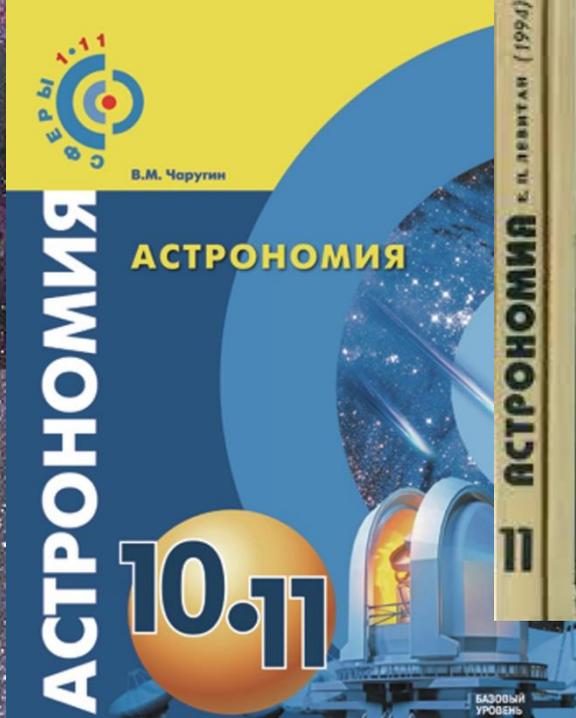
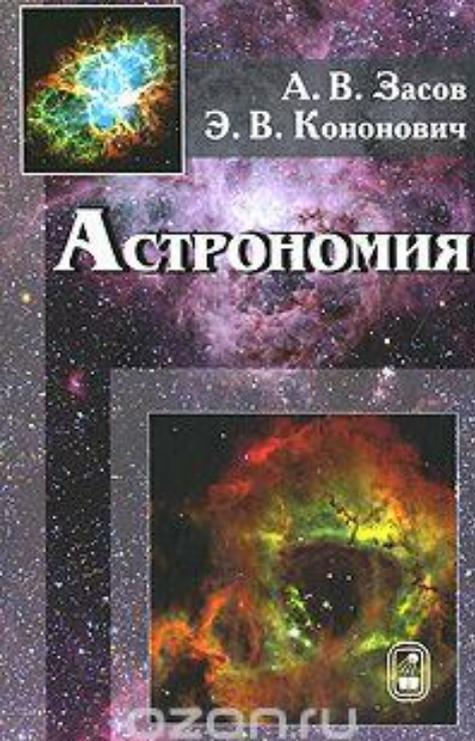


Августовская педагогическая конференция
«Успех ребёнка – успех педагога»
25 августа 2023 года

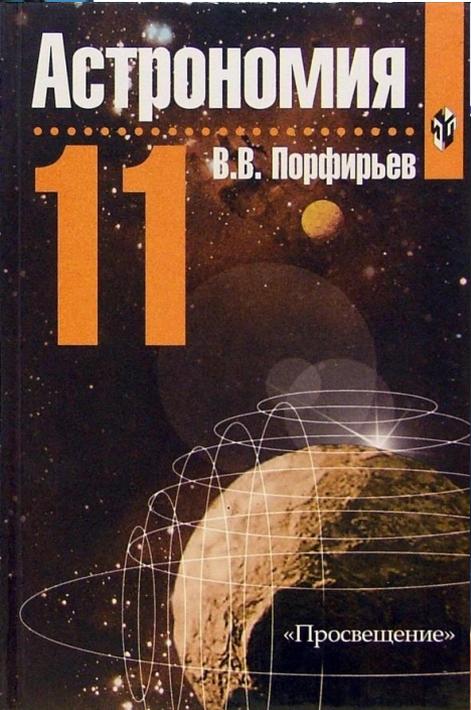
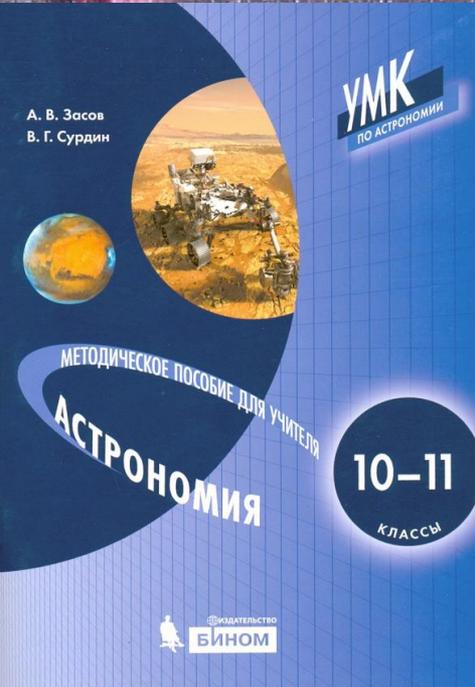
Подготовка по астрономии, ресурсы, акценты, МОТИВАЦИЯ

председатель РПМК ВсОШ по астрономии,
методист куратор-предмета ОЦ «Взлёт»,
Кузнецов М.В.





Учебники



СБОРНИК ЗАДАЧ
И ПРАКТИЧЕСКИХ
УПРАЖНЕНИЙ
ПО АСТРОНОМИИ

Е. В. Кондакова

АСТРОНОМИЯ:
ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ,
ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

Практикум



ФЛИНТА

ШЕДЕВРЫ
НАУЧНО-ПОПУЛЯРНОЙ
ЛИТЕРАТУРЫ
Выпуск • 259
АСТРОНОМИЯ



Н. П. Каменщиков

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ
ЗАДАЧИ

Более
400
задач

- Астрономия в литературных произведениях
- Небесная сфера
- Поворот круга
- Небесная планисфера
- Система Коперника
- Календарь
- Поясное время
- Религия и астрономия
- Формулы
- Различные задачи

Книга для школьников...
И НЕ ТОЛЬКО!



URSS

Задачи
по астрономии
и астрофизике



Под ред. В. Игнатьева

1

В. Г. Сурдин

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ

**ЗАДАЧИ
С РЕШЕНИЯМИ**

URSS

ozon.ru

Дополнительные материалы к учебнику размещены в электронном каталоге издательства «Просвещение» на интернет-ресурсе www.prosv.ru

Рабочие программы

- Поурочные методические рекомендации
- Тетради-практикумы
- Тетради-тренажёр
- Тетради-экзаменатор

ISBN 978-5-09-08093-4
9 785090 530694

О. С. Угольников

АСТРОНОМИЯ

Задачник

10-11

Просвещение

www.prosv.ru

БАЗОВЫЙ УРОВЕНЬ

А. М. Татарников
О. С. Угольников
Е. Н. Фадеев

**Сборник задач
и упражнений**

АСТРОНОМИЯ

10-11

БАЗОВЫЙ
УРОВЕНЬ

Астрономические соревнования

- Олимпиады (ВсОШ, Олимпиада им. В.Я. Струве, Московская Астрономическая олимпиада, Санкт-Петербургская Астрономическая олимпиада)
- Конкурсы (Эра Фантастики)
- Конференции (Вековские чтения, Шаг в будущее)
- Космический патруль

ВСОШ

**АСТРОНОМИЯ
ВСЕРОССИЙСКАЯ
ОЛИМПИАДА
ШКОЛЬНИКОВ**



ВсОШ по Астрономии

30/03—4/04
АСТРОНОМИЯ

**ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ
ЭТАП**



- Проводится с 1994 года
- Школьный, окружной (муниципальный), региональный, финальный этапы.
- Все этапы кроме финального длятся 1 день, финальный – 6 дней, 3 тура. Очная форма.
- Задания теоретические и практические
- Участие индивидуальное с 5 - 11 классы, финальный и региональный этапы после 14 лет

Олимпиада им. В.Я. Струве



- Продолжение ВсОШ по астрономии
- 7-8 классы
- Финал в Сириусе
- РЭ 7-8 класс
- 1 тур
- 1 день

Московская Астрономическая олимпиада

- Проводится с 1947 года
- 2 дистанционных и 2 очных тура.
- Дистанционный длится 2 недели, очные 1 день.
- Задания теоретические и наблюдательные
- Участие индивидуальное с 4 – 11 классы



Санкт-Петербургская Астрономическая олимпиада



- Проводится с 1993 года
- Дистанционный и 2 очных тура, очные туры проводятся в различных регионах страны.
- Дистанционный длится 2 месяца, каждый очный тур 1 день.
- Задания теоретические и практические
- Участие индивидуальное с 4 - 11 классы

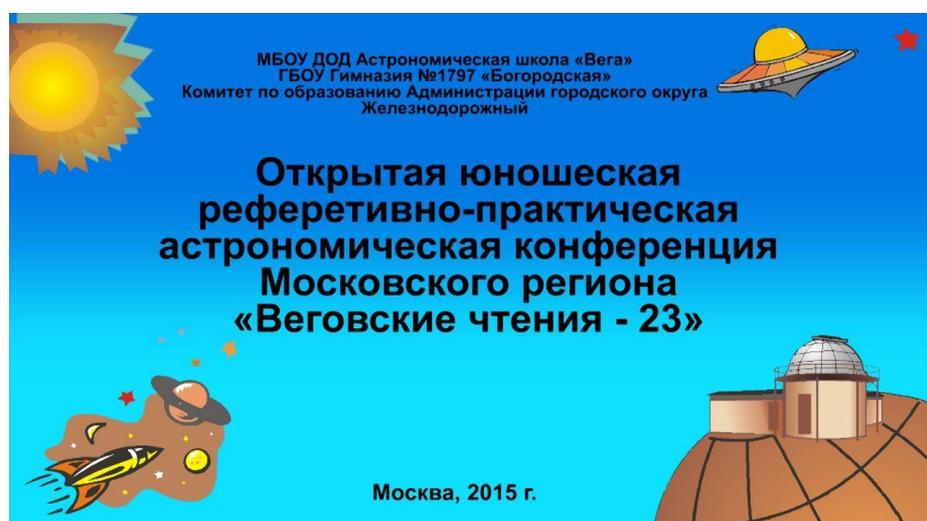
Эра Фантастики

- Проводится 1996 года
- Дистанционное участие
- Длительность полгода
- Индивидуальное участие с 4 – 11 классы
- Творческий конкурс. Разделы:
Рисунки. Рассказы. Стихи.
Художественное творчество.
Компьютерная графика.
Театральные постановки.
Костюмы инопланетян.



Веговские чтения

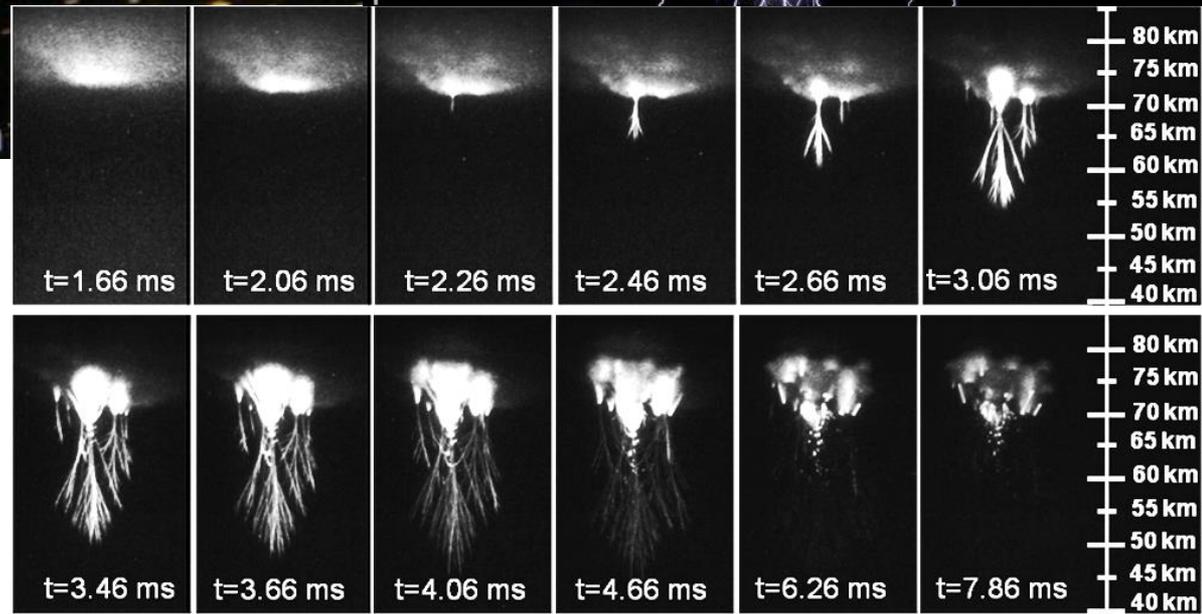
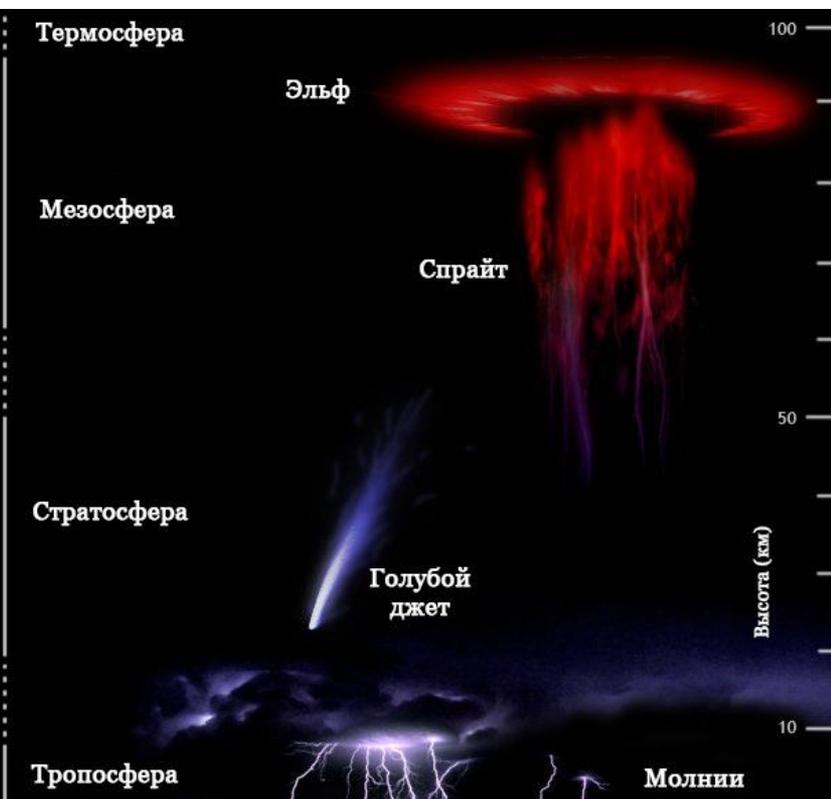
- Проводится с 1992 года
- Очное участие
- Длительность 1 день
- Индивидуальное и групповое участие, с 5 -11 классы
- Конкурс научно-практических, научно-исследовательских, проектных, проблемных и реферативных работ.



