

- Все три случая различны. А) Обычная верхняя кульминация

- Б) кульминация будет происходить в сторону севера за зенитом

- В) Южные широты аналогичны северным в из-за симметрии, только необходимо поменять знаки склонения и широты

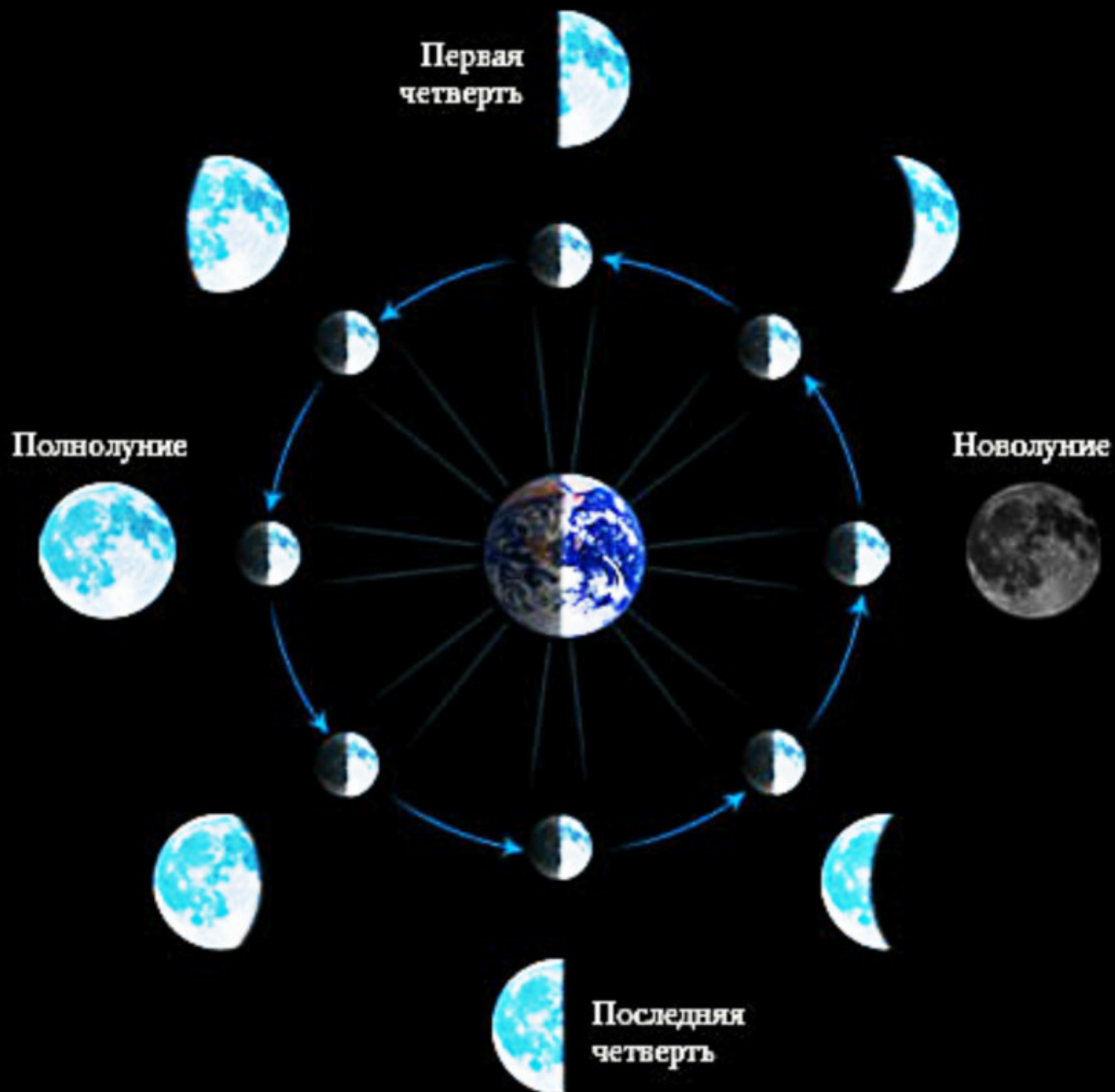
$$\bullet h_{\text{B.K.}} = 90^\circ - \varphi + \delta_\odot = 90^\circ - 38^\circ - 23.5^\circ = 28.5^\circ$$

Фазы Луны



Date: 2005 Sep 1 02:23:28 UT





пепельный свет
Луны



освещённая Солнцем часть похожа на букву
«P» без вертикальной палочки – «растущая» Луна

Марс



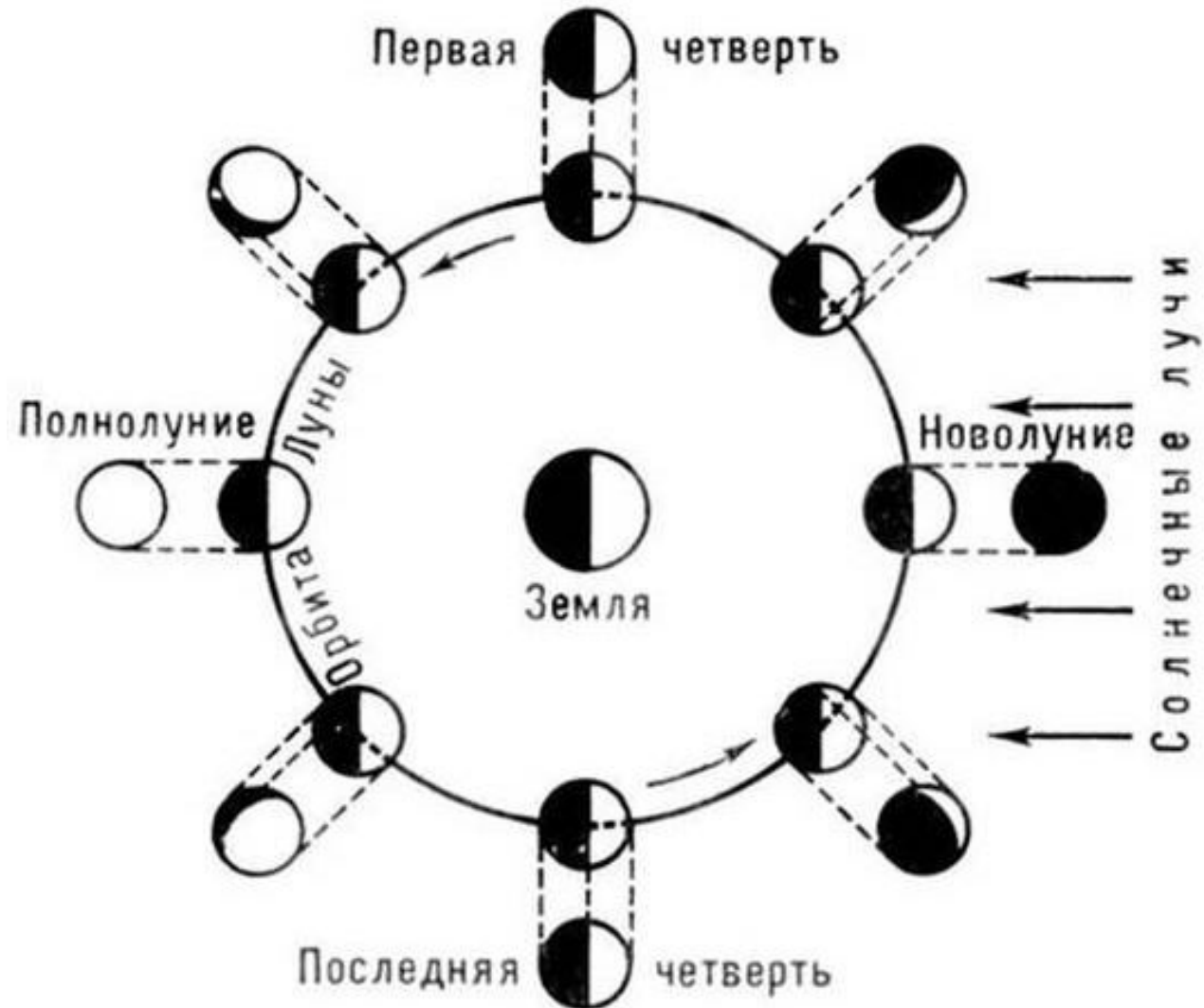


- Сколько дней проходит между новолунием и первой четвертью Луны?

Задача №20

• **Ответ: 7.**

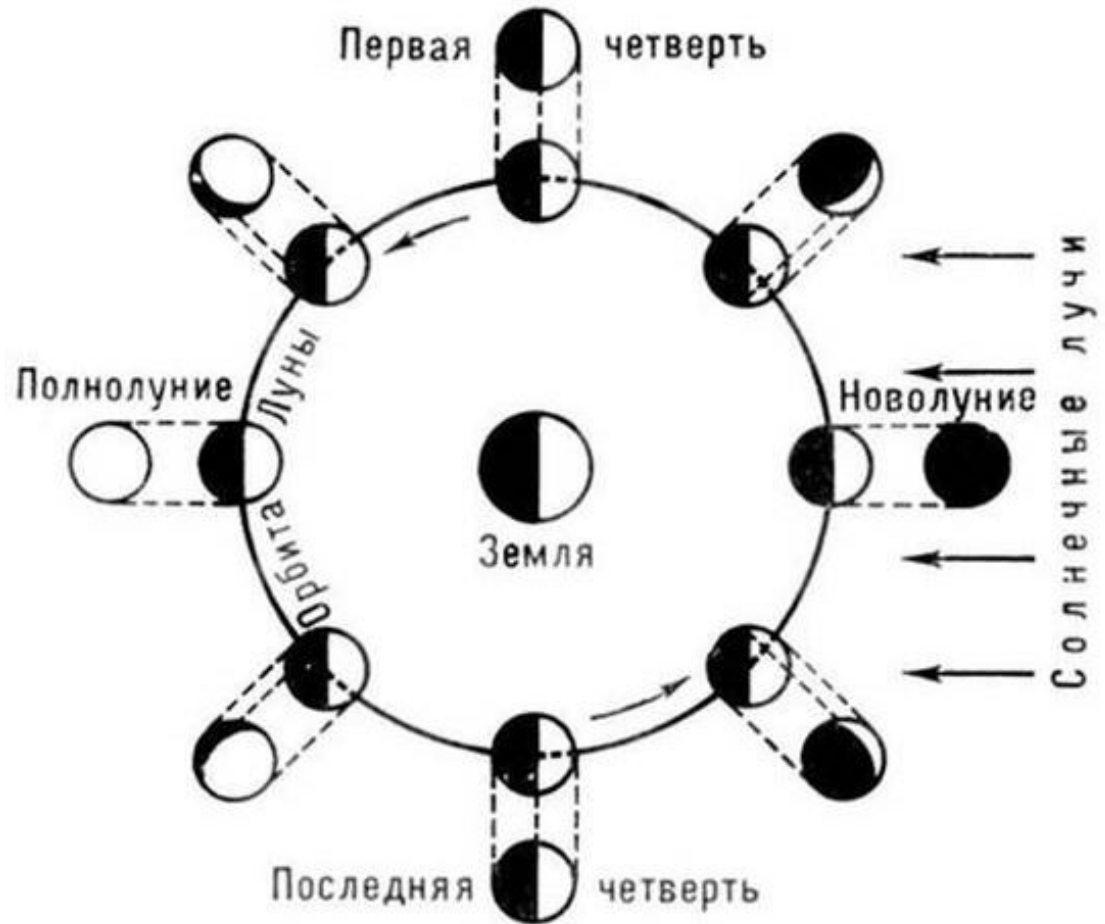
- Поскольку период смены фаз Луны составляет 29.5 дней то между основными фазами проходит почти равна $\frac{1}{4}$. Следовательно между новолунием и первой четвертью пройдет примерно 7 дней



Задача №21

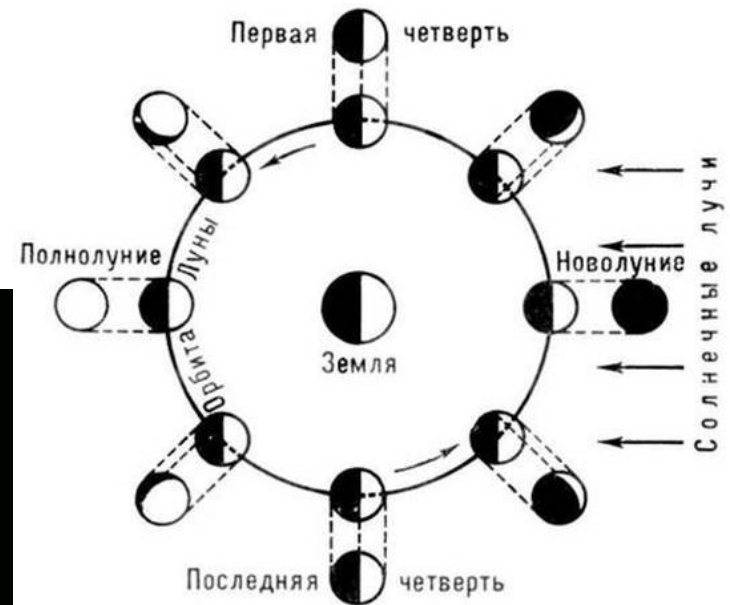
- Луна на широте Москвы вошла в полдень. В какой примерно фазе она находится?
- **Ответ:** Первая четверть.

- Раз Луна вошла в полдень, следовательно Солнце находится на небесном меридиане. Значит угол между Солнцем и Луной почти прямой. Поскольку Луна находится к востоку от Солнца значит она в фазе первой четверти



- Перемещаясь по звёздному небу, Луна своим тёмным краем закрыла звезду. Какая лунная фаза наступит раньше: новолуние или полнолуние?
- **Ответ:** С западной. Т. е. со стороны лунного диска, обращенной к западной части нашего неба. На карте самой Луны эта часть её диска называется восточной.

Задача №22



Долгота и время

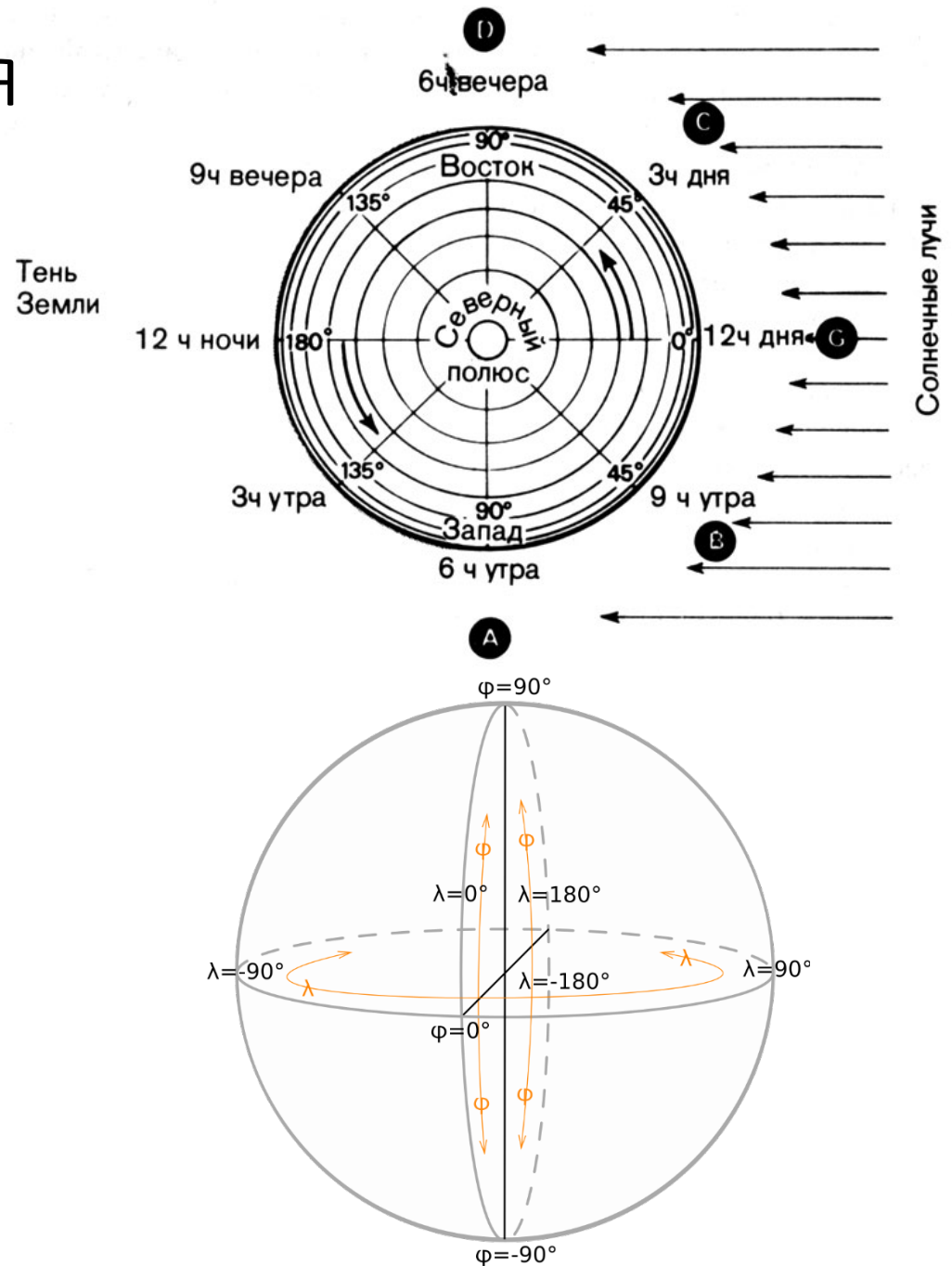
- **Долгота** - двугранный угол λ между плоскостью меридиана, проходящего через данную точку, и плоскостью начального нулевого меридиана, от которого ведётся отсчёт долготы. Долготу от 0° до 180° к востоку от нулевого меридиана называют восточной, к западу — западной. Восточные долготы принято считать положительными, западные — отрицательными.

Среднее солнечное время:

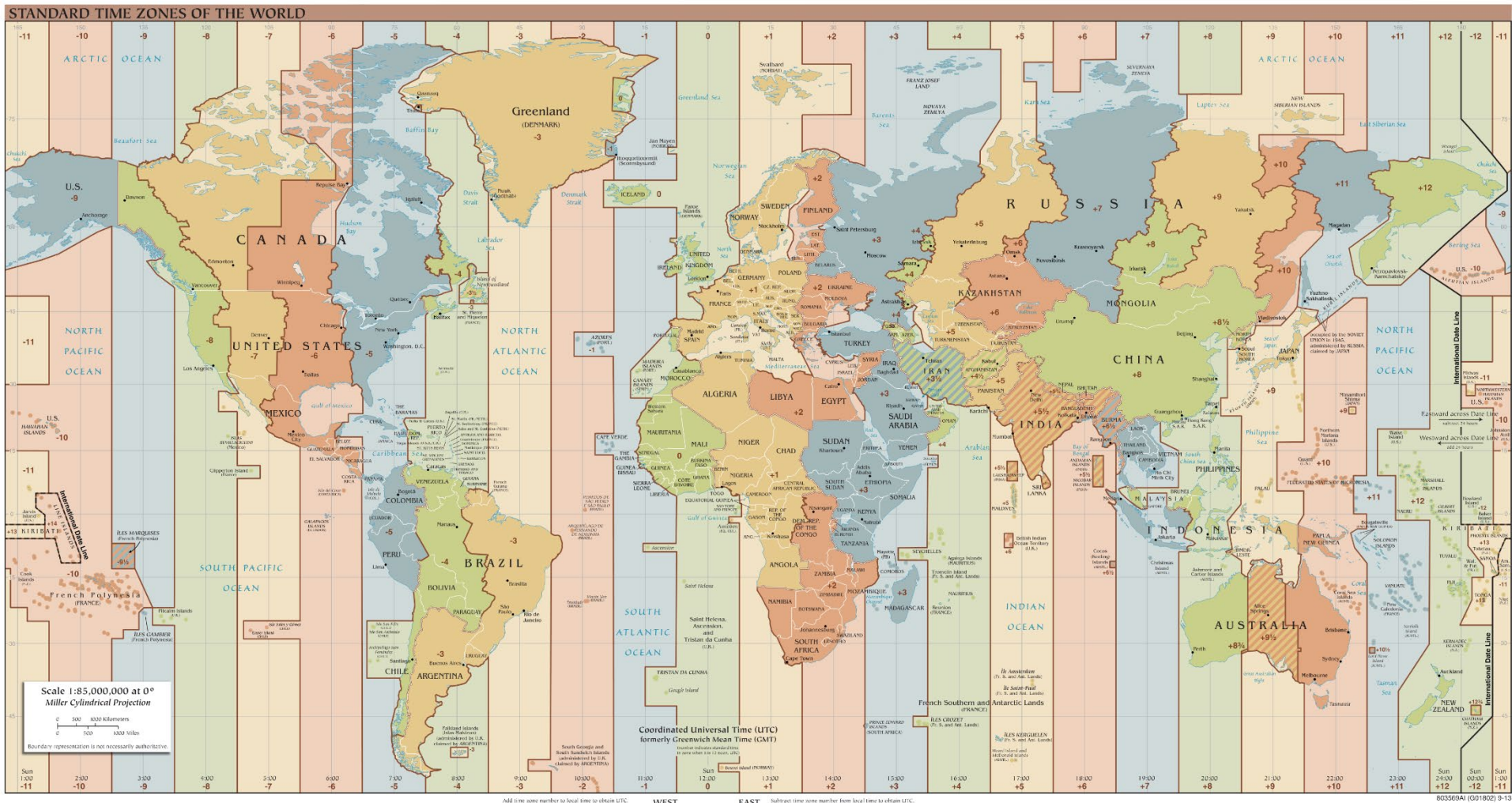
$$ST = UTC + \Delta\lambda$$

Восточная
отрицательная,
положительная

долгота
западная

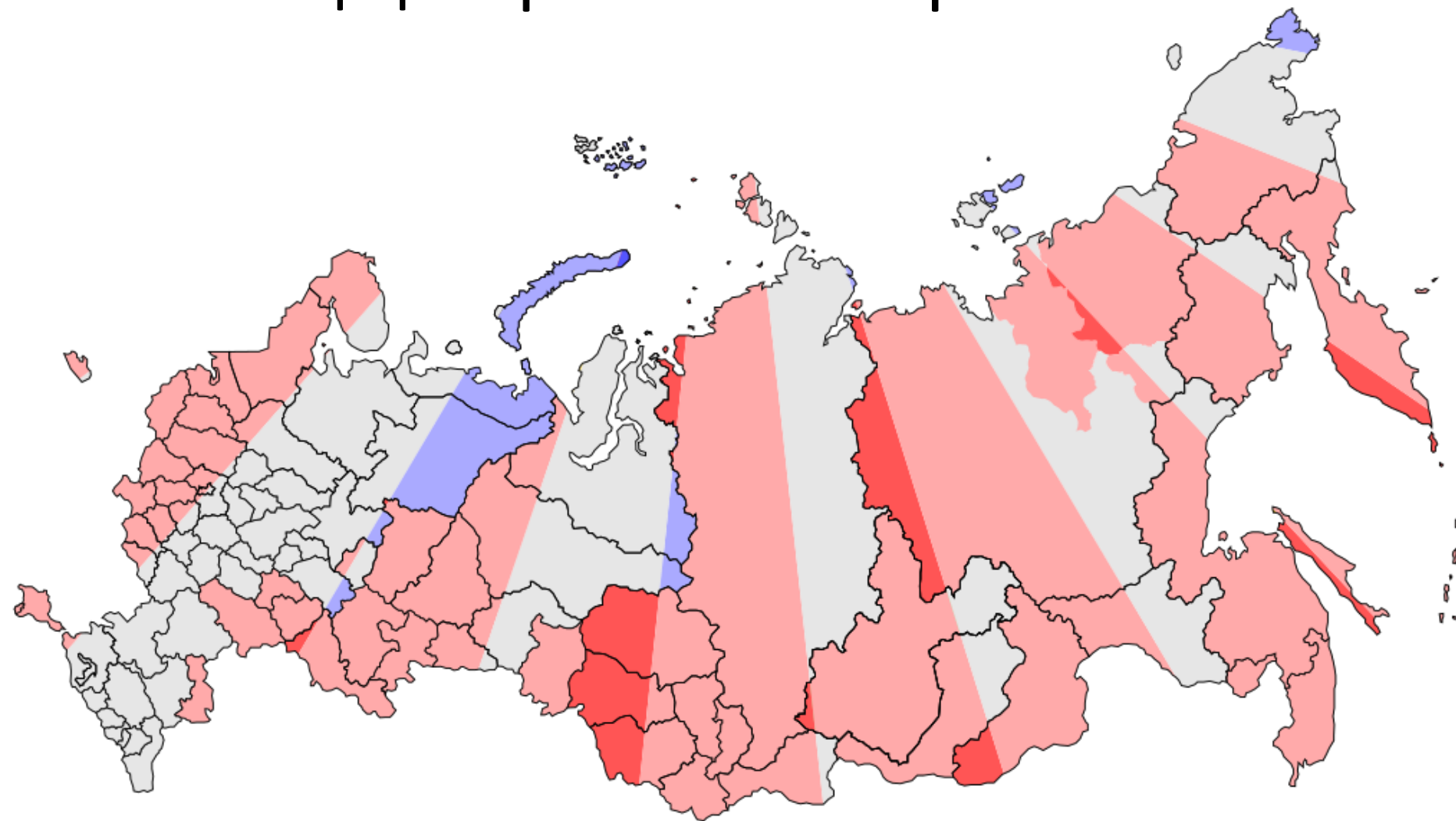


Часовые пояса



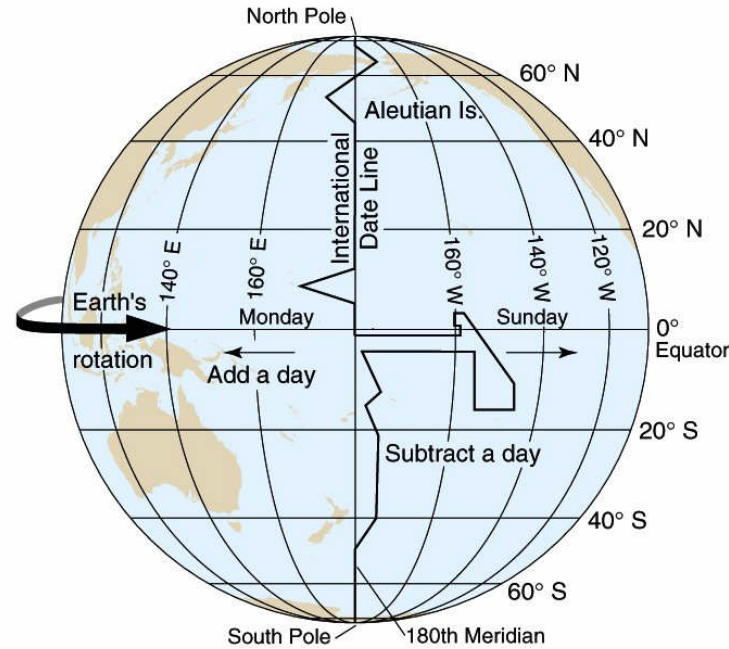
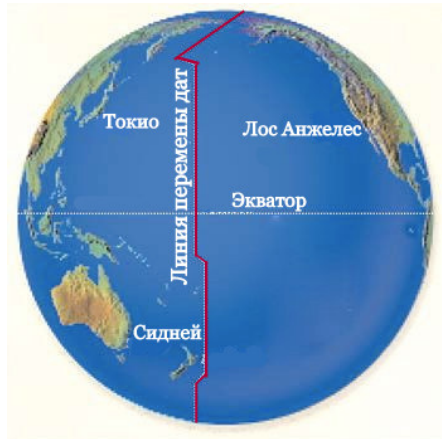
$$LT = UTC + n$$