Астрономия – наука о..

- Небесных телах?
- Явлениях происходящих с ними и в космосе?
- Их эволюции и развитии?
- Прошлом настоящем и будущем?

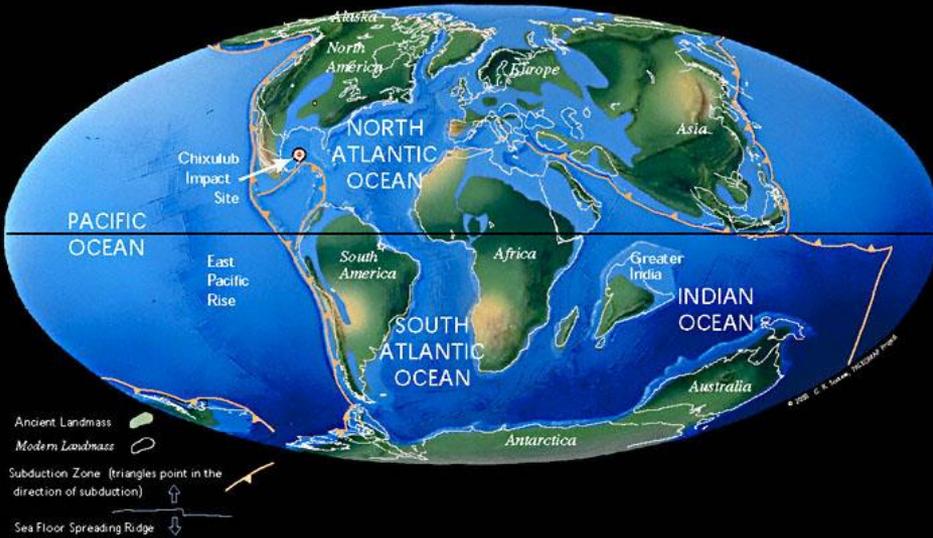
- Астрономия наука обо всем! Вселенной и объектах микро и макромира!



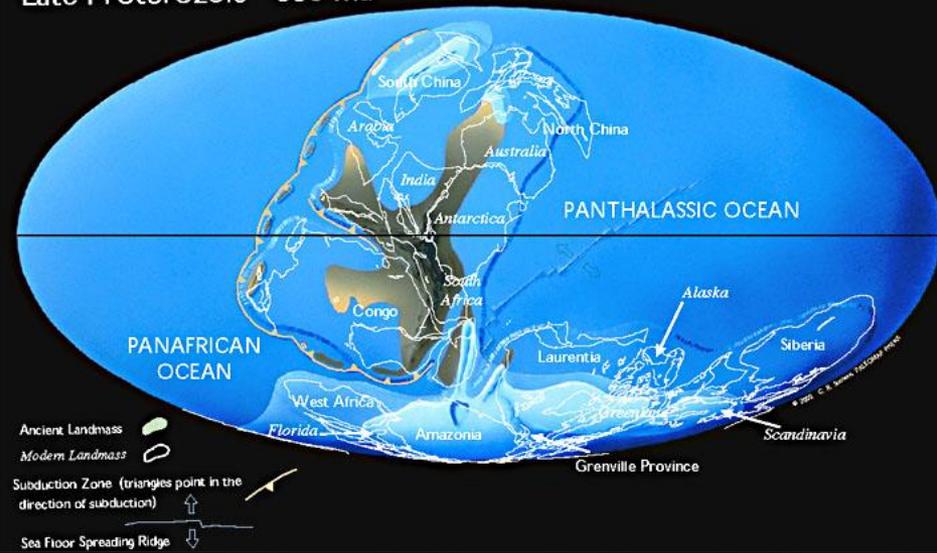
Молнии

Планета Земля

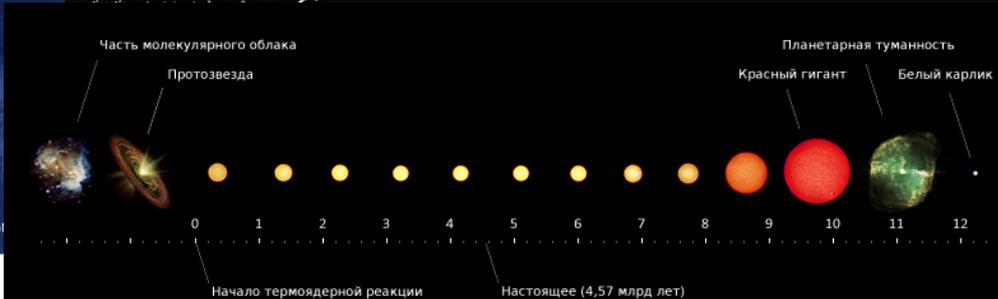
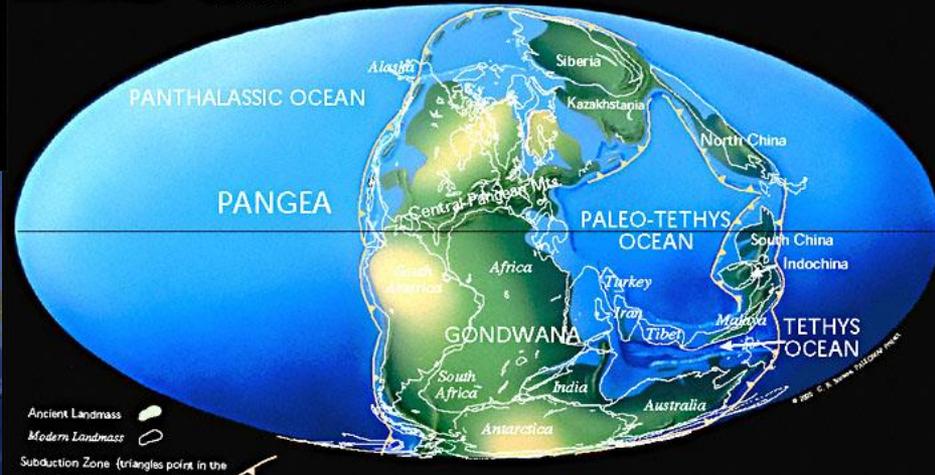
K/T Boundary 66 Ma



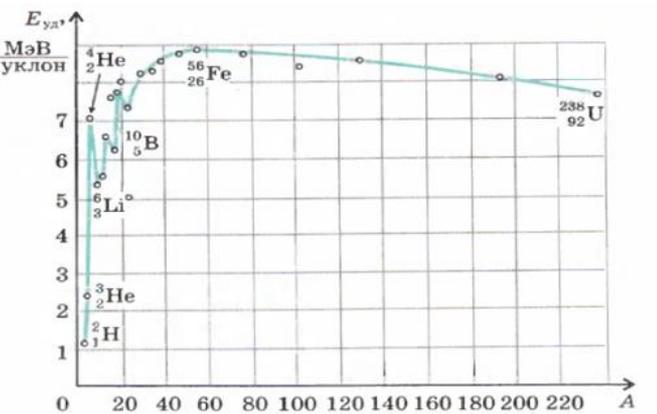
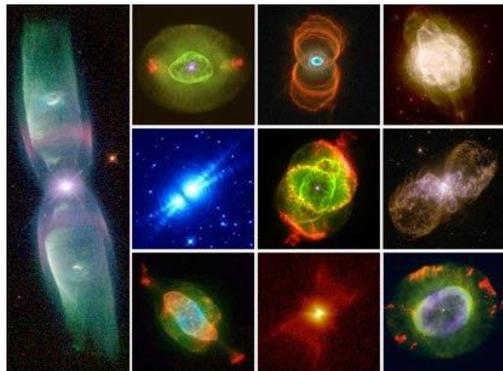
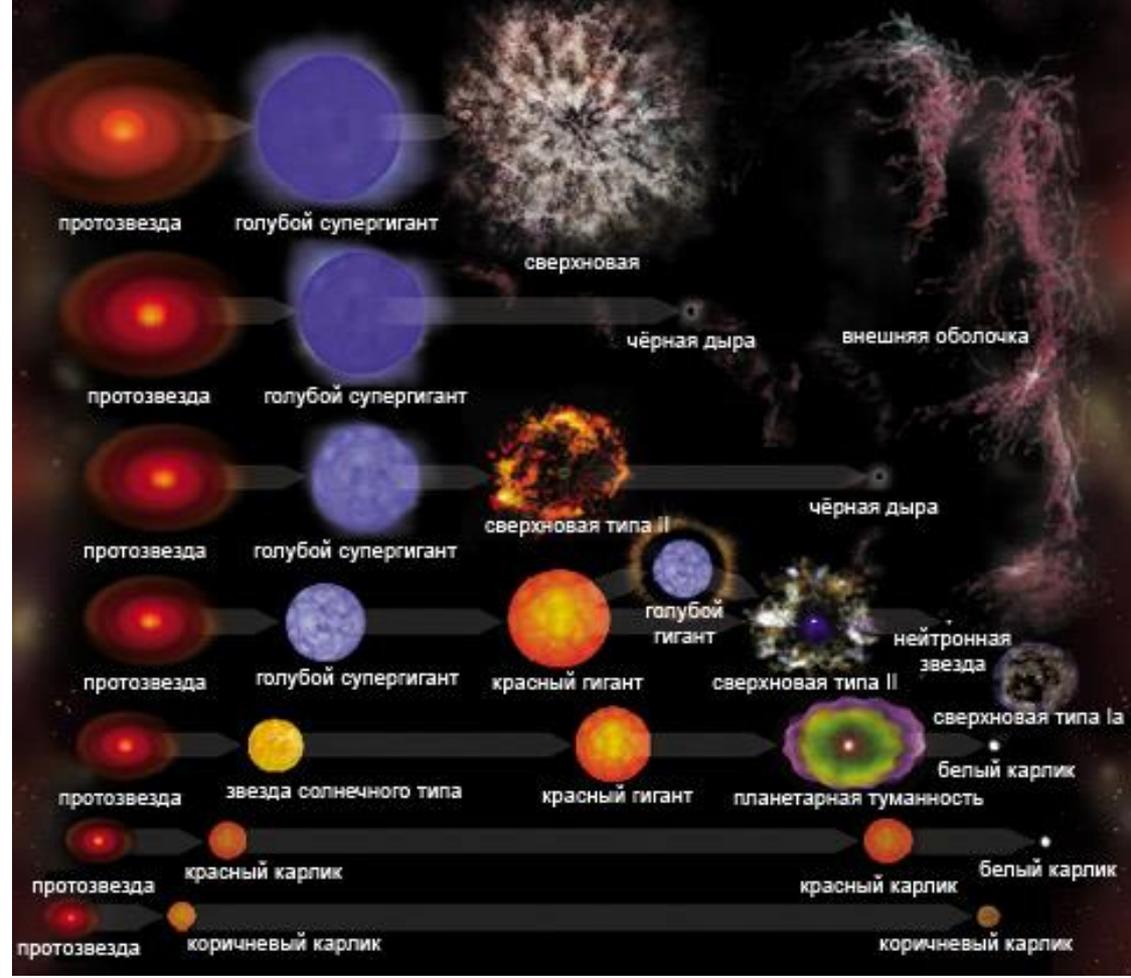
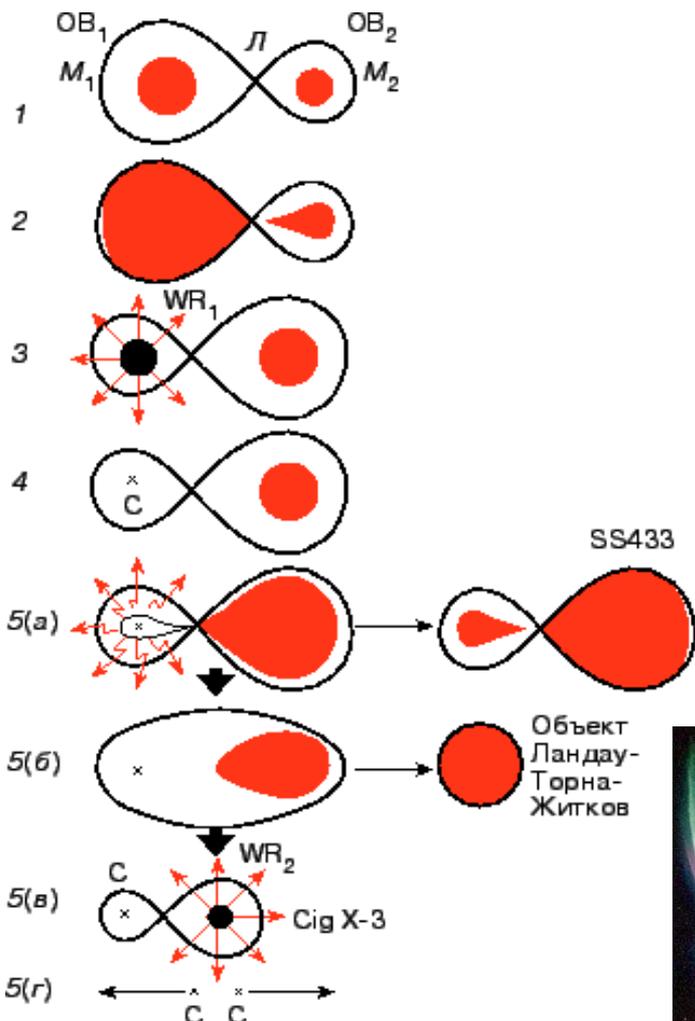
Late Proterozoic 650 Ma