Декретное время

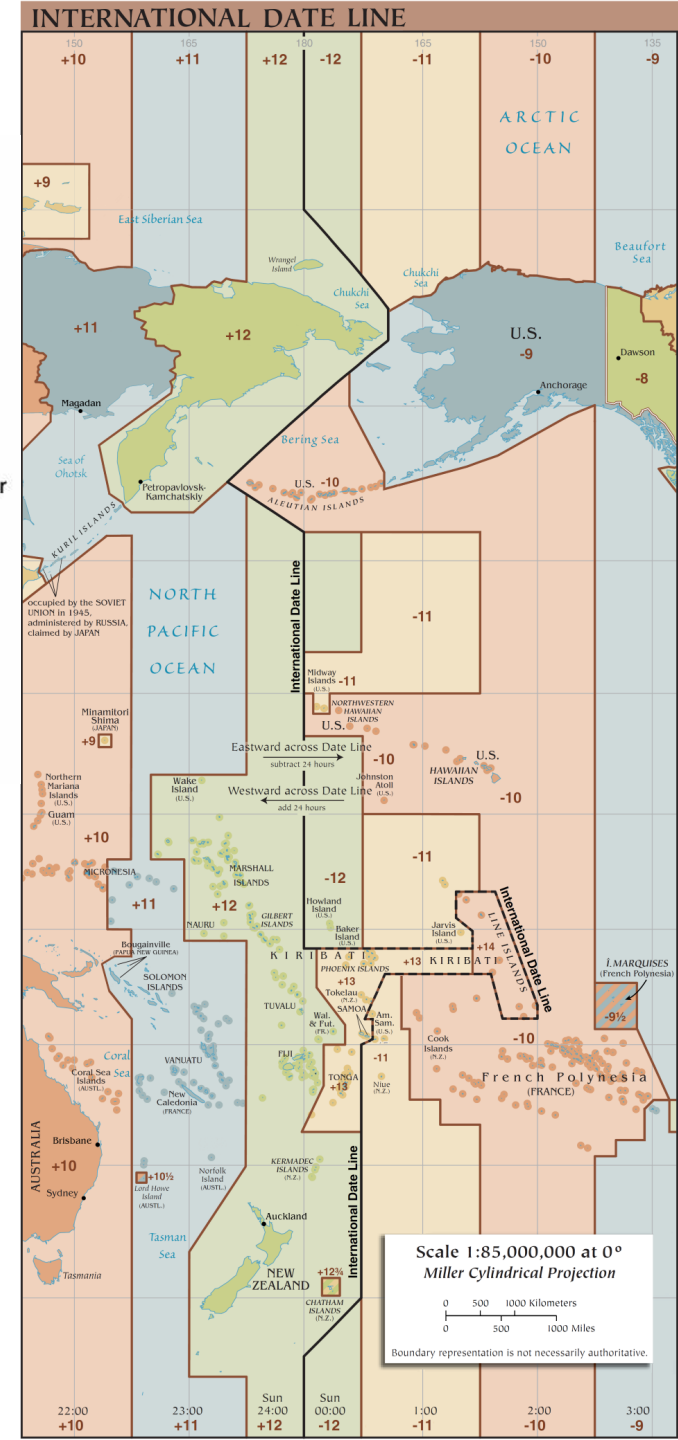
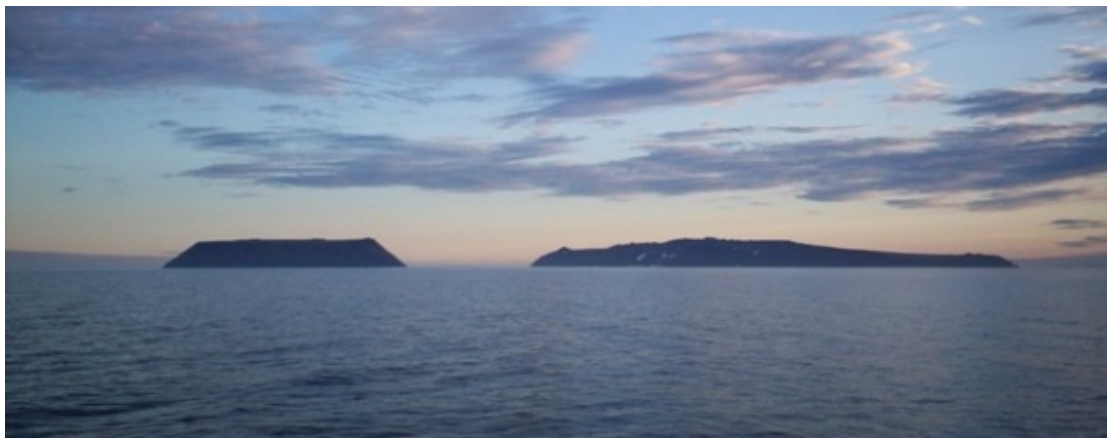


$$LT = UTC + n + D$$

Линия перемены дат

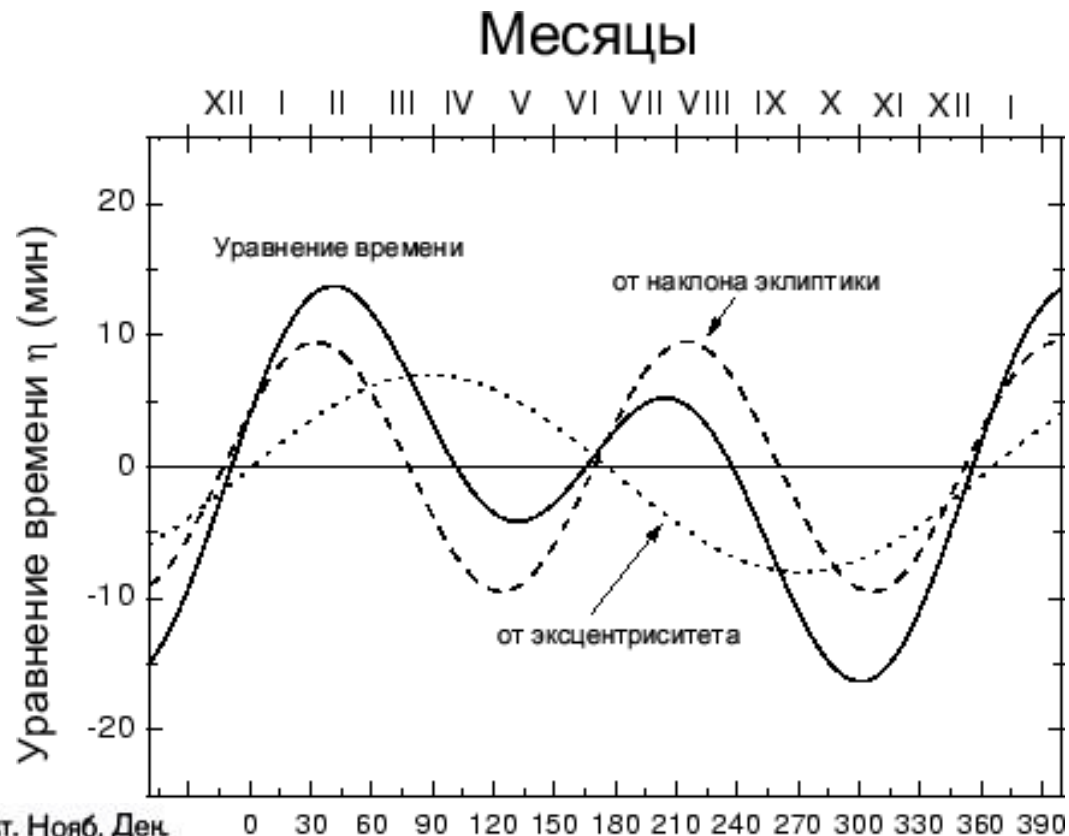


- **Линия перемены даты** - условная линия на поверхности земного шара, проходящая от полюса до полюса, по разные стороны которой местное время отличается на сутки (или почти на сутки).



Движение Солнца

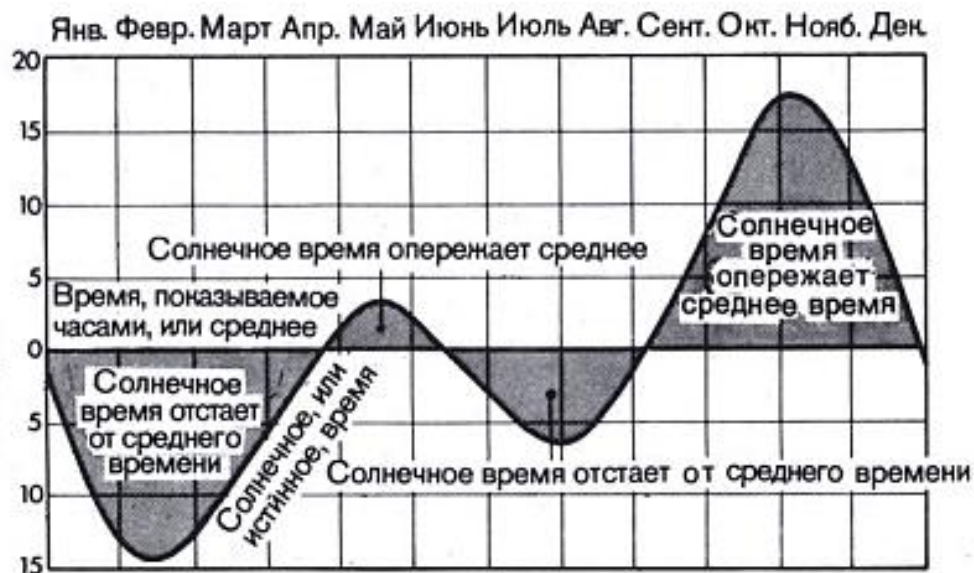
- Неравномерное
- Проекция на небесный экватор
- Эллиптичность орбиты



Дни года

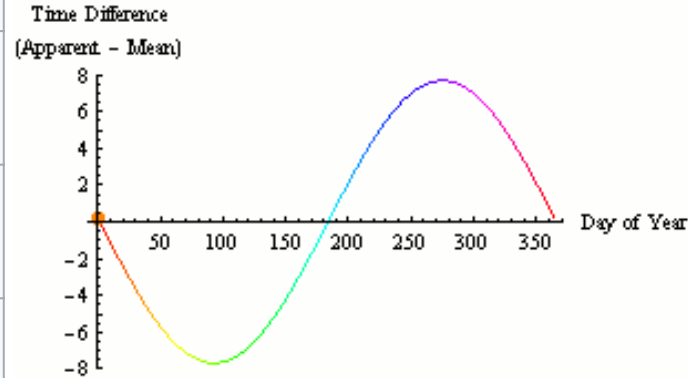
уравнение времени определяется как разность часовых углов среднего экваториального солнца и истинного солнца

$$\eta = MST - TST$$

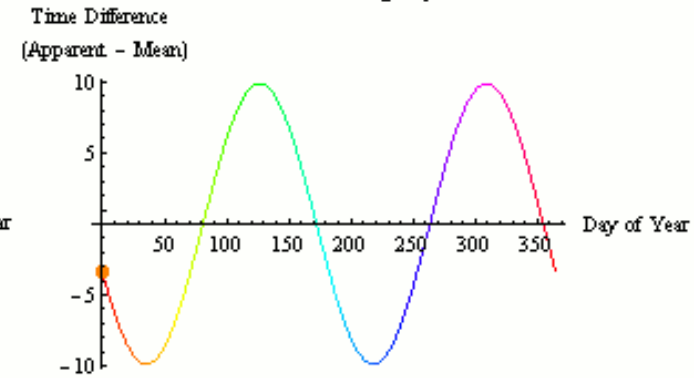


Уравнение времени

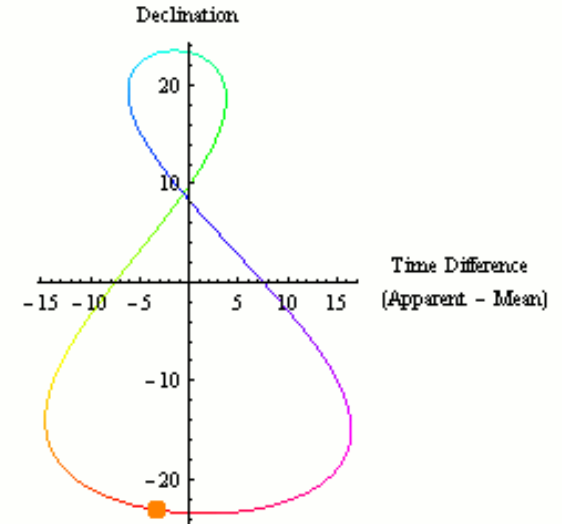
Effect of Orbit Eccentricity



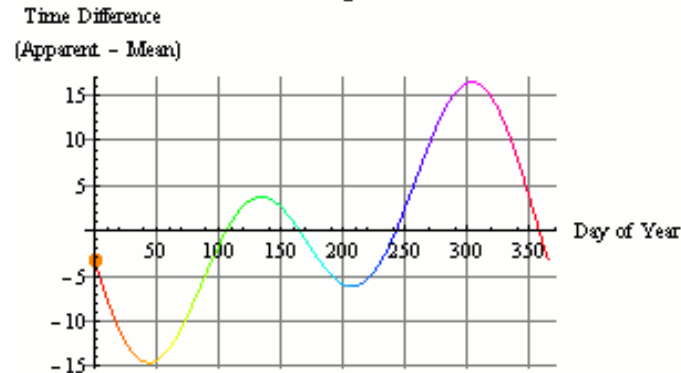
Effect of Obliquity



Sun Position Trace (Analemma)