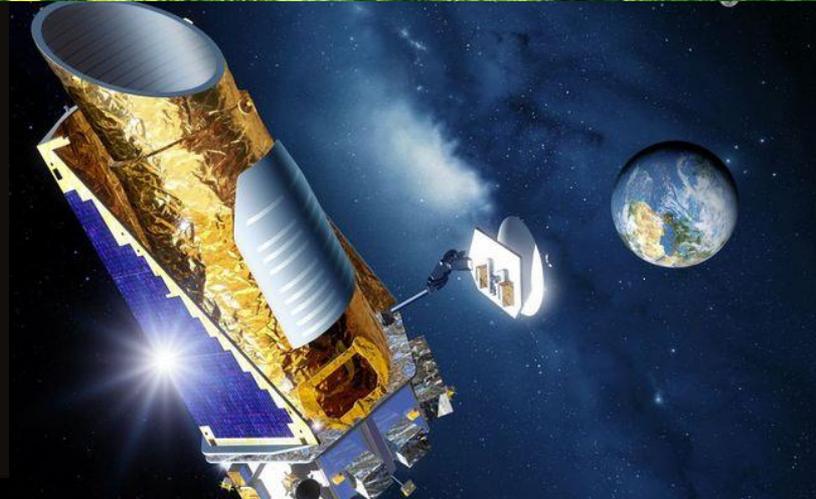
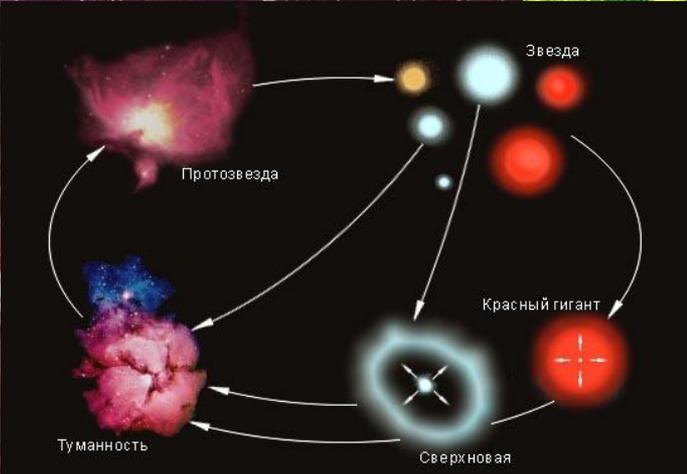
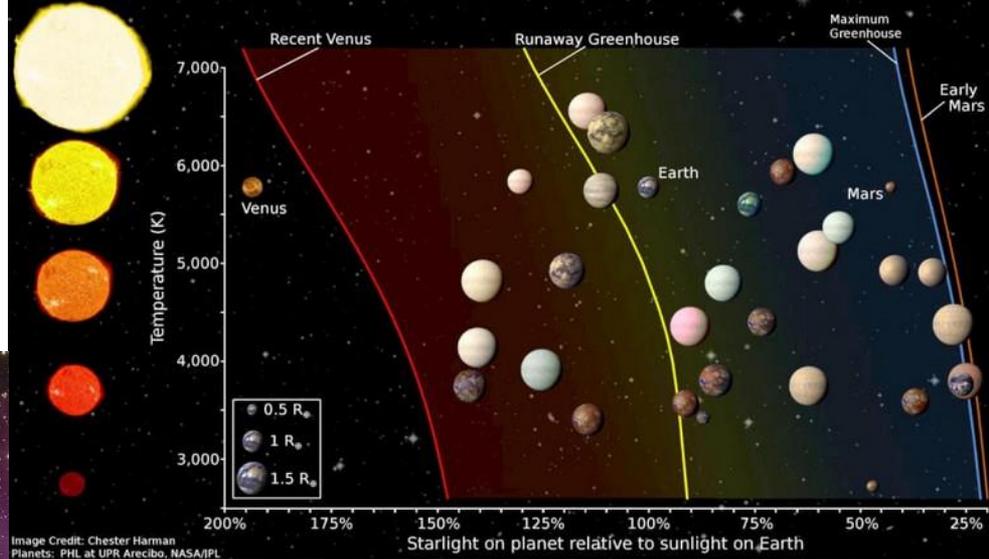
Late Permian 255 Ma



Жизнь звёзд

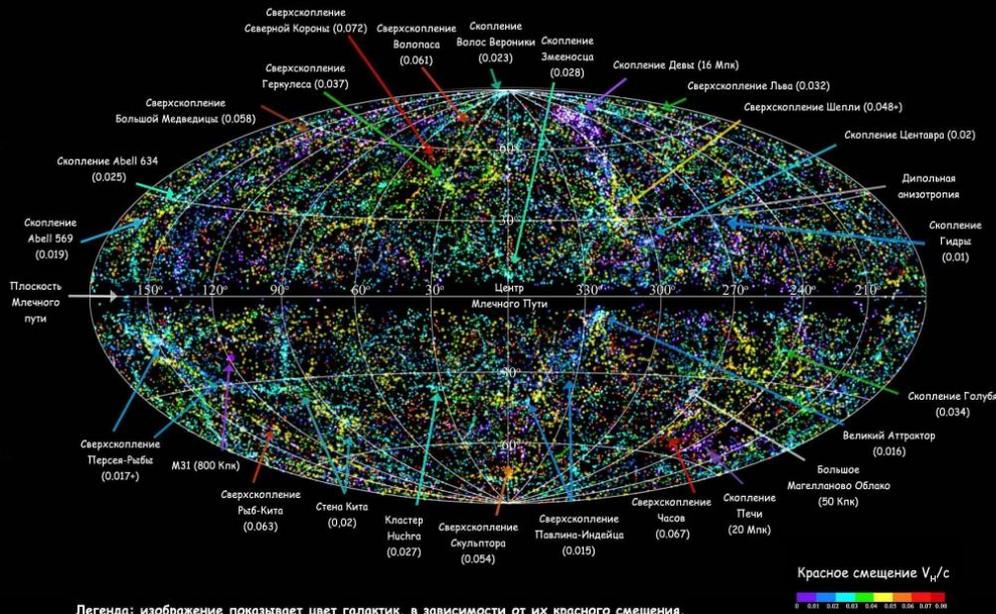


Жизнь во Вселенной



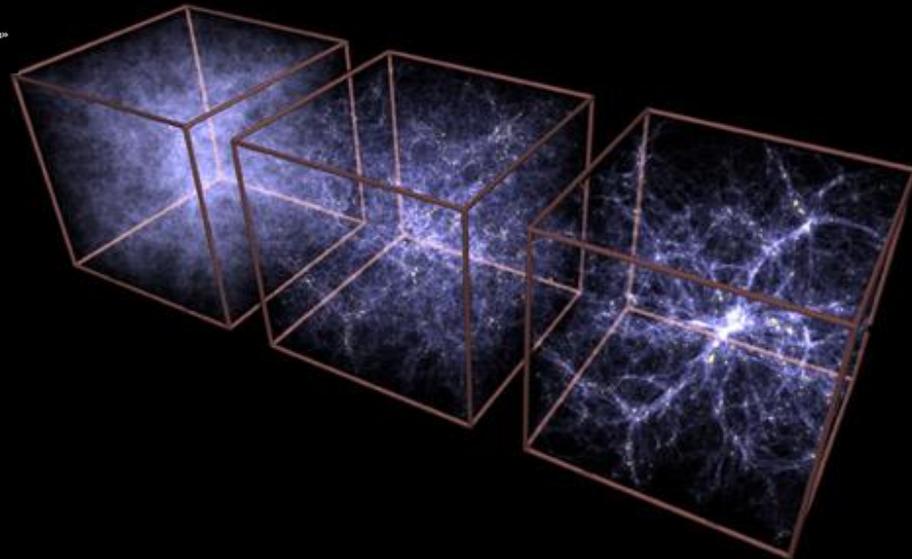
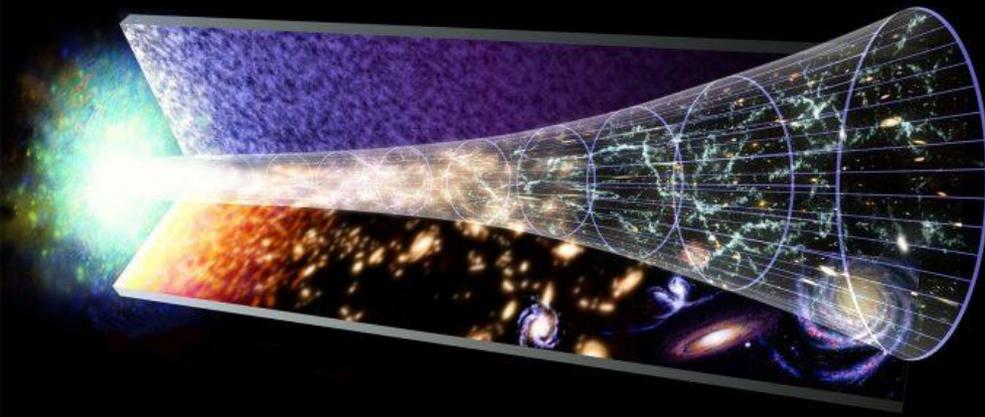
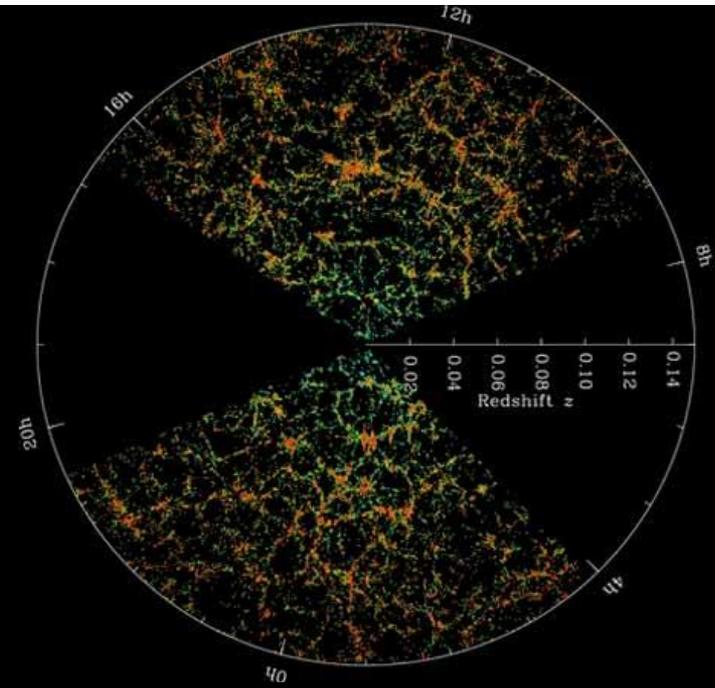
Эволюция Вселенной

Обзор скоплений и сверхскоплений галактик 2MASS



Легенда: изображение показывает цвет галактик, в зависимости от их красного смещения.
Цифры в скобках у скоплений/сверхскоплений обозначают красное смещение.

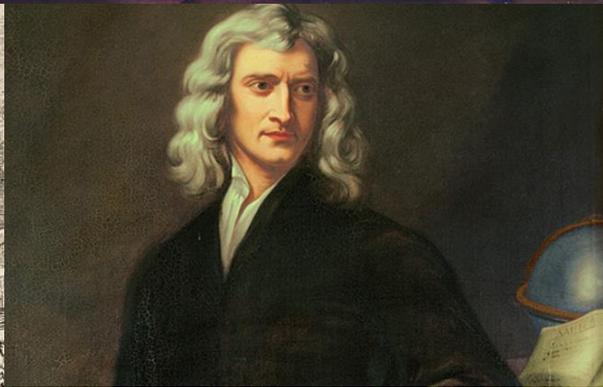
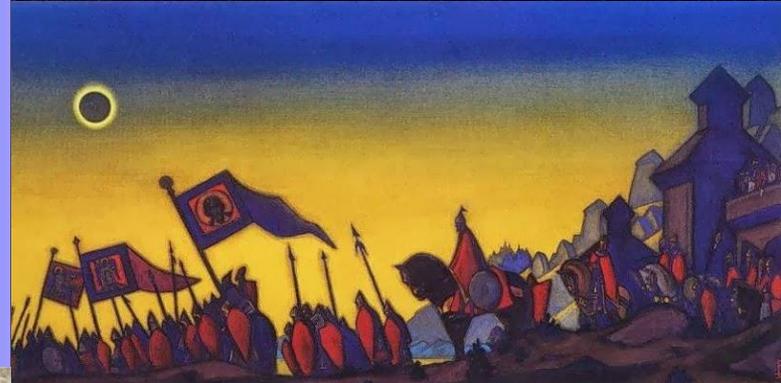
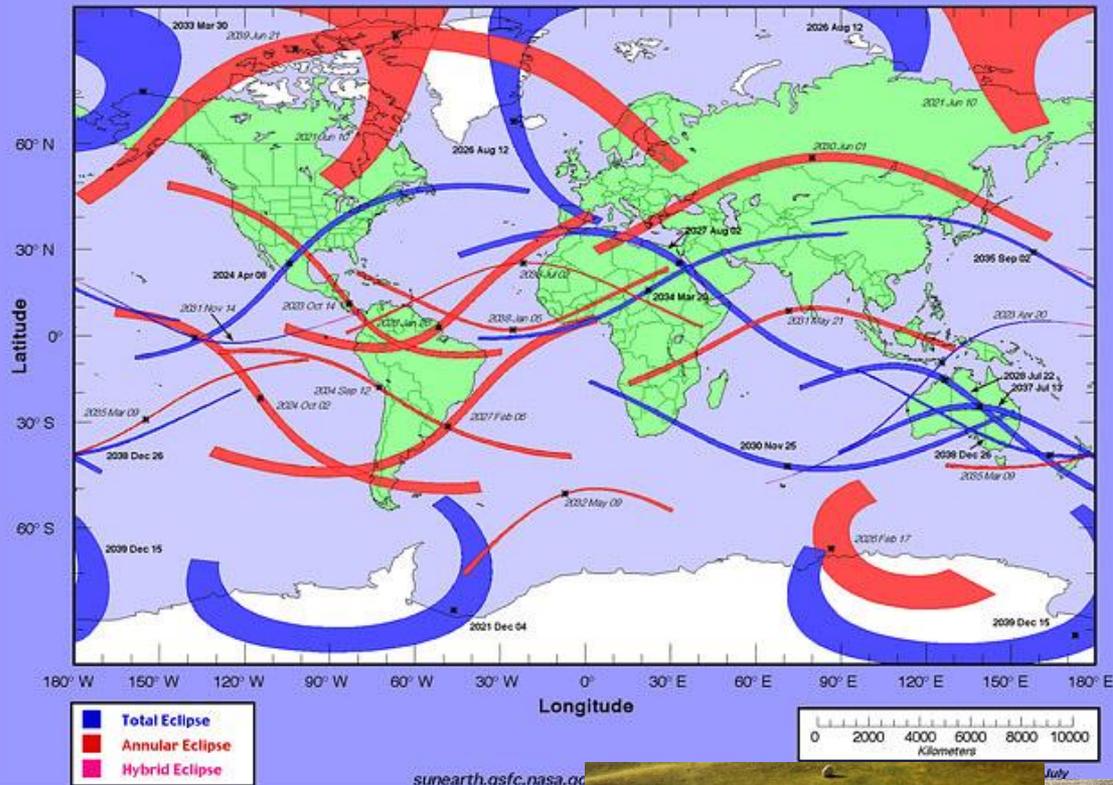
Специально для сайта «Гид в мире космоса»
<http://spacegid.com/>



Астрономия — наука связывающая предметы

- История
- Литература
 - МХК
- Биология
 - Химия
 - Физика
- Математика
- Геометрия
- География
- Информатика
- Экология
- Экономика
- Робототехника