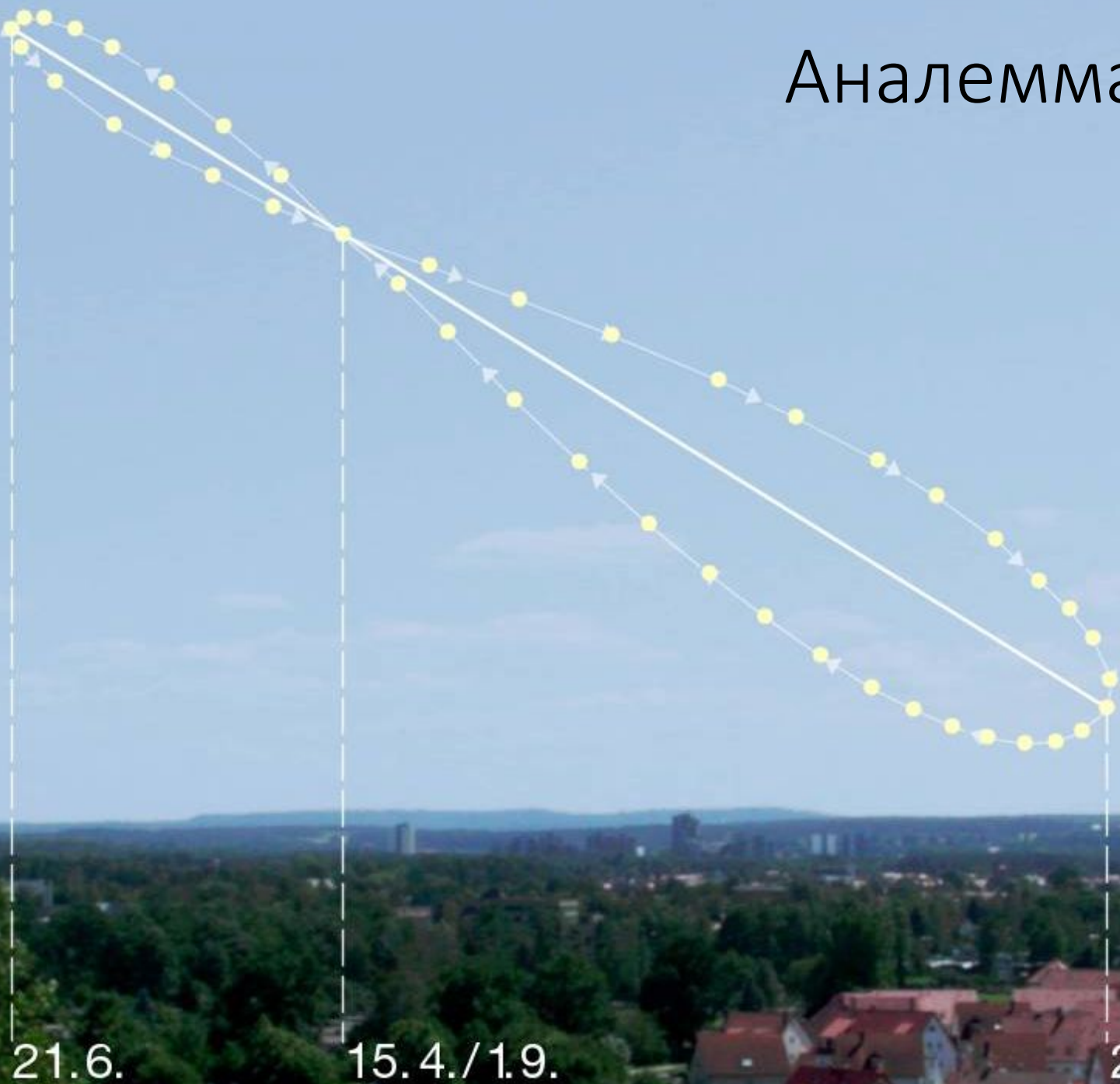


Combined Effects (Equation of Time)



Точка	Значение	Дата
Мин.	-14 м 15 с	11.02
0	0 м 0 с	15.04
Макс.	+3 м 41 с	14.05
0	0 м 0 с	13.06
Мин.	-6 м 30 с	26.07
0	0 м 0 с	01.09
Макс.	+16 м 25 с	03.11
0	0 м 0 с	25.12

Аналемма



Звездное небо

$23^{\text{h}} 56^{\text{m}} - 360^{\circ}$

$1^{\text{h}} \sim 15^{\circ}$

$4^{\text{m}} \sim 1^{\circ}$

Солнце

$24^{\text{h}} - 360^{\circ}$

$1^{\text{h}} - 15^{\circ}$

$4^{\text{m}} - 1^{\circ}$

Луна

$24,9^{\text{h}} - 360^{\circ}$

$1^{\text{d}} - 13,5^{\circ}$

$1^{\text{h}} - 0,5^{\circ}$

Поворот неба

- Переведите следующие величины в часы минуты и секунды

- А) $85^{\circ}30'57''$

- Б) $164^{\circ}57'14''$

- В) $120^{\circ}56'06''$

- Г) $261^{\circ}10'09''$

- Д) $235^{\circ}14'28''$

- **Ответ:** А) $5^{\text{h}}42^{\text{m}}3,8^{\text{s}}$; Б) $10^{\text{h}}59^{\text{m}}48,9^{\text{s}}$; В) $8^{\text{h}}03^{\text{m}}44,4^{\text{s}}$; Г) $17^{\text{h}}24^{\text{m}}40,6^{\text{s}}$; Д) $15^{\text{h}}40^{\text{m}}57,9^{\text{s}}$.

Задача №23

Задача №24

- Из Новосибирска (+7 к Гринвичскому времени) в 23:50 вылетел самолёт в Москву (+3 к гринвичскому времени). В Москве он приземлился в 00:10. Сколько времени продолжался перелет?
- **Ответ:** 4 часа 20 минут.

Задача №25

- Долгота центра Москвы равна $37^{\circ}37'$. Москва живет по времени UTC+3. Определите, на сколько градусов отстоит от центра Москвы меридиан, для которого среднее солнечное время равно московскому? Западнее или восточнее центра Москвы он располагается.

- **Ответ:** $7^{\circ}23'$, восточнее.



- Какая секунда длится дольше: солнечная или звёздная?

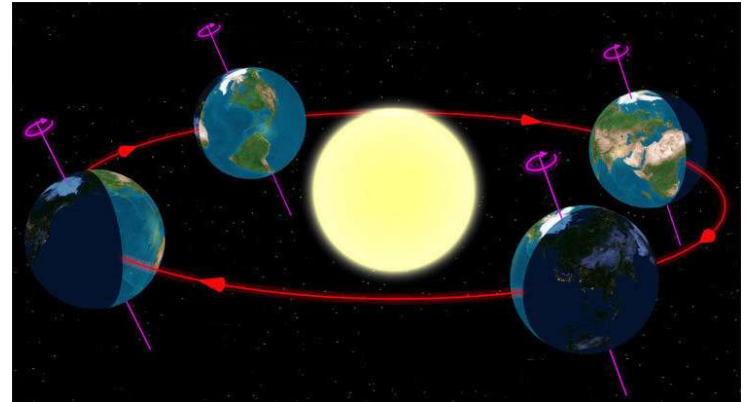
- **Ответ:** солнечная. Звездные сутки 23 часа 56 минут, а солнечный 24 часа

Задача №26

- Две звезды прошли верхнюю кульминацию с интервалом в 6 часов. Чему равна разность их прямых восхождений, если измеренное время а) звёздное, б) солнечное.

- Ответ а) 6 часов б) 6 часов 1 минута

Задача №27

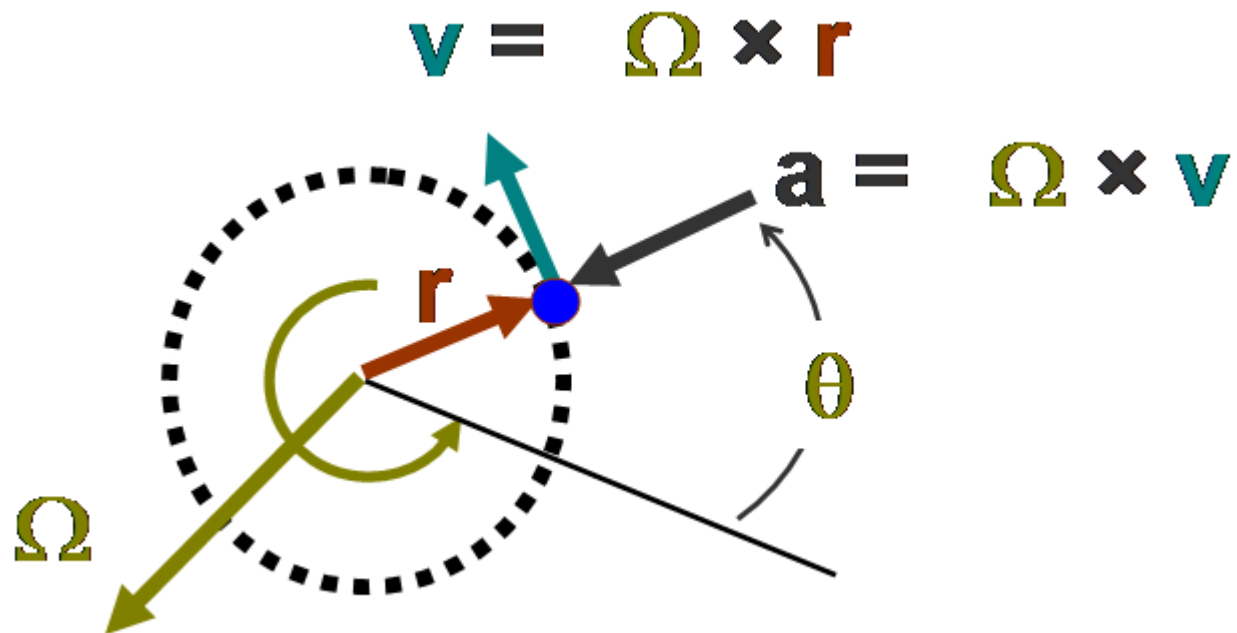


- Сколько полных оборотов вокруг своей оси относительно далёких звёзд совершила Земля за 2016 год?

- **Ответ:** 367, т.к. год високосный

Задача №28

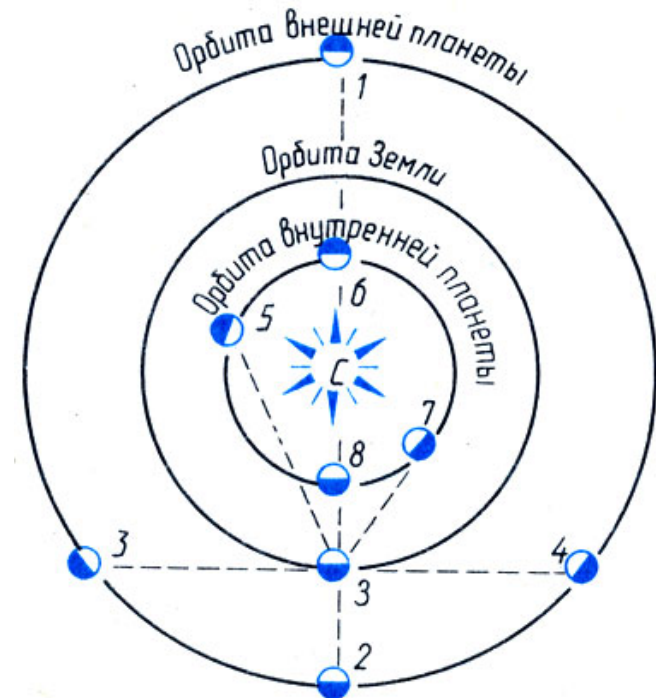
Круговое
движение



Синодический и сидерический периоды



Конфигурации планет



- Чему равно расстояние до Венеры в нижнем соединении? Ответ дайте в километрах и в астрономических единицах.
- **Ответ:** 41,4 млн км; 0,277 а.е.



Задача №29

- Нижнее соединение это момент расположения внутренней планеты между Землей и Солнцем на одной прямой. Следовательно расстояние будет равно
- $\Delta = a_{\oplus} - a_{\text{В}} = 1 - 0.723 = 0.277 \text{ а. е.}$

Задача №30

- Марс находится в западной квадратуре. В какой части небесной сферы он виден в местную полночь?
- **Ответ:** низко над горизонтом (или под горизонтом) на востоке.
- В западной квадратуре означает, что он находится в 90° от Солнца к западу на эклиптике. Следовательно в местную полночь Солнце пересекает небесный меридиан в нижней кульминации, а значит Марс находится вблизи точки востока низко над горизонтом или под горизонтом



Задача №31

- Юпитер вступил в соединение с Луной, находящейся в 1-ой четверти. Чему равно расстояние до Юпитера в этот момент? В какой конфигурации с Солнцем он находится?

- **Ответ:** 5,1 а.е., восточная квадратура.

- Раз Луна находится в первой четверти это значит, что она в 90° восточнее Солнца по эклиптике, следовательно Юпитер находится в восточной квадратуре.

- $$\Delta = \sqrt{a_{\text{Ю}}^2 - a_{\oplus}^2} = \sqrt{5.2^2 - 1} = 5.1 \text{ а. е.}$$



- Венера и Меркурий находятся одновременно в максимальных западных элонгациях, Уран в западной квадратуре, а Сатурн в противостоянии. Расположите планеты в порядке увеличения их видимого углового расстояния от Солнца.

- **Ответ:** Меркурий, Венера, Уран, Сатурн.



Задача №32

- Максимальная западная элонгация Венеры больше чем Меркурия, т.к. Меркурий ближе к Солнцу. Уран в квадратуре следовательно его расстояние от Солнца 90° . И Сатурн в противостоянии значит он максимально удален от Солнца - 180° .