Total and Annular Solar Eclipse Paths: 2021 – 2040



История

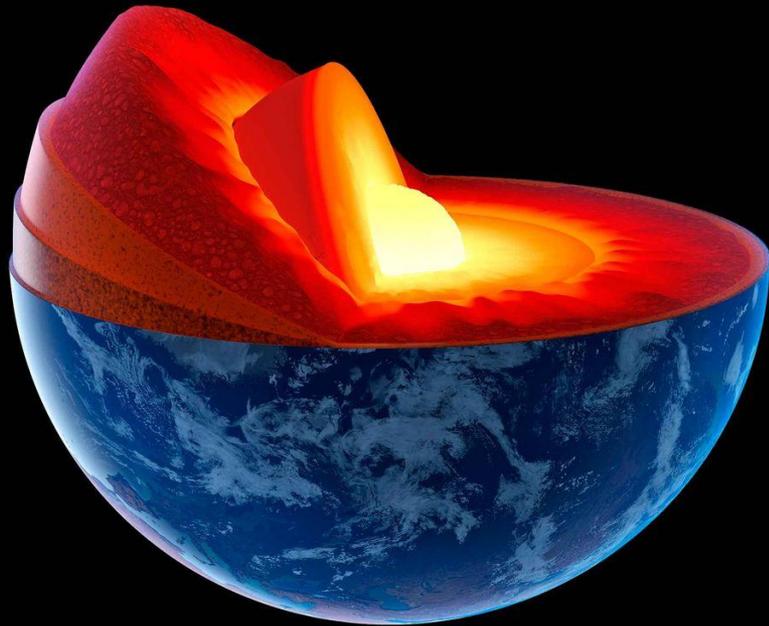
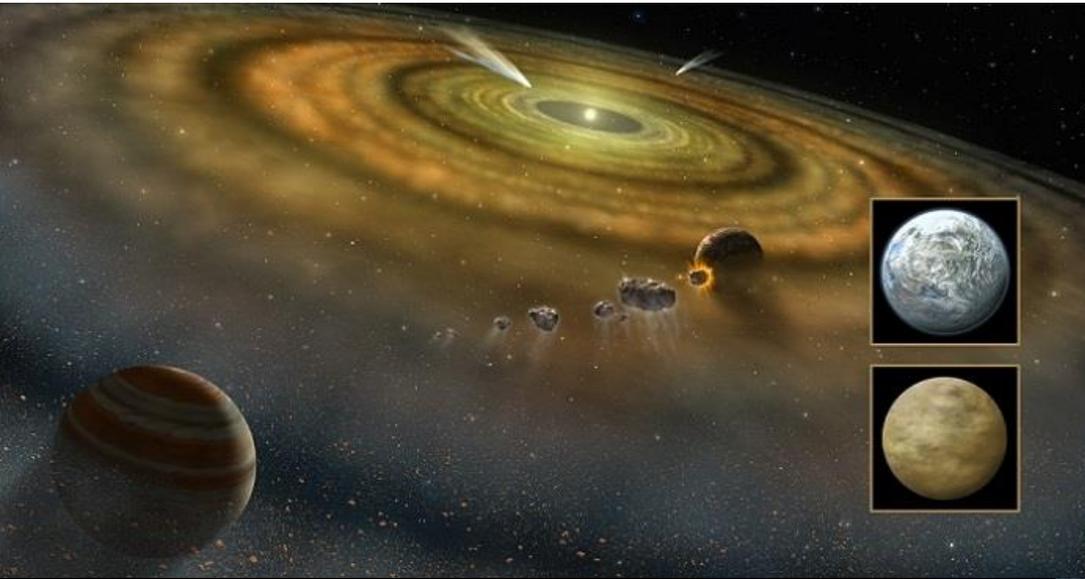


Литература и МХК

«На пажити необозримой,
Не убавляясь никогда,
Скитаются неисчислимо
Сереброрунные стада.
В рожок серебряный играет
Пастух, приставленный к стадам;
Он их в златую дверь впускает
И счёт ведет им по ночам.
И, недочёта им не зная,
Пасёт он их давно, давно,
Стада поит вода живая,
И умирать им не дано.
Они одной дорогой бродят
Под стражей пастырской руки,
И юноши их там находят,
Где находили старики;
У них есть вождь - Овен прекрасный,
Их сторожит огромный Пес,
Есть Лев меж ними неопасный
И Дева - чудо из чудес.»

Василий Жуковский

Биология и география

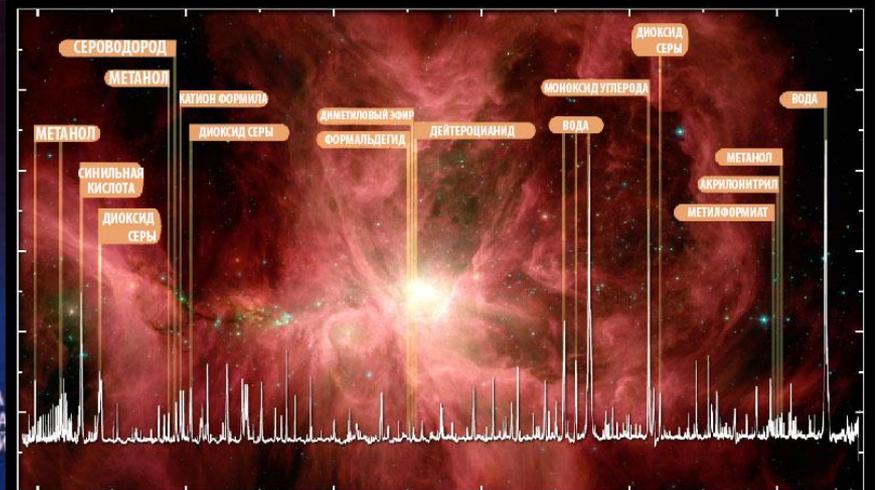
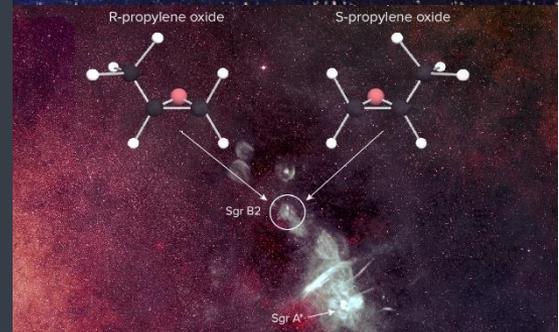
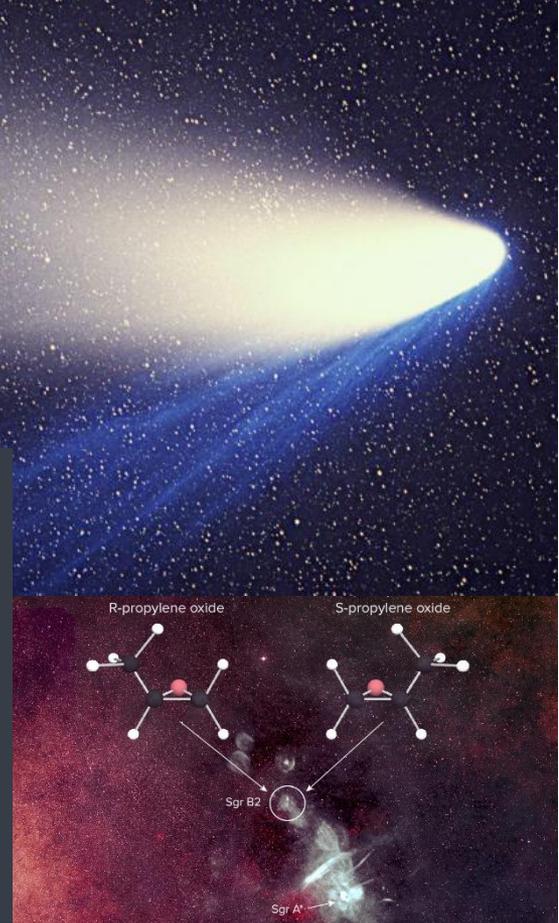
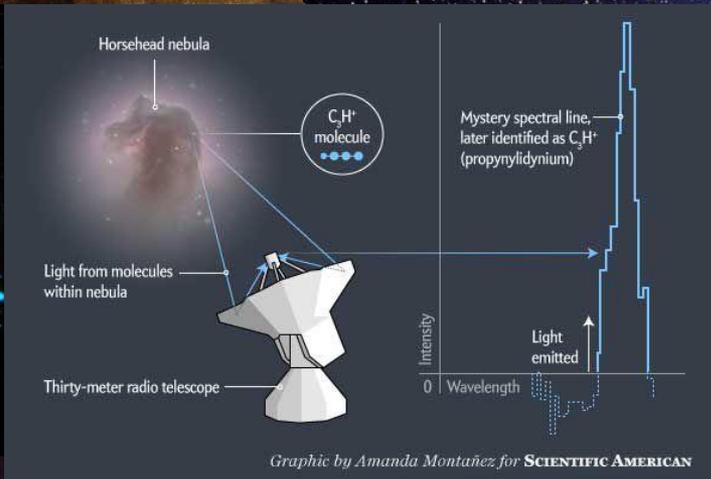
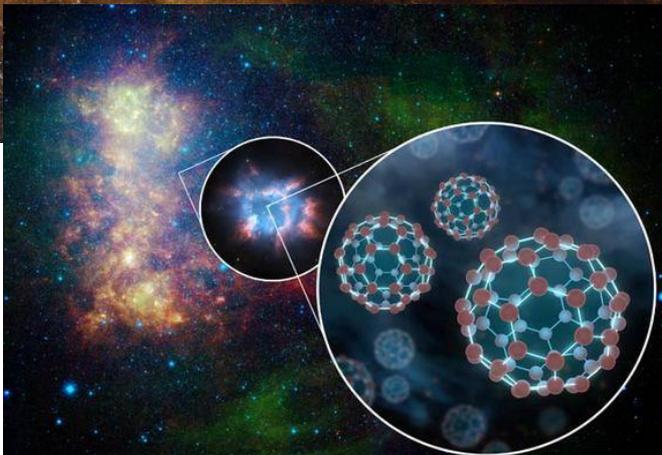


Экология

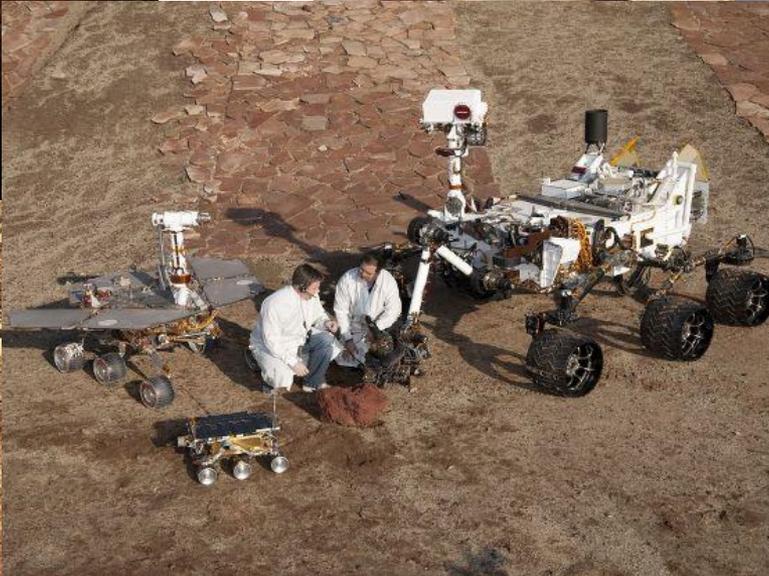
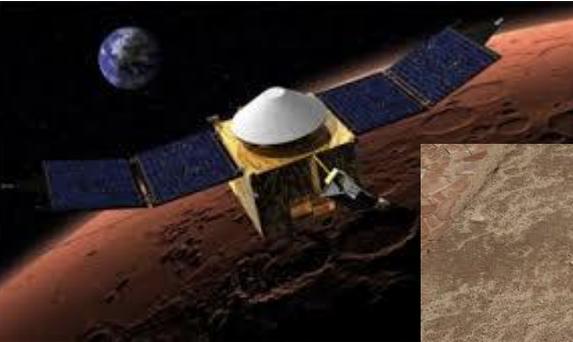
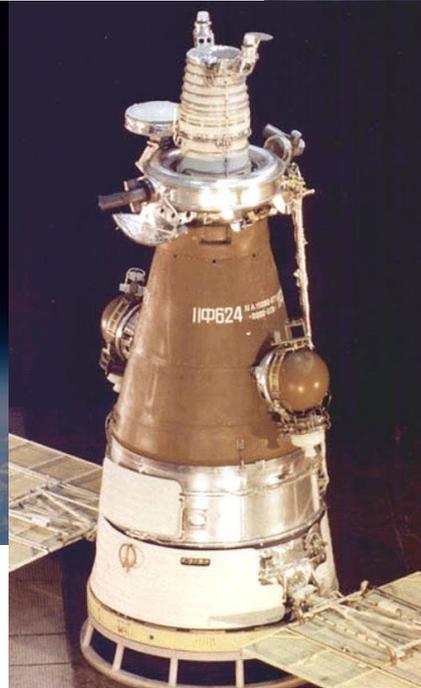