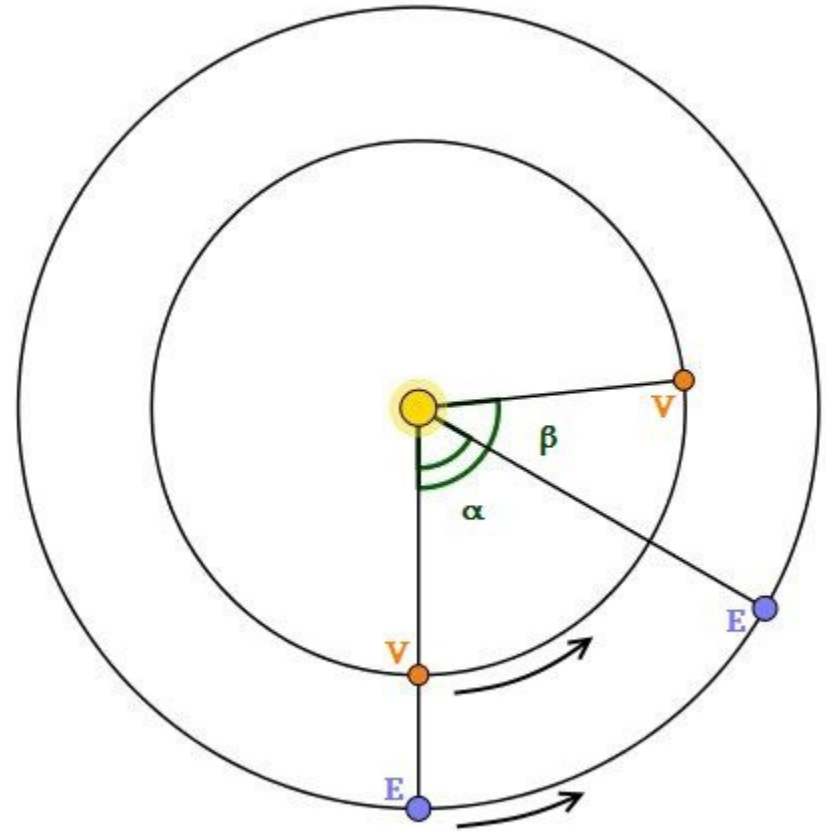
Задача №33

- Чему равен синодический период Юпитера, если его сидерический период равен 11,9 года?
- **Ответ:** 1,09 года.

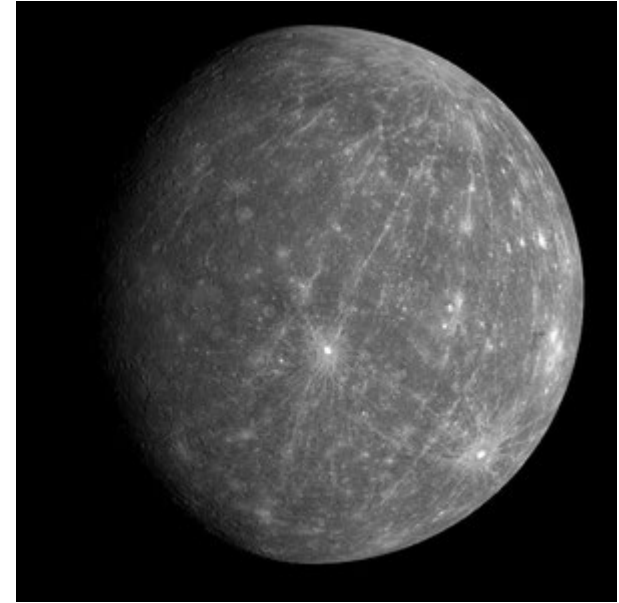
- Воспользуемся формулой синодического периода для внешней планеты:

$$\bullet \frac{1}{S} = \frac{1}{T_{\oplus}} - \frac{1}{T_{\Pi}}$$

$$\bullet \frac{1}{S} = \frac{1}{T_{\oplus}} - \frac{1}{T_{\Pi}} \Rightarrow T_{\text{Юпитера}} = \frac{T_{\oplus} \cdot T_{\text{Юпитера}}}{T_{\text{Юпитера}} - T_{\oplus}} = \frac{1 \cdot 11.9}{11.9 - 1} \approx 1.09 \text{ года}$$



Задача №34



- Один оборот вокруг своей оси относительно звёзд Меркурий совершает за 58,6 суток, а вокруг Солнца – за 88 суток. Сколько времени продолжаются на Меркурии солнечные сутки (период обращения вокруг оси относительно Солнца)? Вращение Меркурия вокруг оси прямое.

- **Ответ:** 175 суток.

- Здесь также можно воспользоваться формулой синодического периода поскольку все вращается в одну сторону, то из угловой скорости осевого вращения нужно вычесть орбитальную:

- $$\frac{1}{P_{\text{Сол.Сут}}} = \frac{1}{P} - \frac{1}{T_{\text{Планеты}}}$$

- $$\frac{1}{P_{\text{Сол.Сут}}} = \frac{1}{P} - \frac{1}{T_{\text{Меркурия}}} \Rightarrow P_{\text{Сол.Сут}} = \frac{P \cdot T_{\text{Меркурия}}}{T_{\text{Меркурия}} - P} = \frac{58.6 \cdot 88}{88 - 58.6} \approx 175 \text{ суток}$$

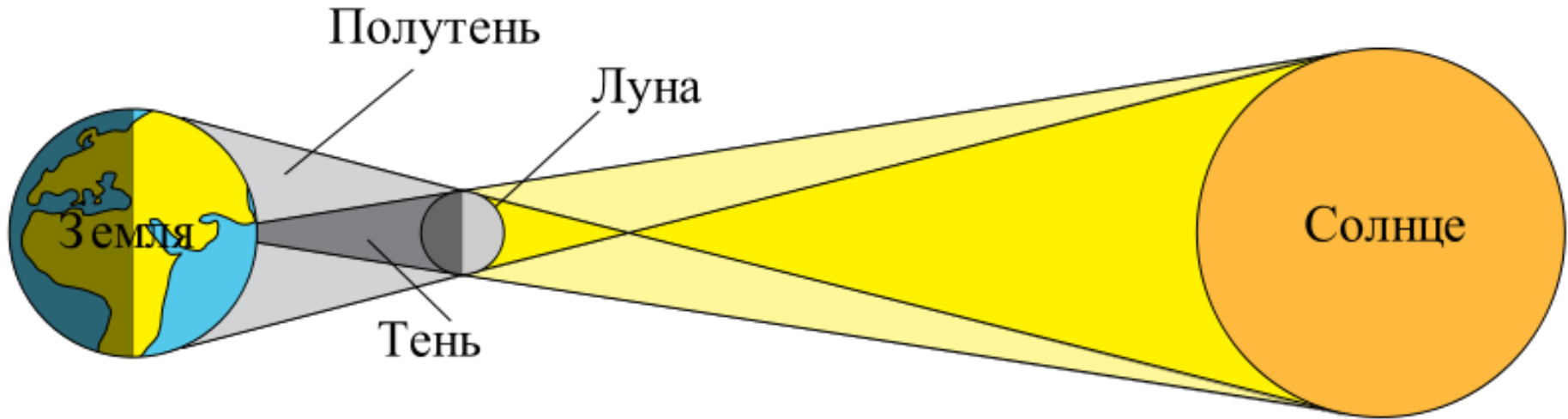
Задача №35

- Астероид, движущийся по круговой орбите, имеет синодический период 150 суток. Определите его сидерический период в годах.
- Ответ:** 0,29 года.
- Поскольку не сказано астероид ближе ли или дальше к Солнцу чем Земля следовательно будет два решения. Случай «внешнего» астероида:
 - $\frac{1}{S} = \frac{1}{T_{\oplus}} - \frac{1}{T_A}$
 - $\frac{1}{T_A} = \frac{1}{T_{\oplus}} - \frac{1}{S} \Rightarrow T_A = \frac{S \cdot T_A}{S - T_{\oplus}} = \frac{365.2425 \cdot 150}{150 - 365.2425} \approx -0.7 \text{ года}$
 - Ответ показывает, что такого астероида не может быть, если он вращается в ту же сторону, что и Земля по орбите.
 - «Внутренний» астероид:
 - $\frac{1}{S} = \frac{1}{T_A} - \frac{1}{T_{\oplus}}$
 - $\frac{1}{T_A} = \frac{1}{T_{\oplus}} + \frac{1}{S} \Rightarrow T_A = \frac{S \cdot T_A}{T_{\oplus} + S} = \frac{365.2425 \cdot 150}{365.2425 + 150} \approx 0.29 \text{ года}$

Задача №36

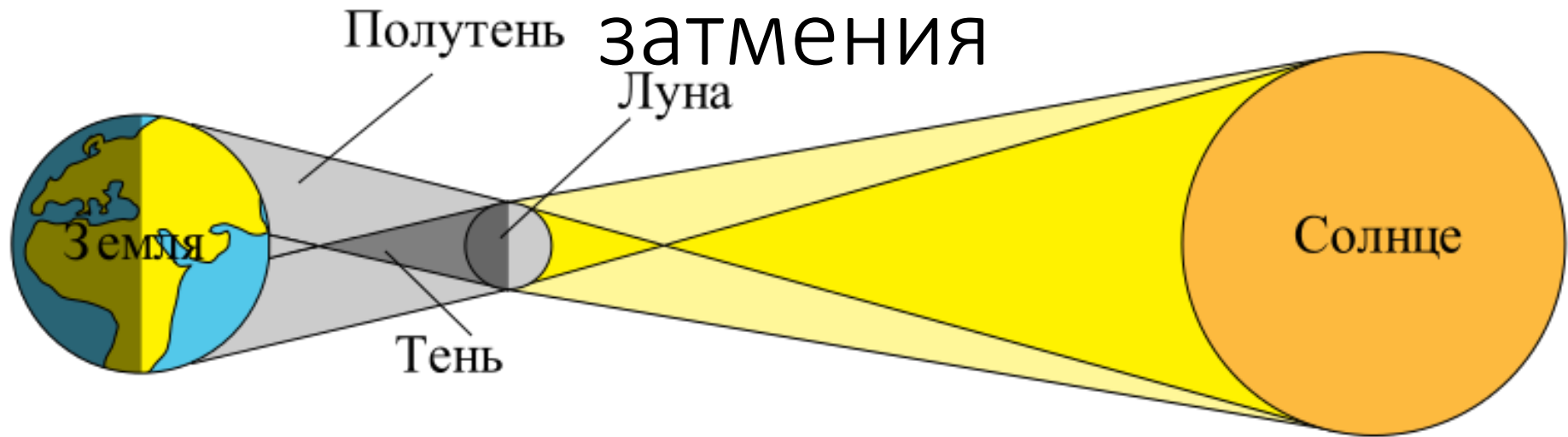
- Астероид, движущийся по круговой орбите, имеет синодический период 400 суток. Определить его сидерический период в годах.
- **Ответ:** 11,5 года или 0,5 года.
- Поскольку не сказано астероид ближе ли или дальше к Солнцу чем Земля следовательно будет два решения. Случай «внешнего» астероида:
 - $\frac{1}{S} = \frac{1}{T_{\oplus}} - \frac{1}{T_A}$
 - $\frac{1}{T_A} = \frac{1}{T_{\oplus}} - \frac{1}{S} \Rightarrow T_A = \frac{S \cdot T_A}{S - T_{\oplus}} = \frac{365.2425 \cdot 400}{400 - 365.2425} \approx 4203.3 \approx 11.5 \text{ года}$
 - Ответ показывает, что такого астероида не может быть, если он вращается в ту же сторону, что и Земля по орбите.
- «Внутренний» астероид:
 - $\frac{1}{S} = \frac{1}{T_A} - \frac{1}{T_{\oplus}}$
 - $\frac{1}{T_A} = \frac{1}{T_{\oplus}} + \frac{1}{S} \Rightarrow T_A = \frac{S \cdot T_A}{T_{\oplus} + S} = \frac{365.2425 \cdot 400}{365.2425 + 400} \approx 190.9 \approx 0.5 \text{ года}$

Полные солнечные затмения



- Видны в разное время для разных географических пунктов на Земле
- Полоса затмения узкая
- Частные фазы видны с большей площади на Земле
- Всегда, есть частные фазы

Кольцеобразные солнечные



- Видны в разное время для разных географических пунктов на Земле
- Полоса затмения узкая
- Есть области где затмение не видно.
- Бывают гибридные затмения