0 0,1 0,2 0,4 0,6 0,8 KM

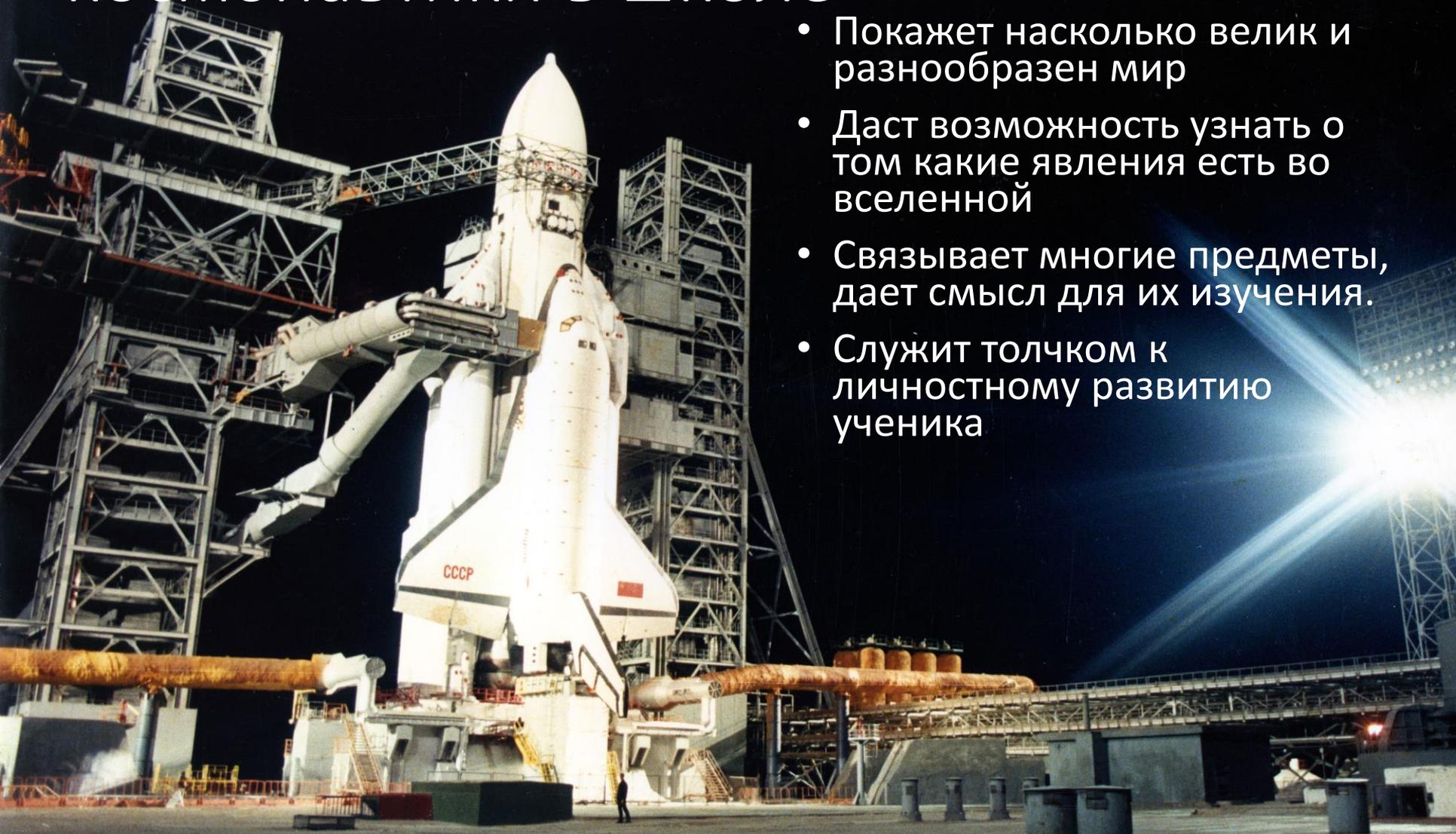
ХИМИЯ



Робототехника

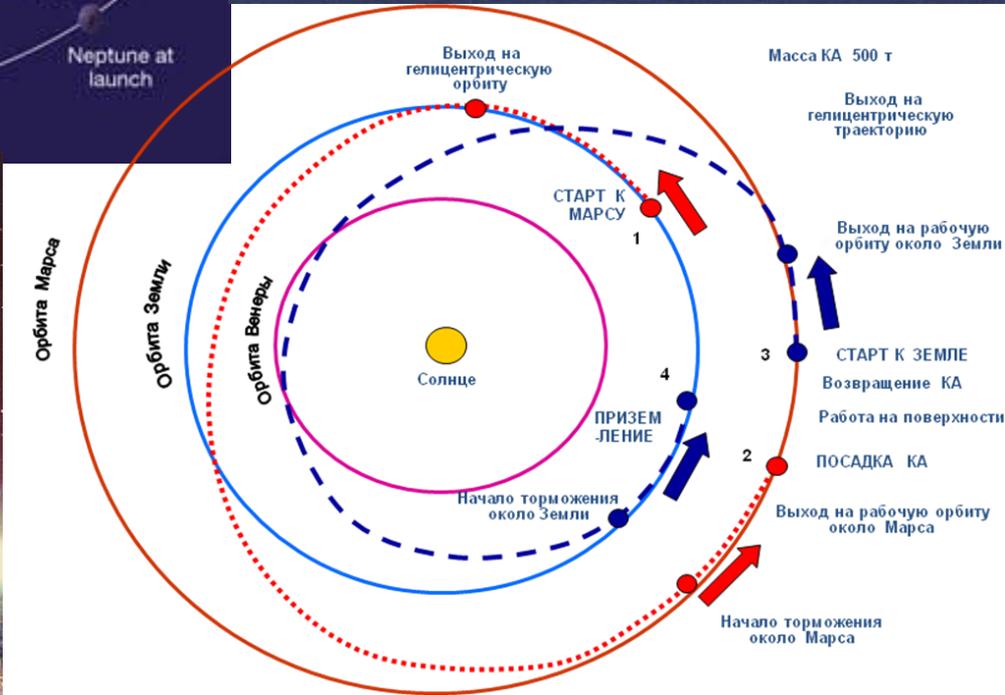
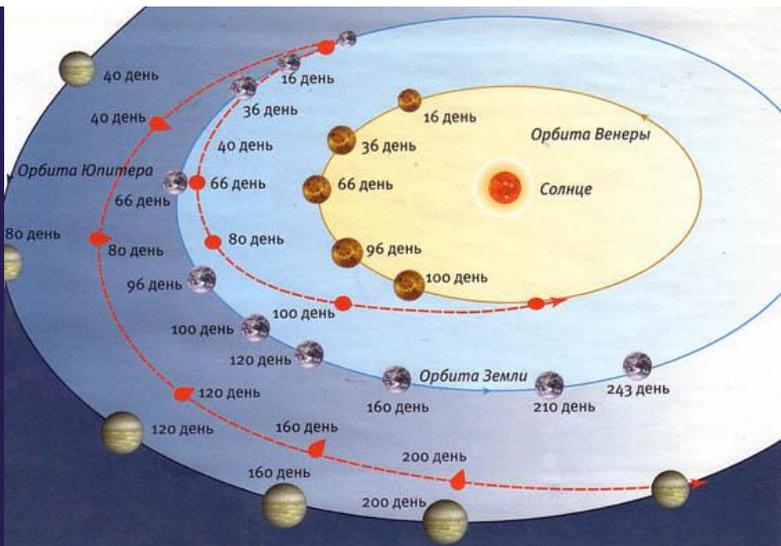
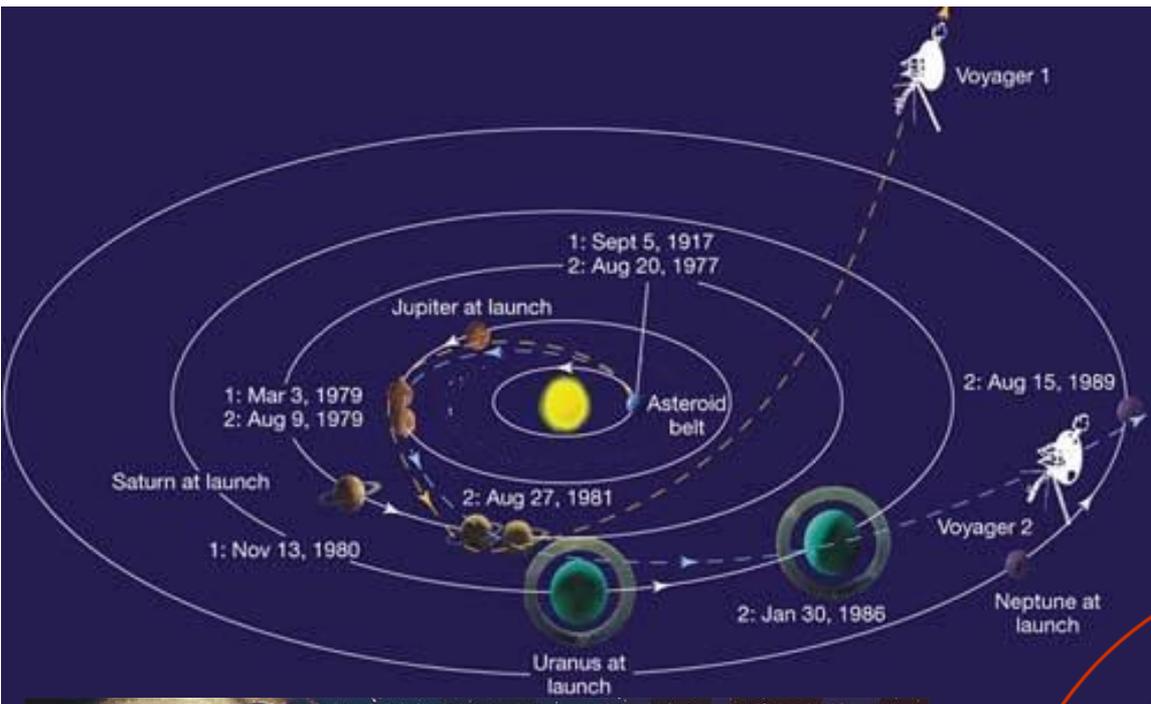


Место астрономии и космонавтики в школе



- Покажет насколько велик и разнообразен мир
- Даст возможность узнать о том какие явления есть во вселенной
- Связывает многие предметы, дает смысл для их изучения.
- Служит толчком к личностному развитию ученика

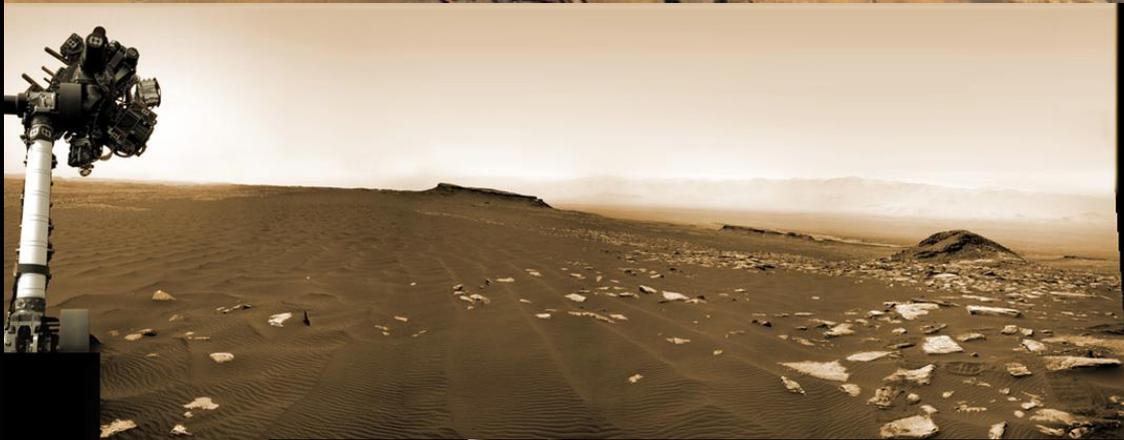
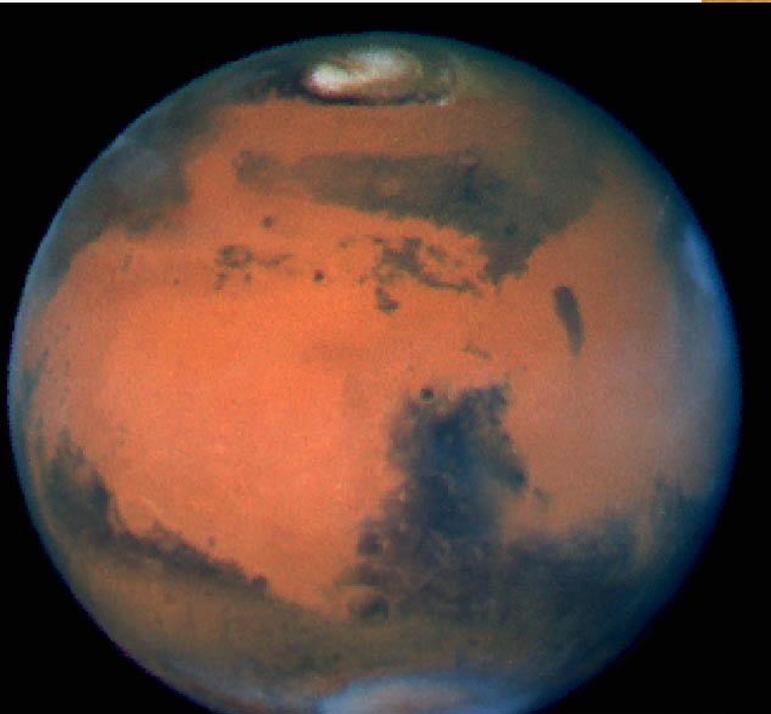
Космонавтика



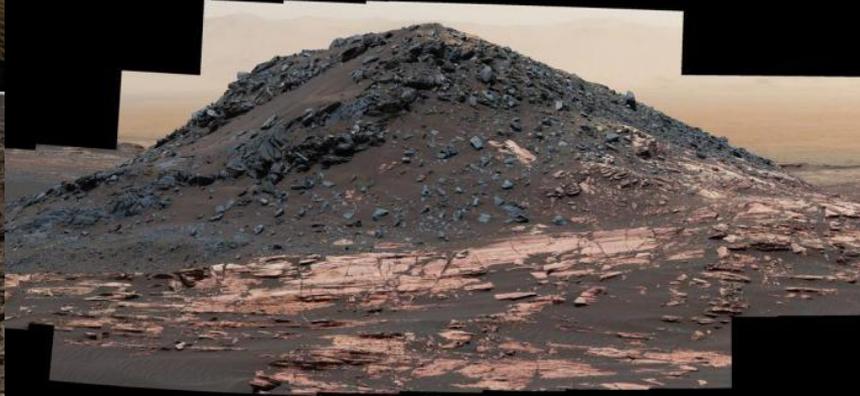
Исследования Солнечной системы



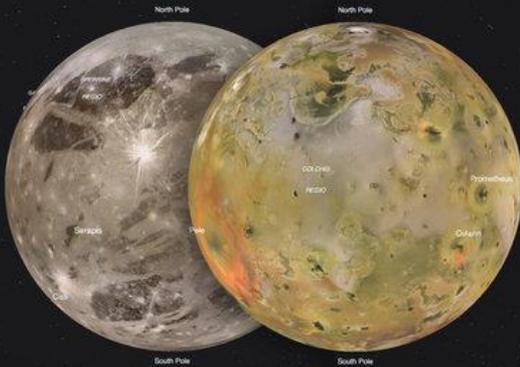
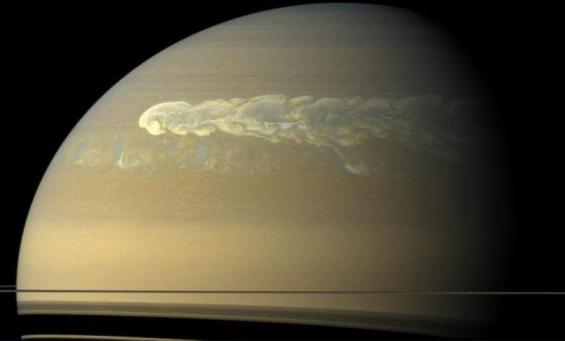
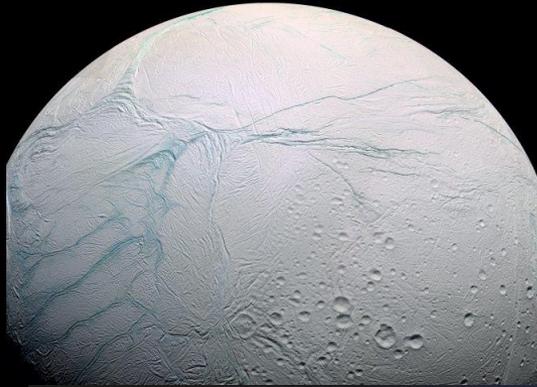
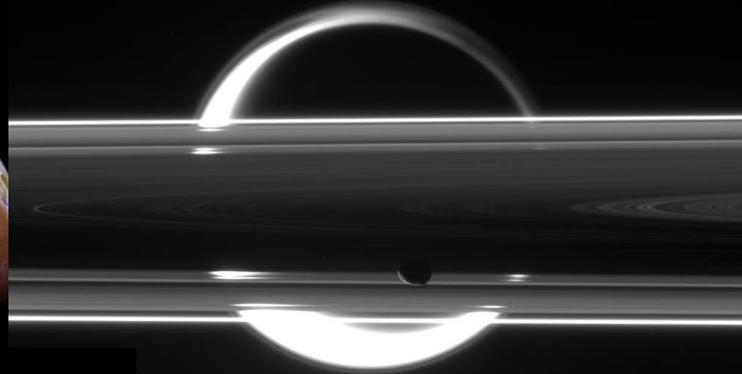
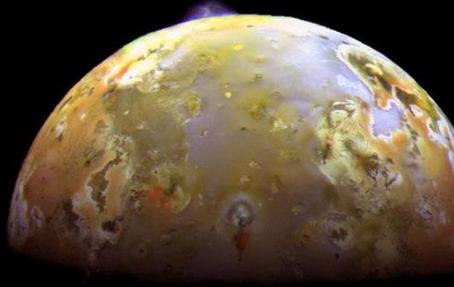
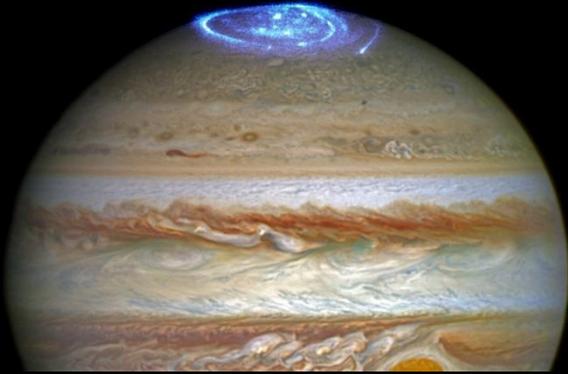
Mapc