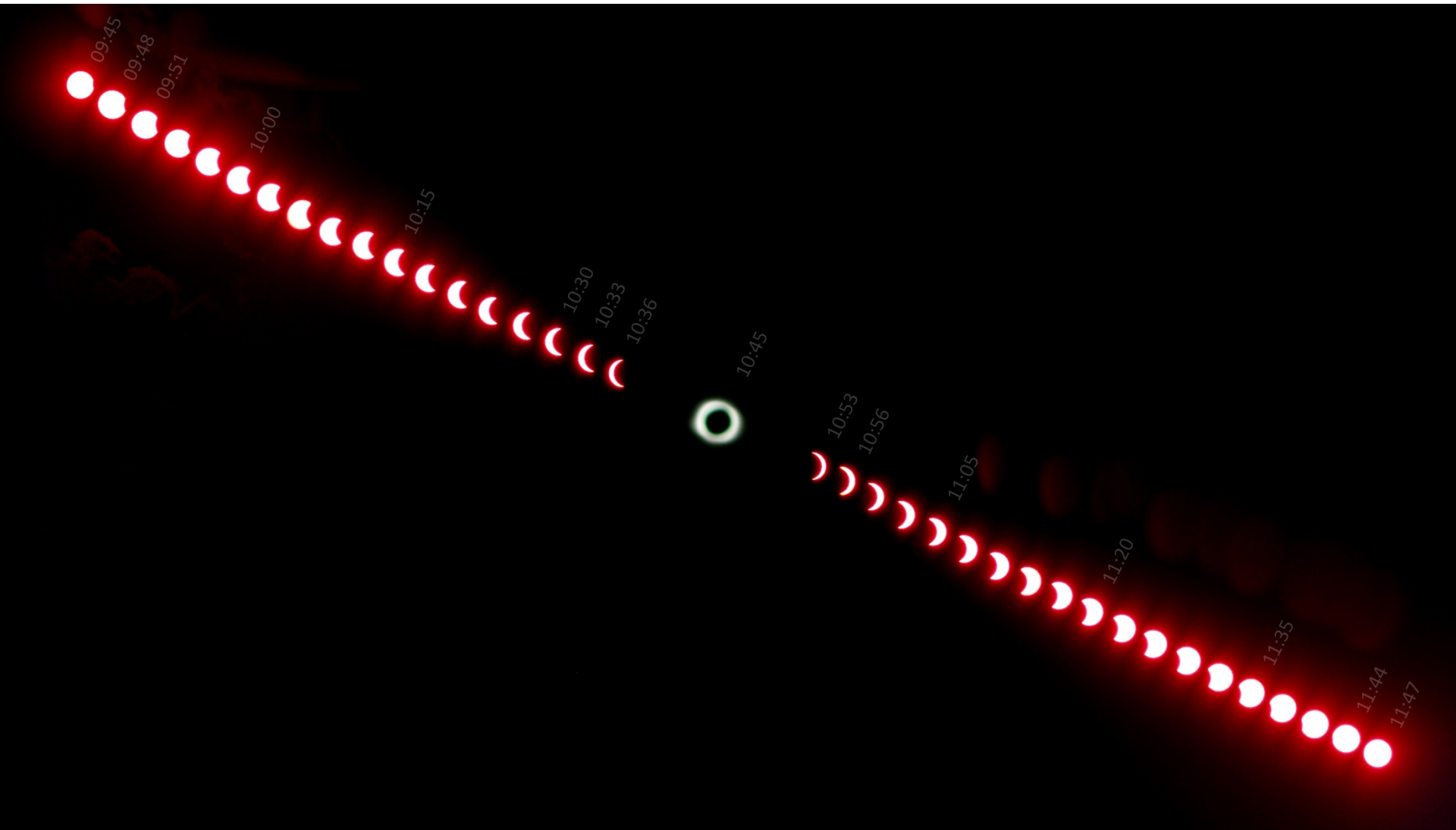
Лунная тень на Земле





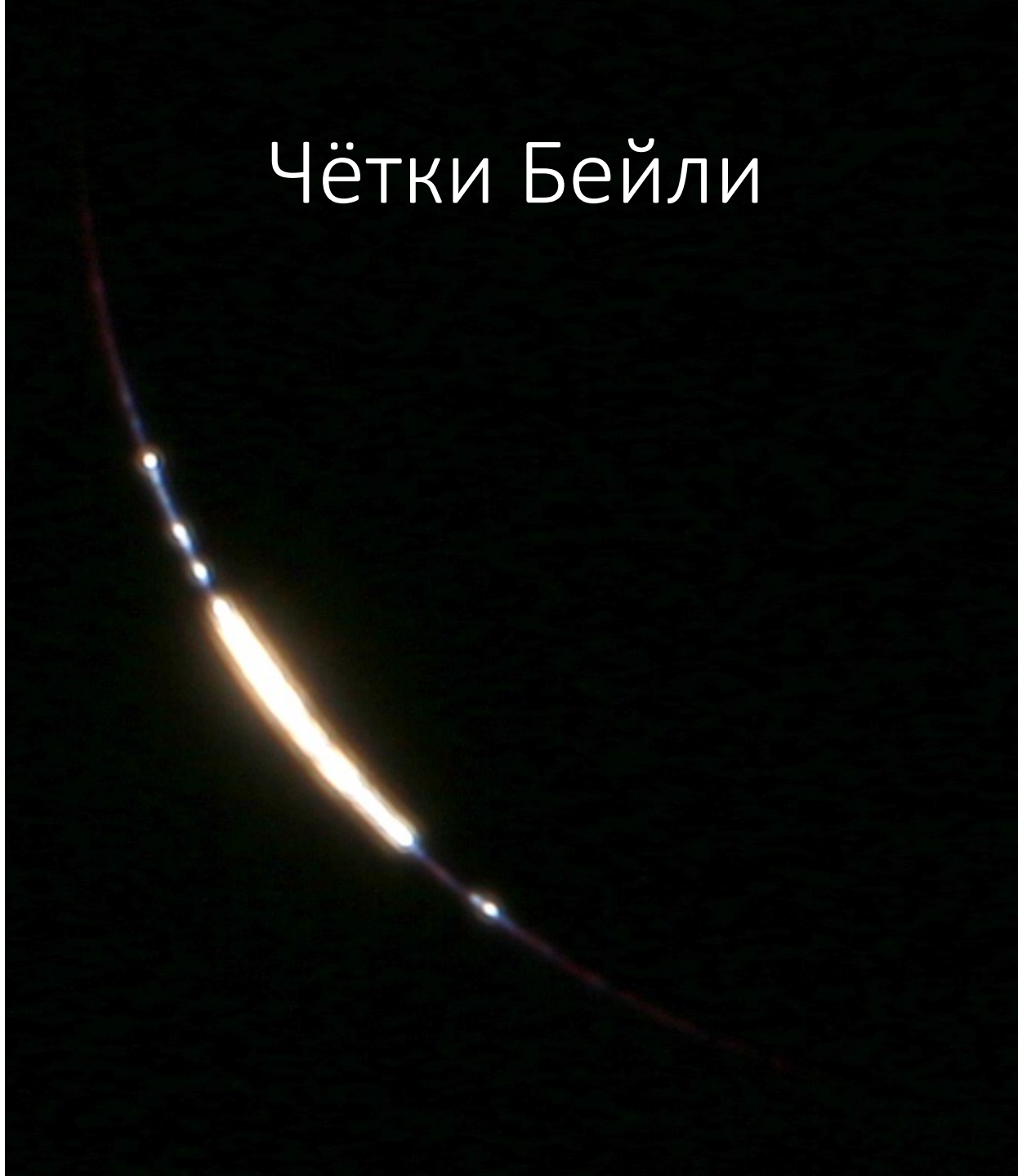
Полное затмение с Земли

Полное время затмения





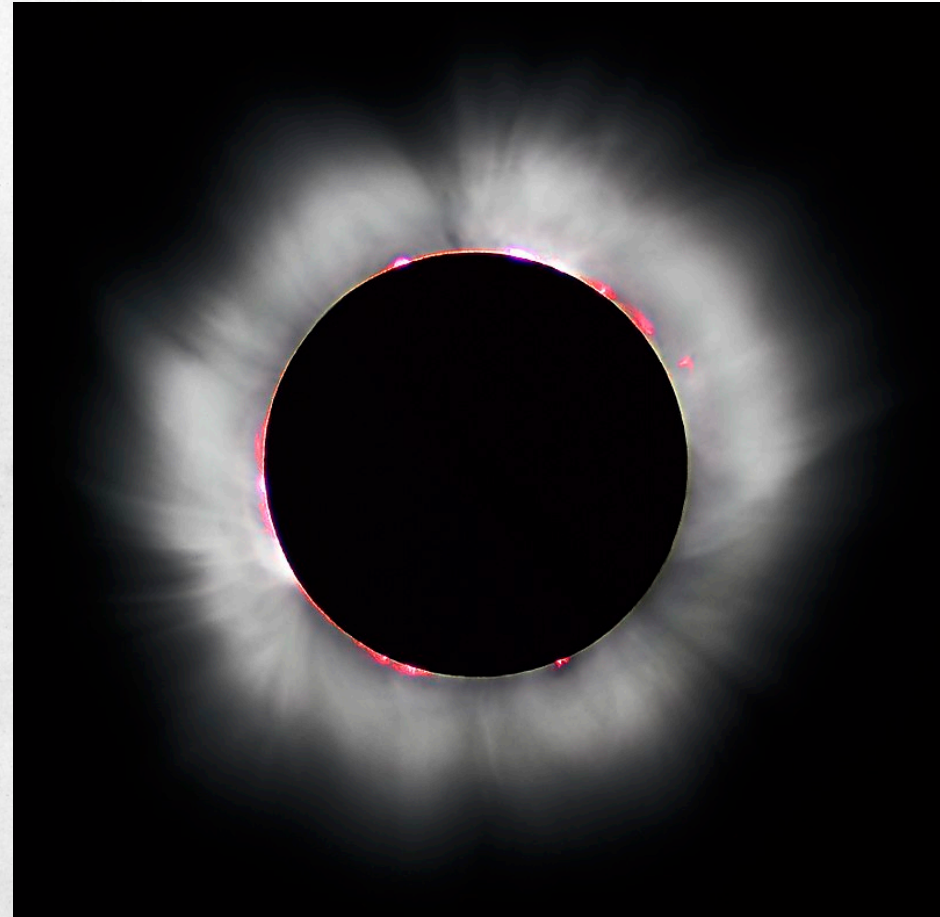
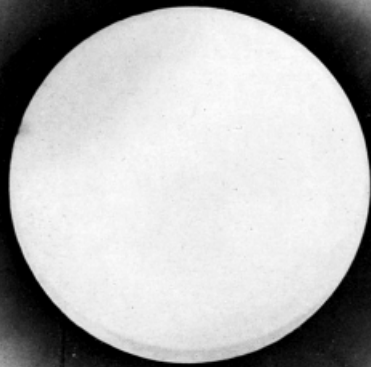
Чётки Бейли