C2
osity scouts Bagnold Dune Field

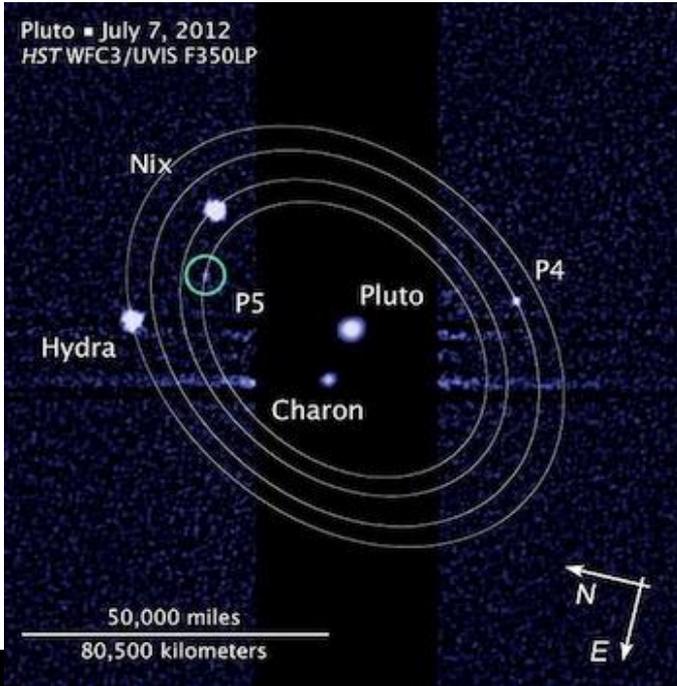


Системы Юпитера и Сатурна

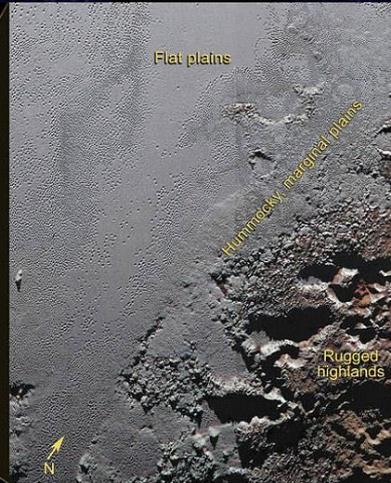


Система Плутона и малые тела Солнечной системы

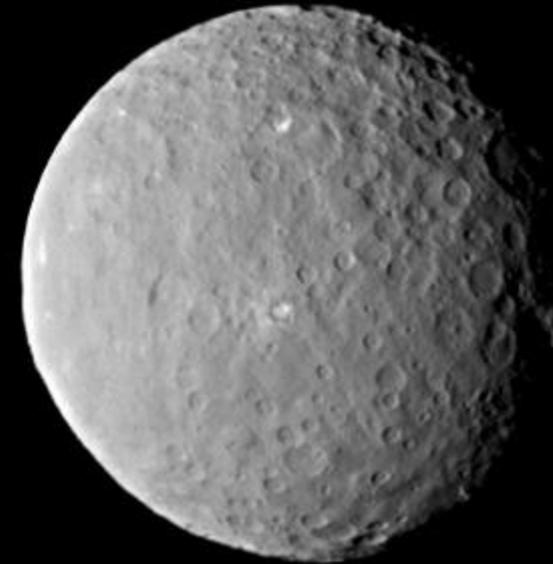
Charon and the Small Moons of Pluto



NASA/JHU-APL/SWRI

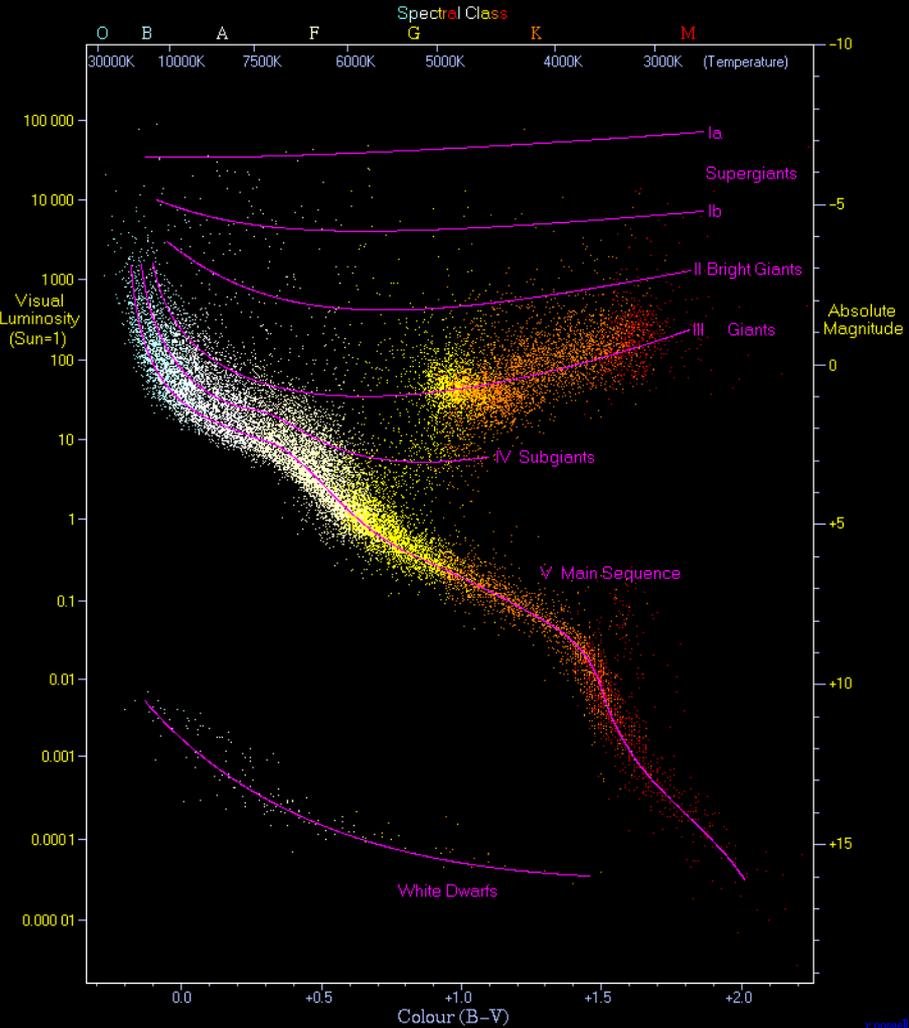
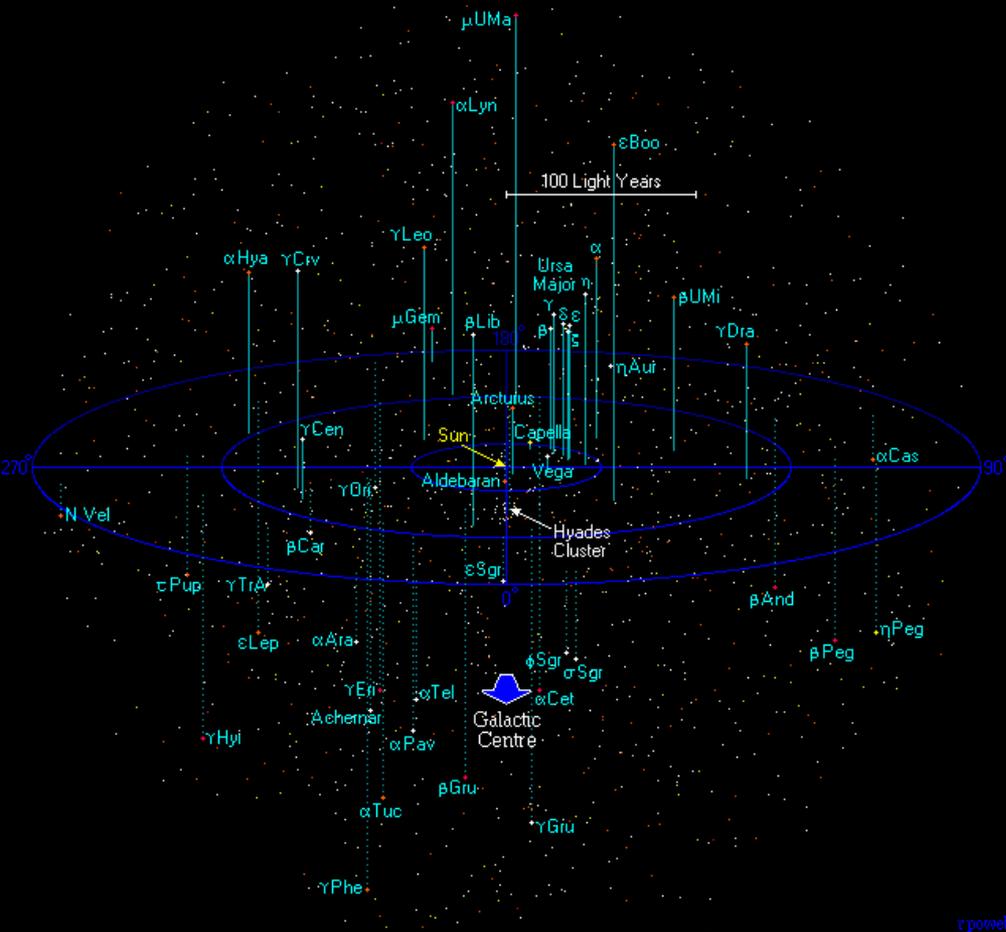


VESTA
(Dawn spacecraft)
Rotation axis also shown

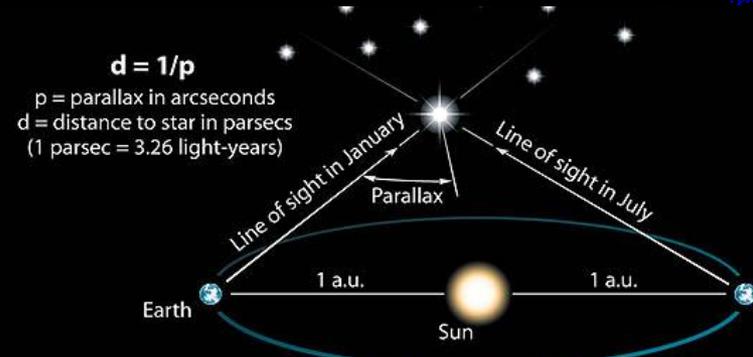
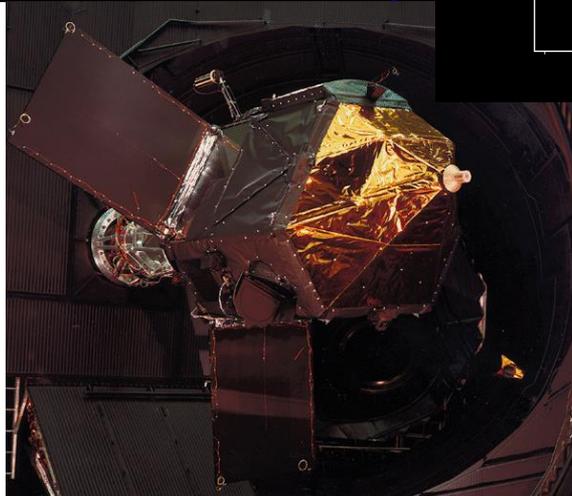


EROS
(NEAR spacecraft)