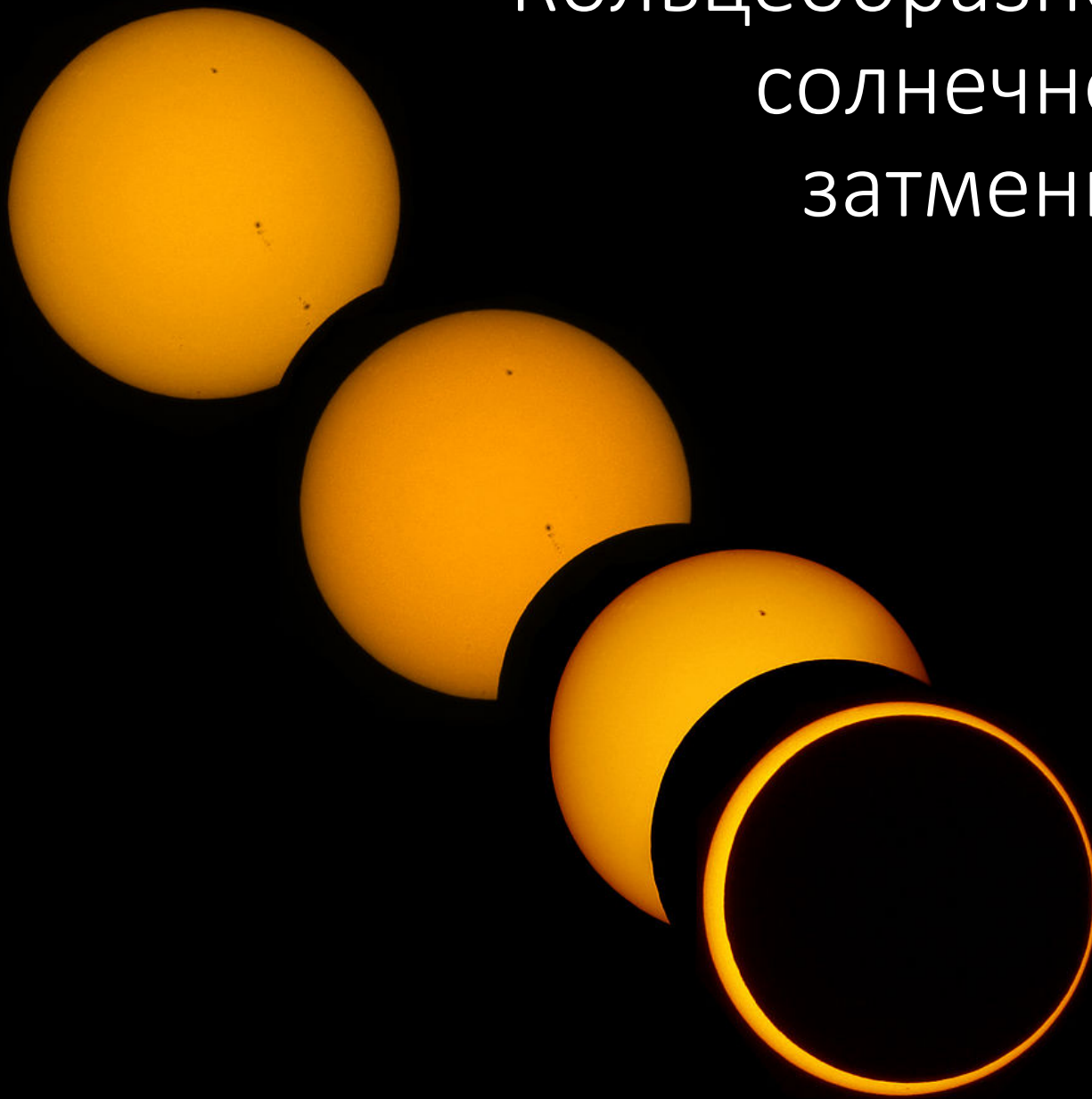
Путь тени Луны по Земле



Полное солнечное затмение

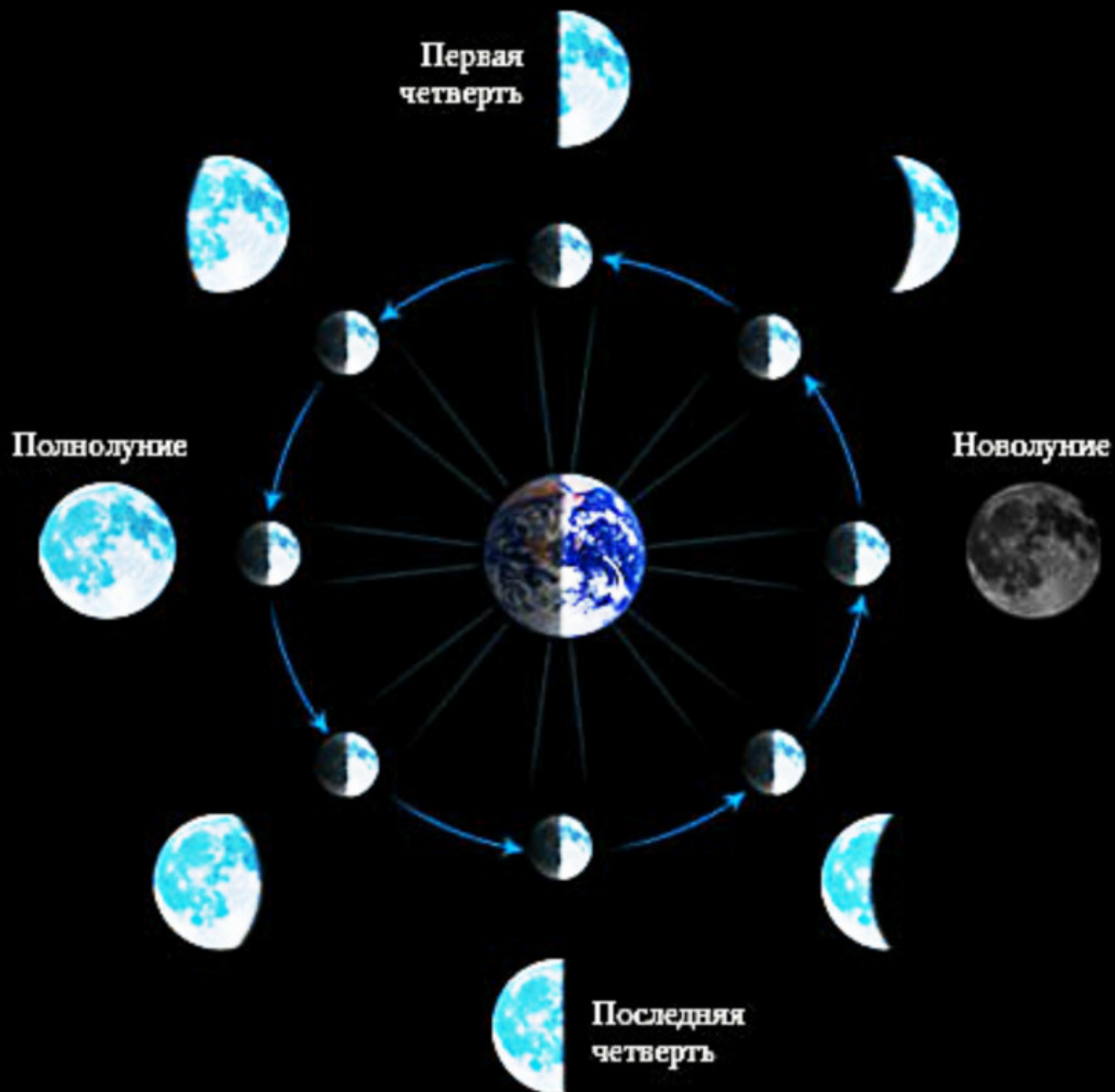


Кольцеобразное солнечное затмение

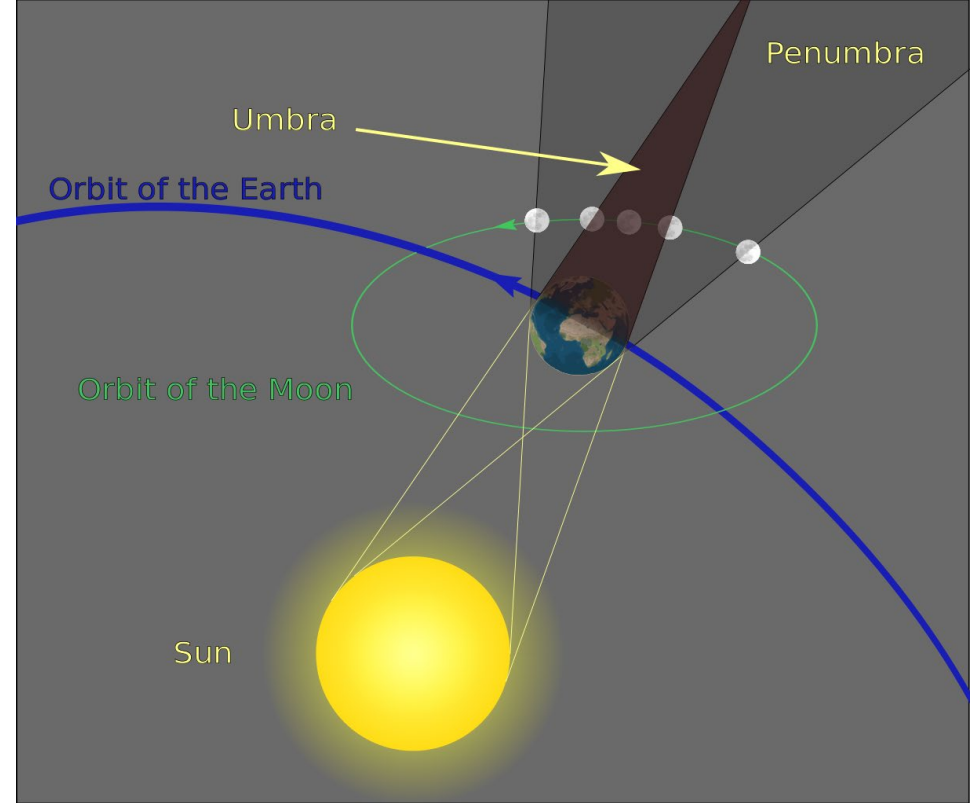
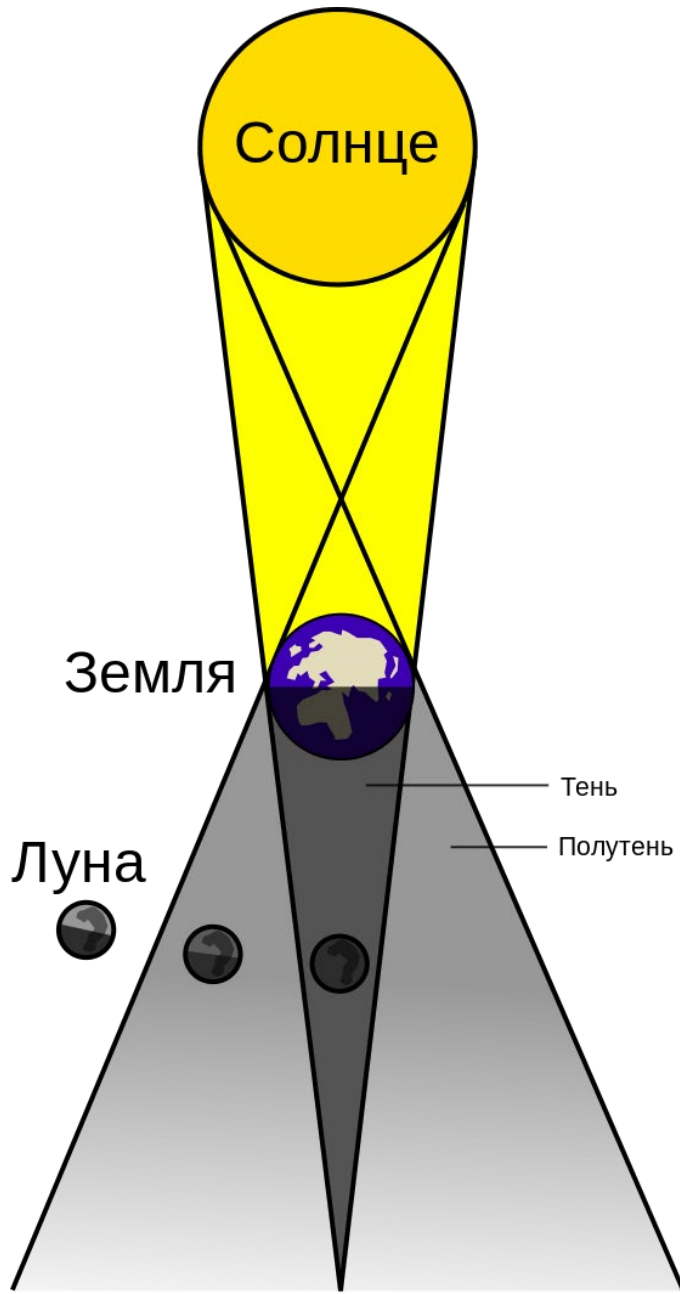


Частное солнечное затмение



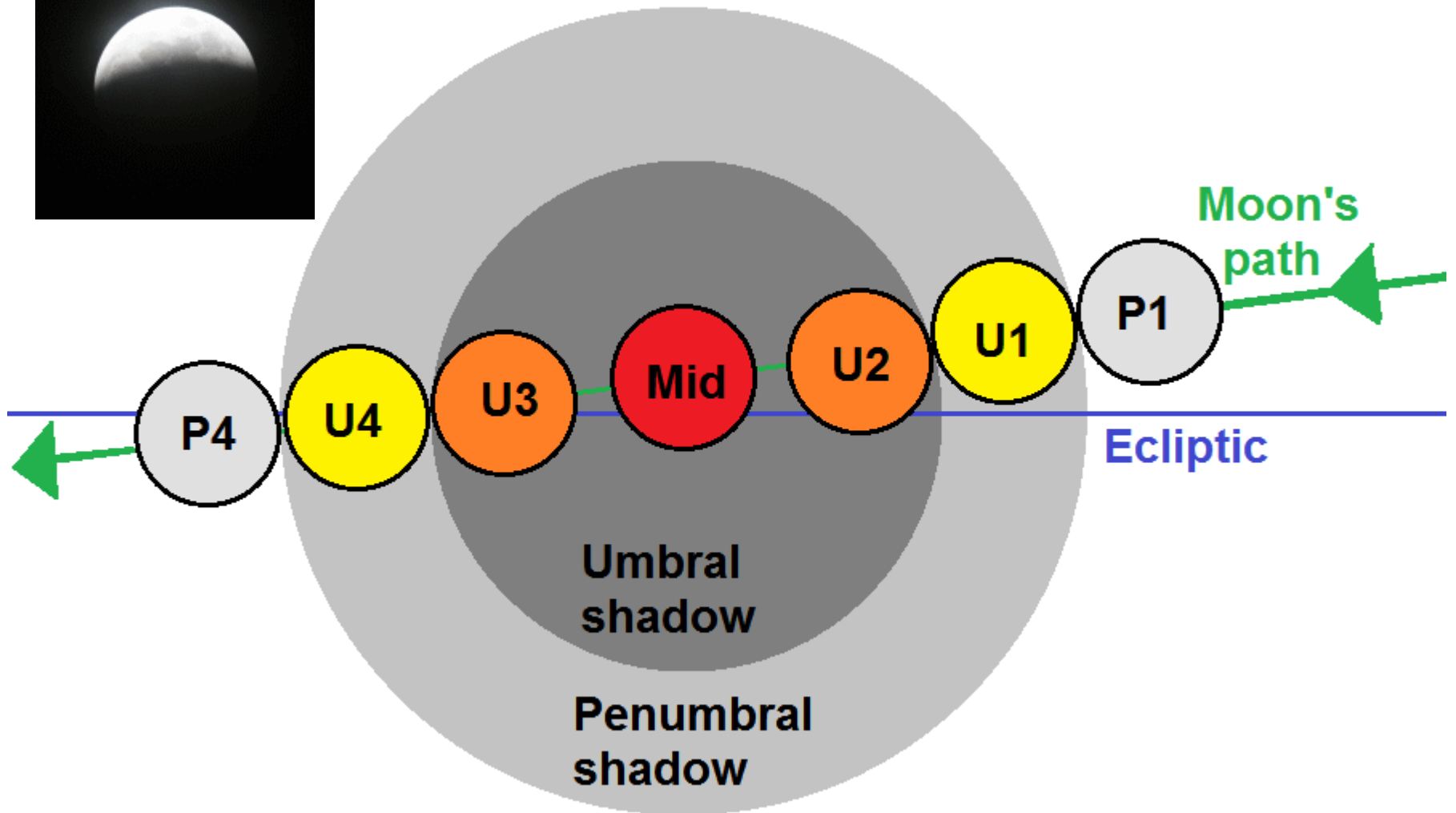


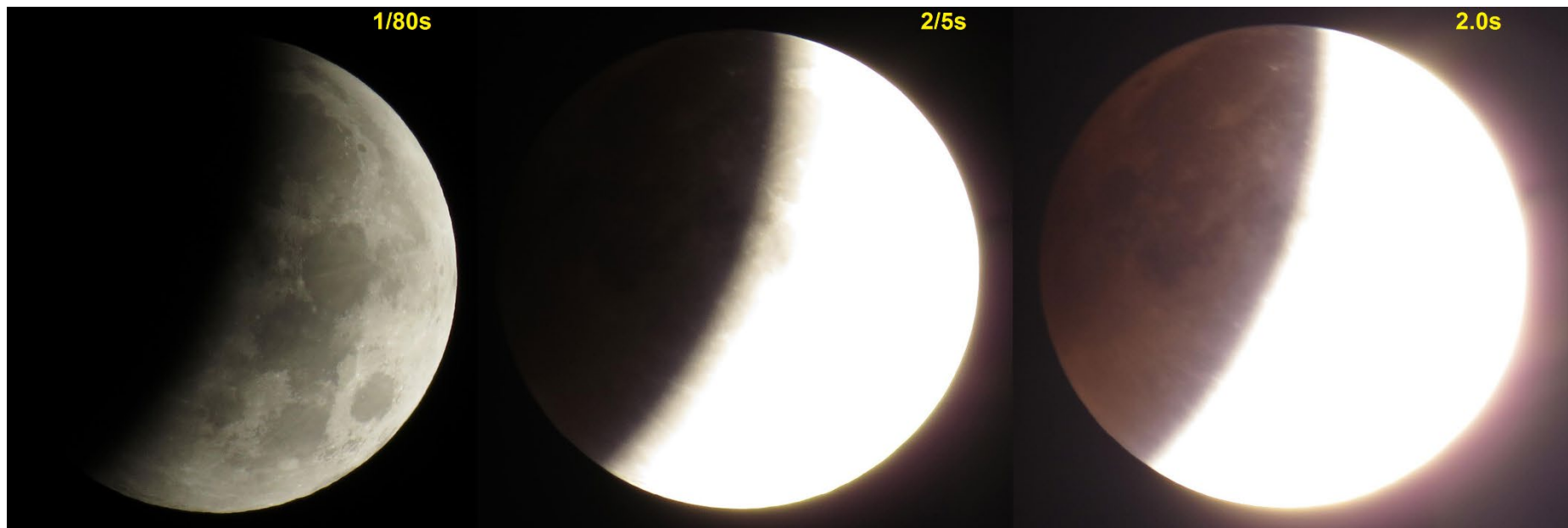
Лунные затмения



- Видно в одно и тоже время для разных географических пунктов на Земле
- Видно с ночного полушария Земли
- Теневые, частные теневые и частные полутеневые затмения

Фазы и моменты Лунного затмения





15.04.2015

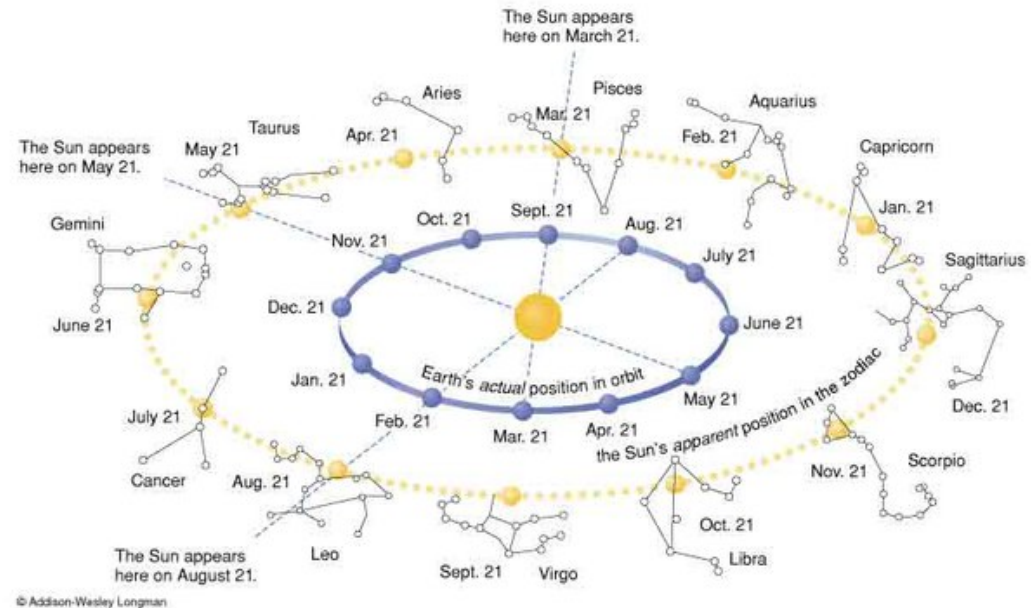
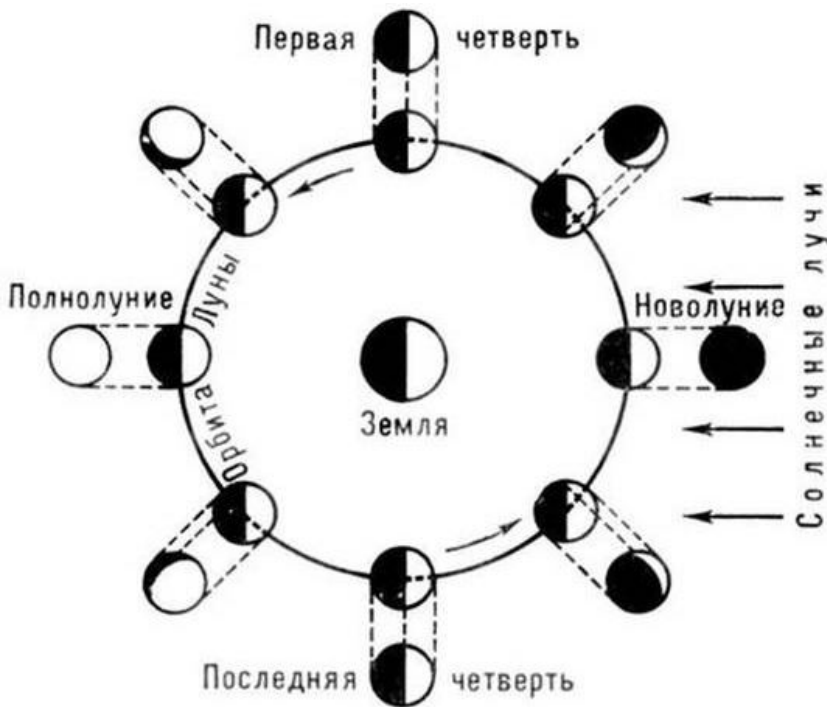
8.10.2014

27.09.2015

- В день весеннего равноденствия произошло лунное затмение. В каком созвездии находилась в это время Луна?

Задача №37

- **Ответ:** Дева.

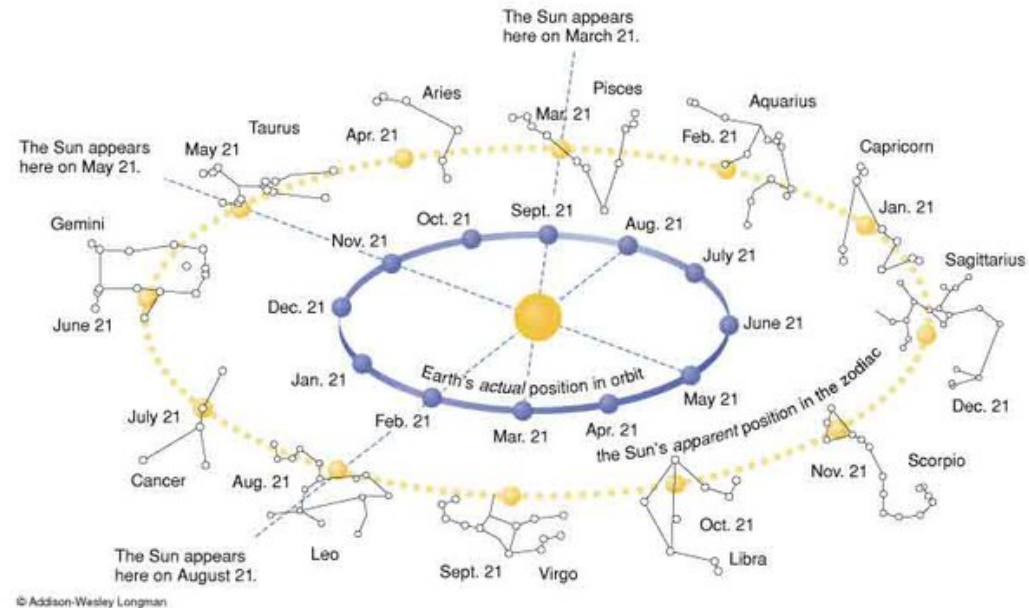
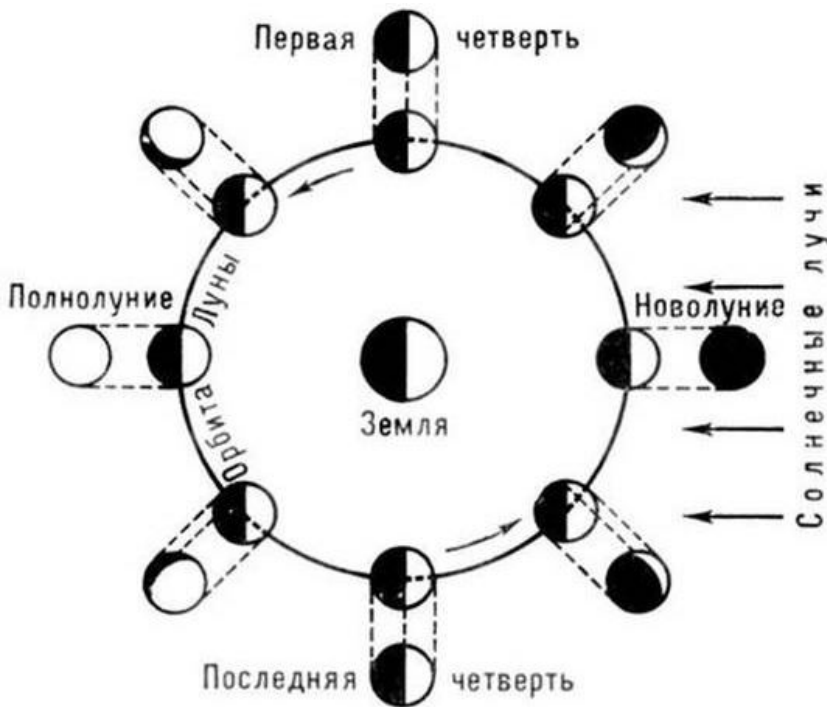


- Лунные затмения происходят только в полнолуние. Следовательно Луна находилась в точке осеннего равноденствия в созвездии Девы

- Через две недели после полнолуния произошло затмение. Какое это было затмение: солнечное или лунное?

Задача №38

- Ответ:** солнечное.

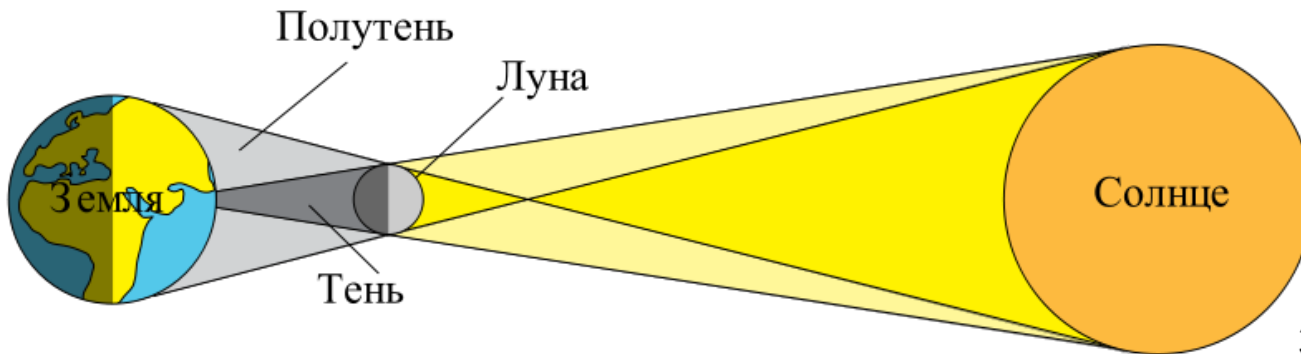


- Две недели это половина синодического периода Луны. В этот момент Луна будет в фазе новолуния следовательно затмение будет Солнечным

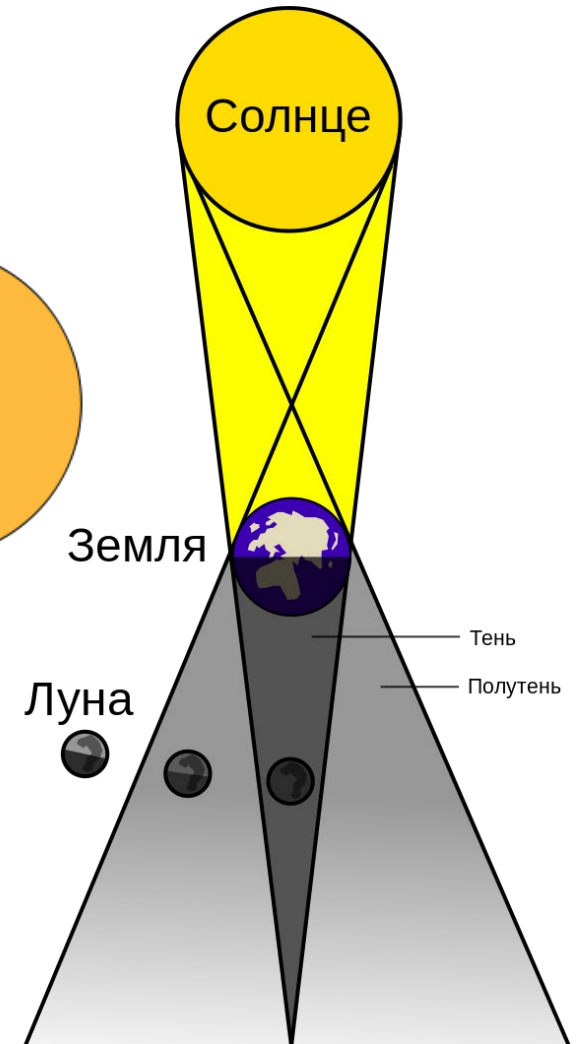
- Какие затмения происходят чаще: полные лунные или частные солнечные?

Задача №39

- **Ответ:** Чаще происходят частные солнечные затмения.



- Часть орбиты Луны, где возможны частные солнечные затмения длиннее, чем часть орбиты Луны где она попадает в тень Земли



Задача №40

- С какой угловой скоростью Луна движется через земную полутень? Лунную и земную орбиты считать круговыми. Ответ дайте в угловых минутах в час.
- **Ответ:** 30,5'/час.
- Определим угловую скорость движения Луны относительно далеких звезд это будет:
- $$\omega = \frac{2\pi}{S} = \frac{360^\circ \cdot 60'}{29.5 \cdot 24} = 30.5'$$
- Синодический период необходимо брать поскольку Луна движется вместе с Землей относительно далеких звезд.

Задача №41

- Найдите среди представленных фотографий изображения лунного затмения.

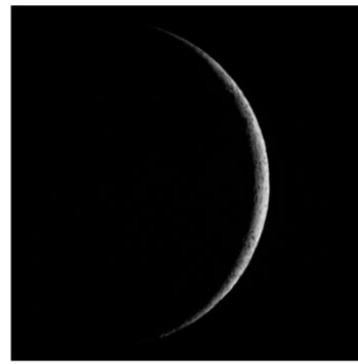
• **Ответ:** 1, 2, 6



1



2



3



4



5



6

- Поскольку размер тени Земли на орбите Луны больше Луны в примерно в 2.5 раза. То круг тени больше диаметром чем диск Луны.
- Терминатор начинается на противоположных частях диска. И всегда является частью эллипса. За исключением первой и последней четверти.
- Так как Лунные затмения происходят только в полнолуние, то теней на Луне от гор видно не должно быть.

Спасибо за внимание!