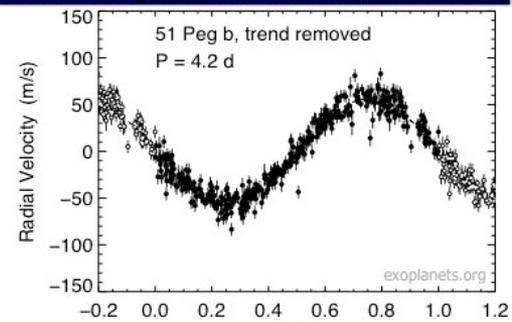
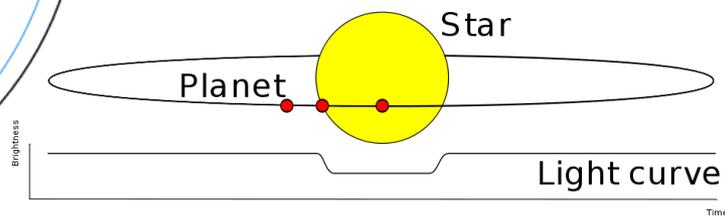
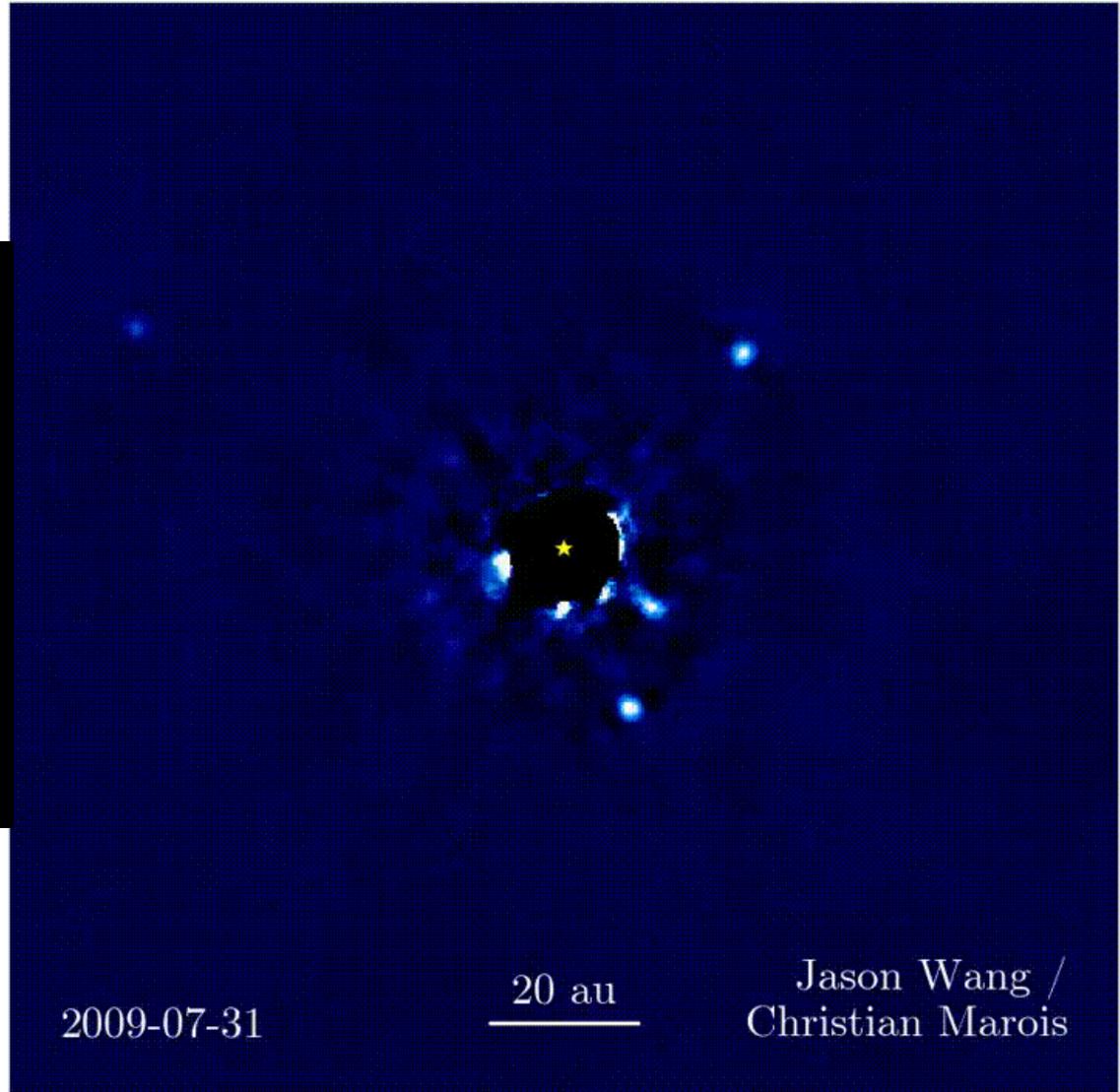
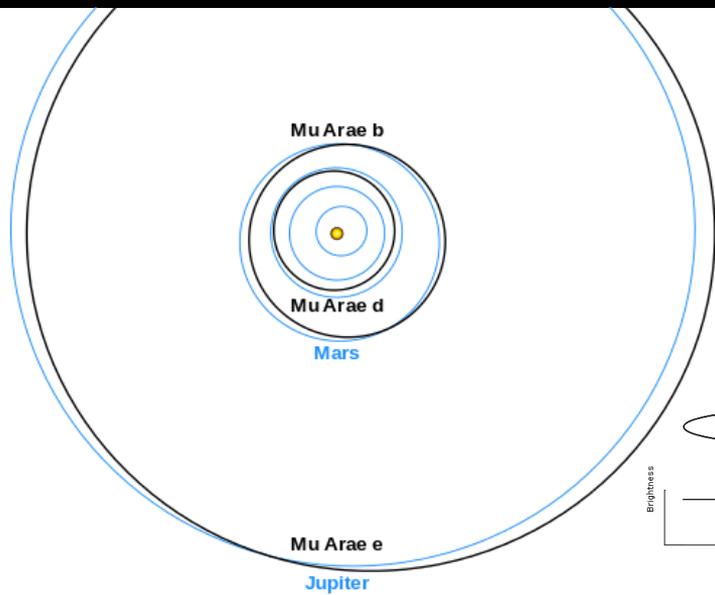
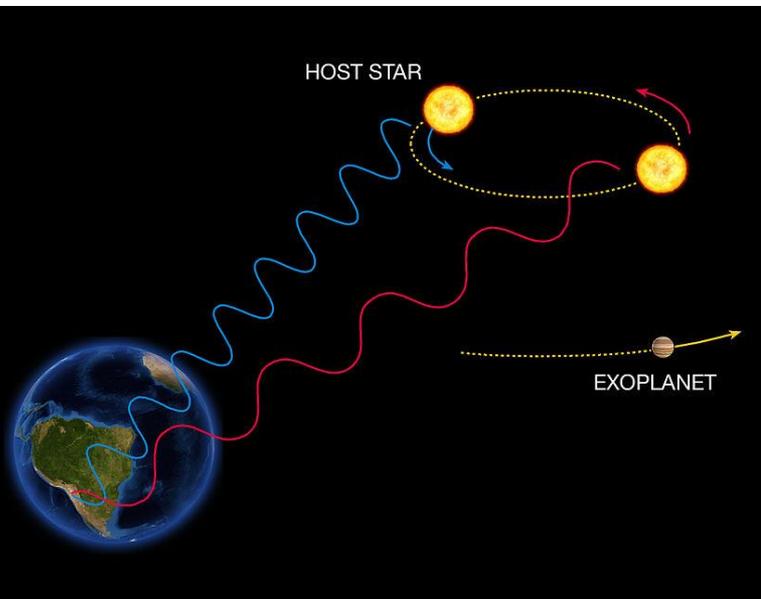
CERES (Dawn spacecraft)



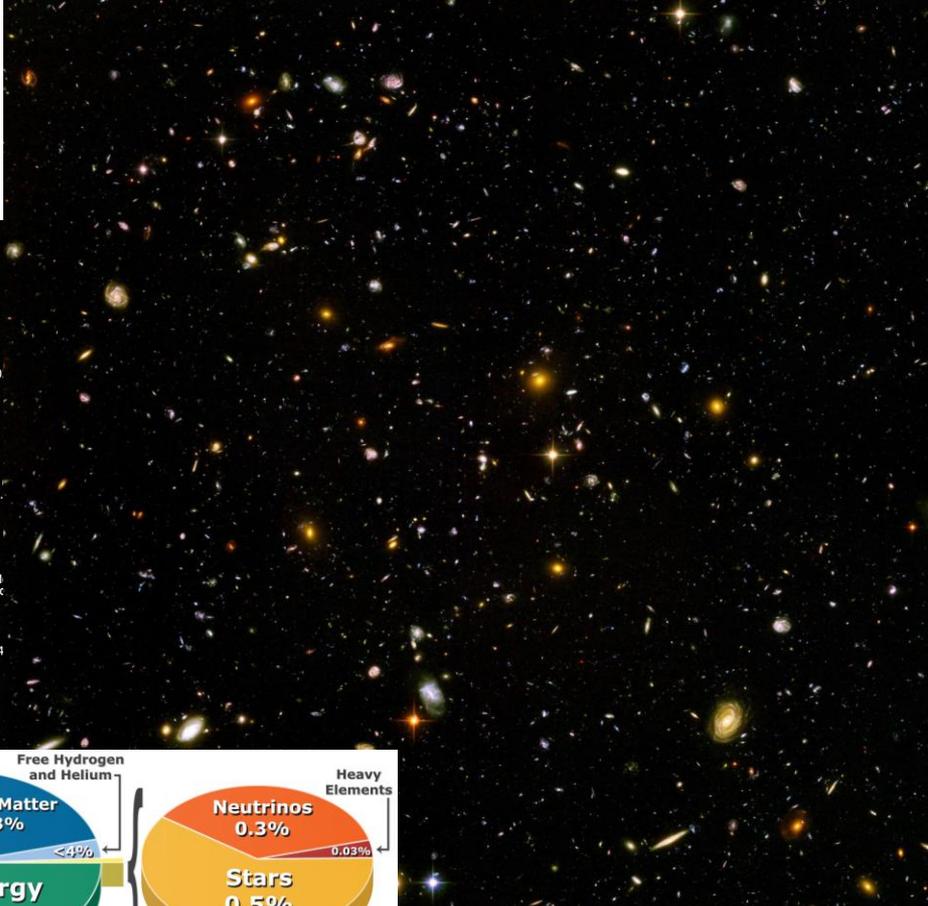
Высокоточные
расстояния до
ближайших
звёзд



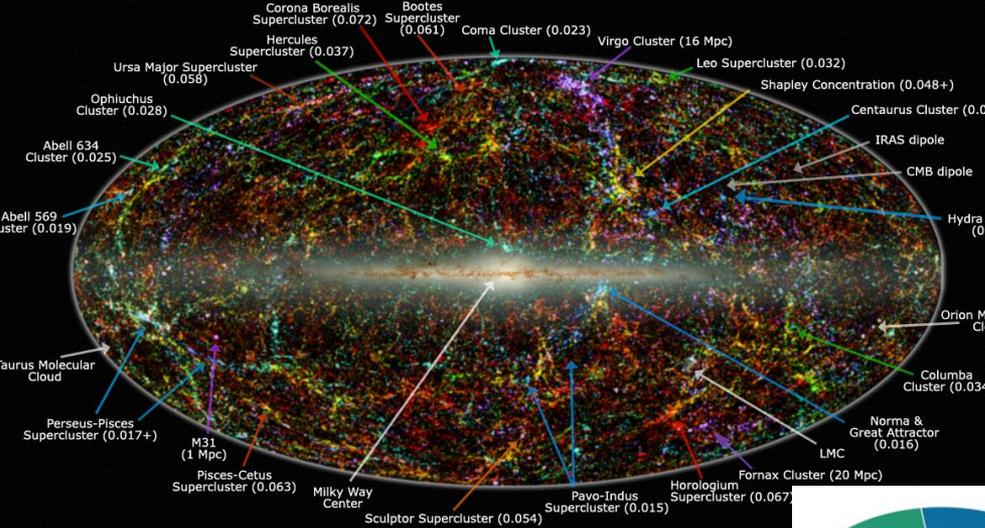
Экзопланеты



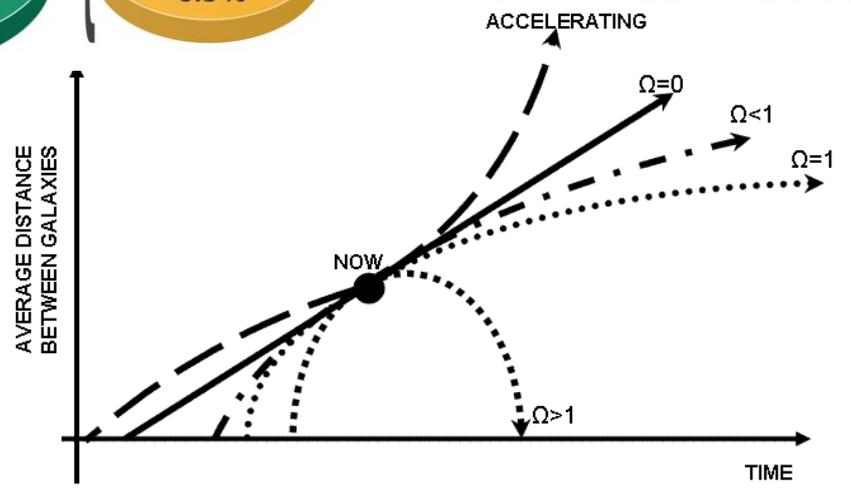
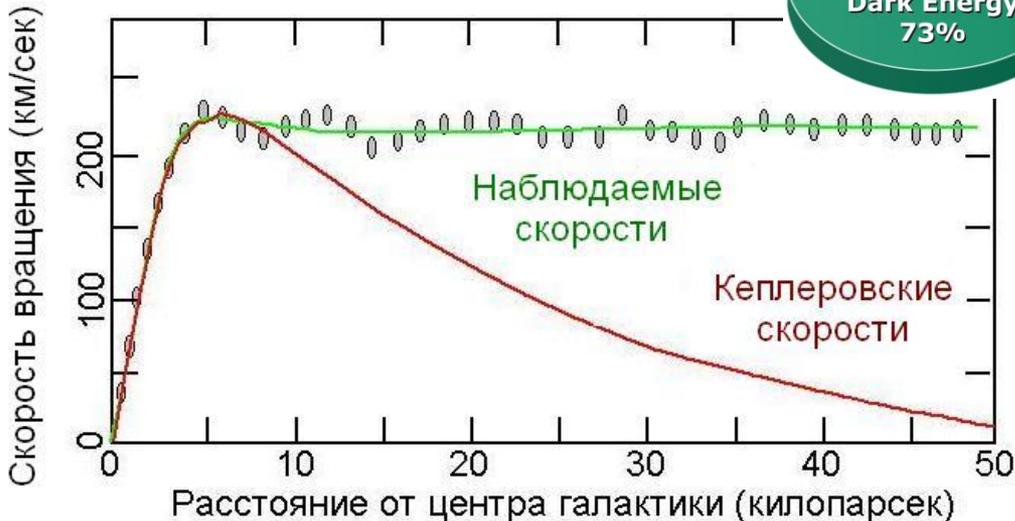
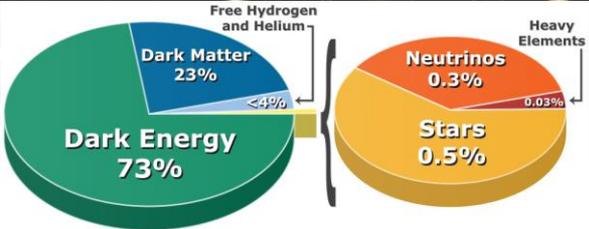
Космология, Темная материя и Темная энергия



Large Scale Structure in the Local Universe

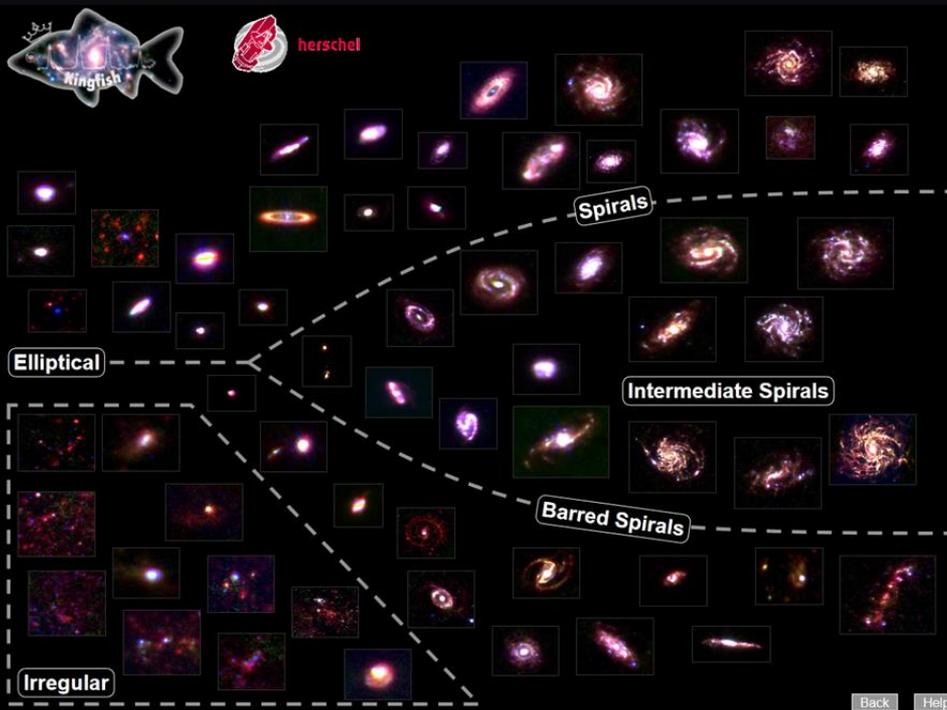
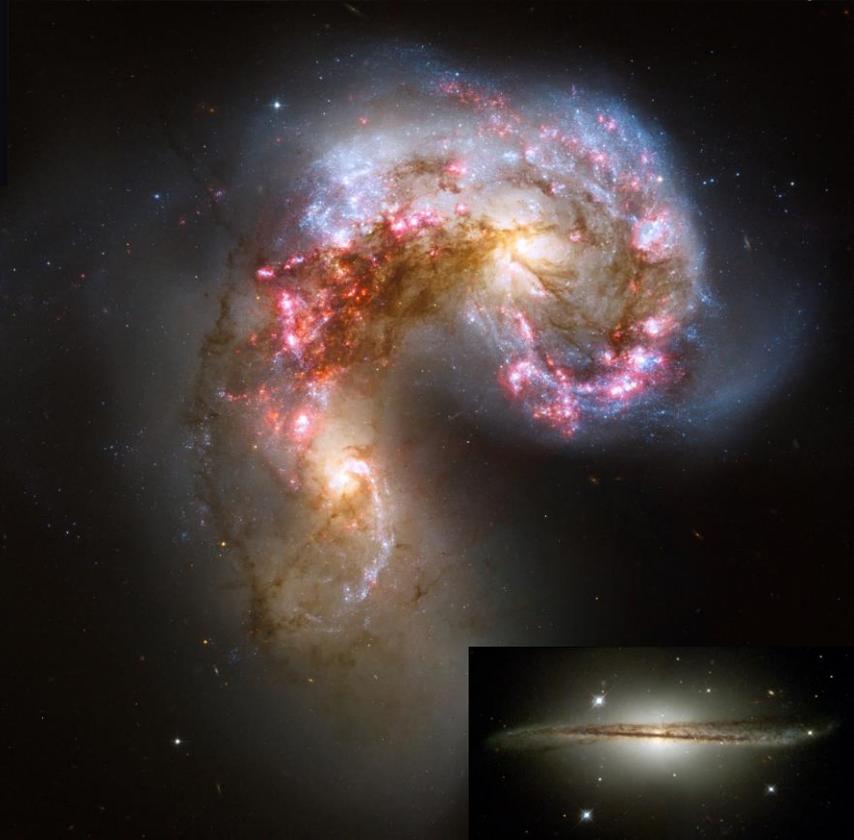


Legend: image shows 2MASS galaxies color coded by redshift (Jarrett 2004). familiar galaxy clusters/superclusters are labeled (numbers in parenthesis represent distance in Mpc). Graphic created by T. Jarrett (IPAC/Caltech)



Эволюция галактик

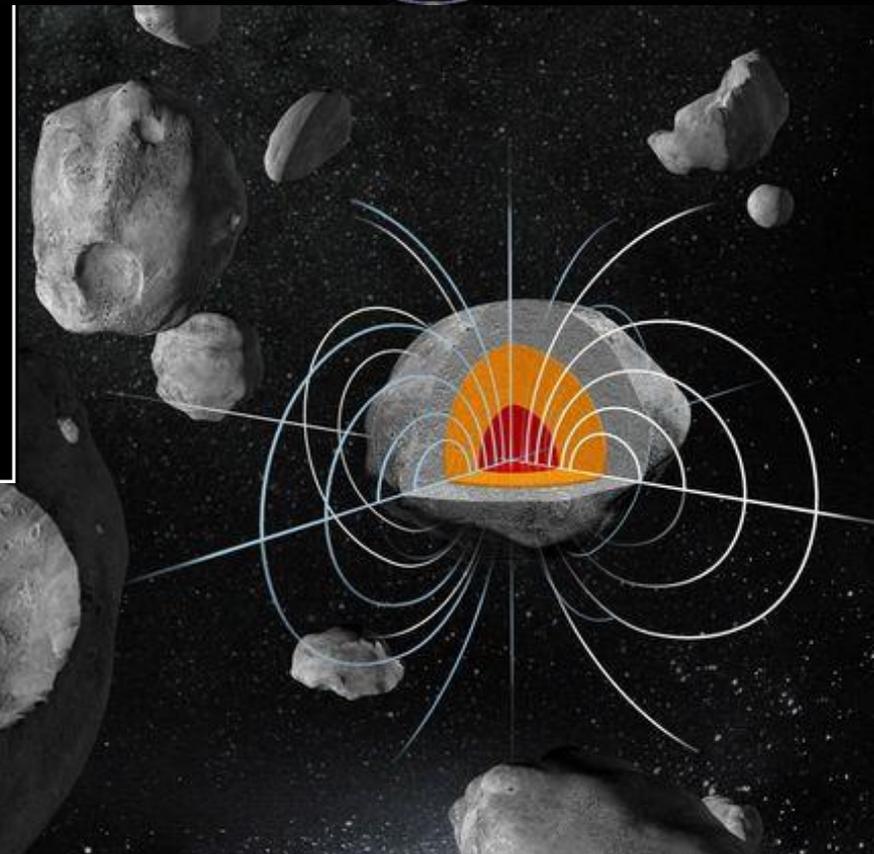
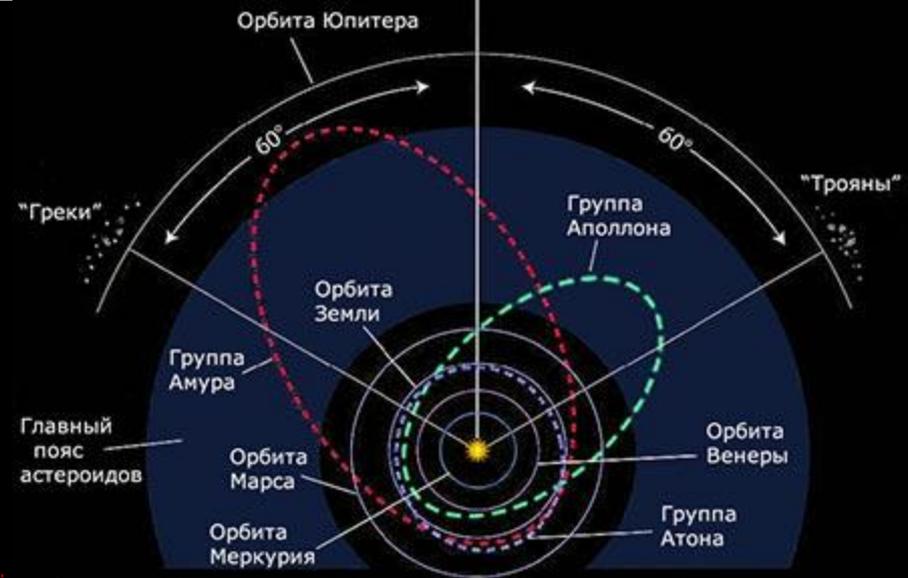
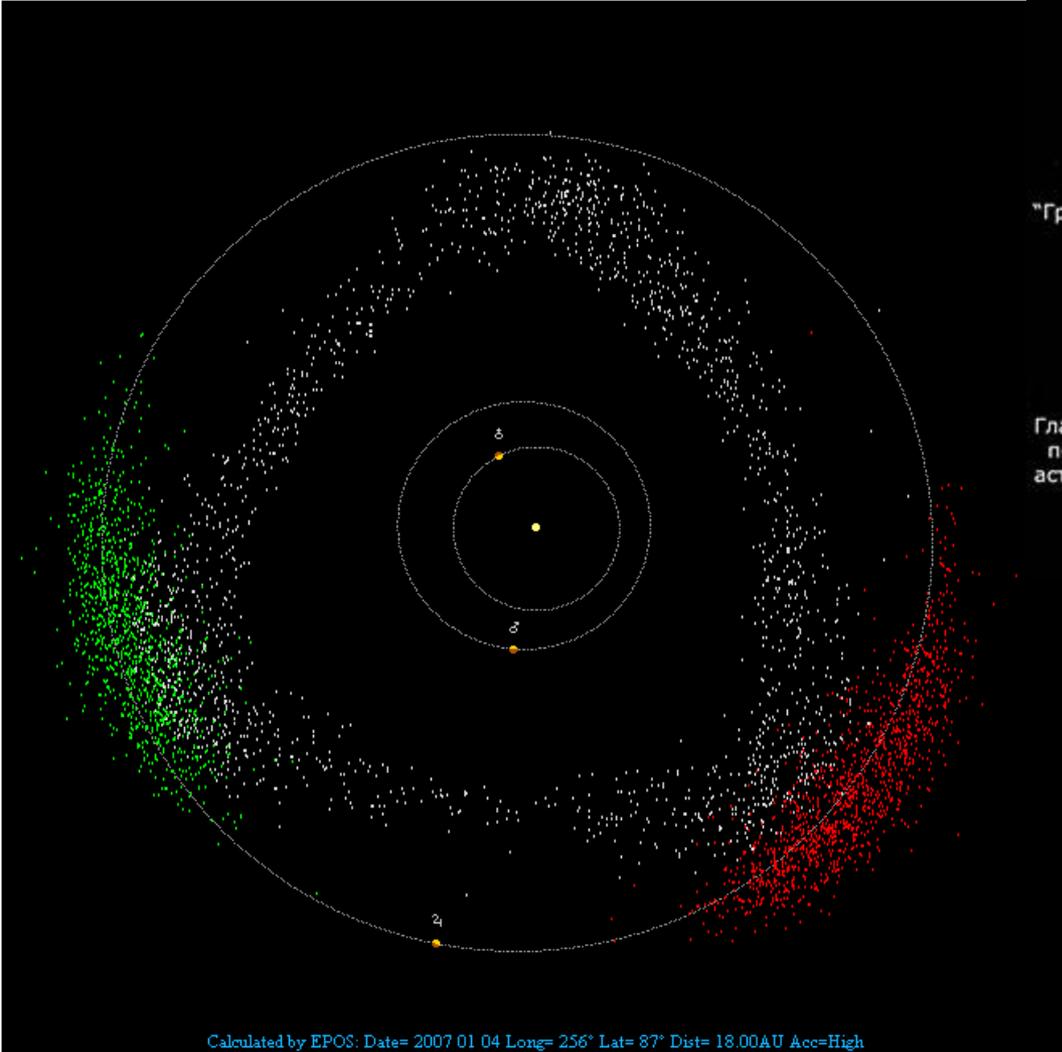
Эволюция массивных эллиптических галактик



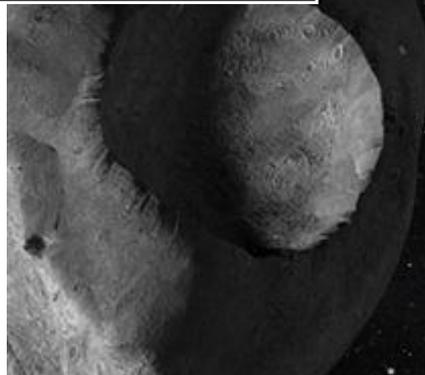
Ожидаемые открытия ближайшего будущего



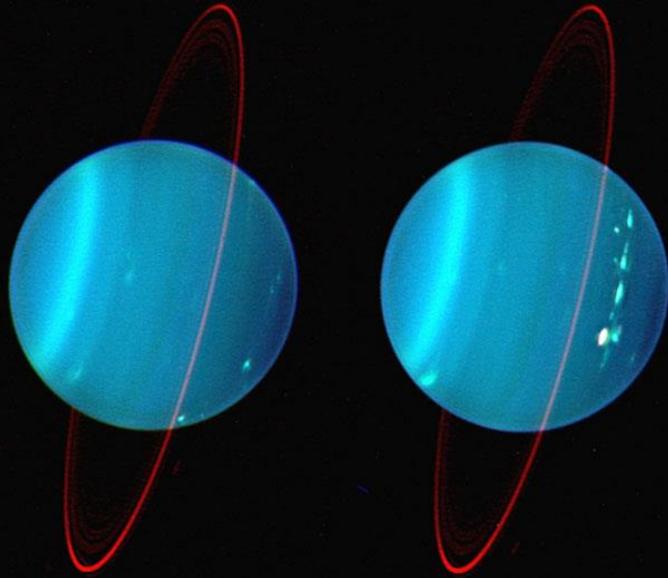
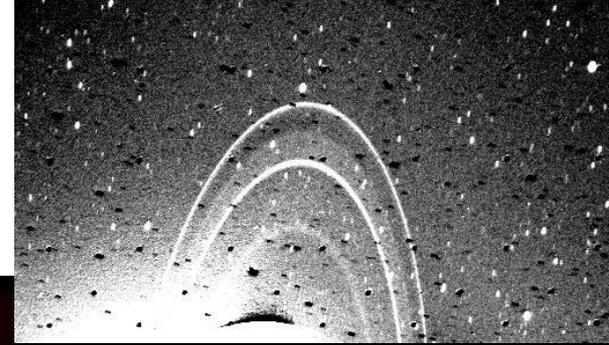
- Экзотические астероиды главного пояса и троянцы
- Системы Урана и Нептуна
- Планета IX и X
- Трехмерная карта Галактики
- Экзопланеты
- Первые звезды и галактики во Вселенной
- Атмосферы и спутники экзопланет
- Темная материя и Темная энергия
- Расширение Вселенной его уточнение и изменение



Экзотические
астероиды
главного пояса
и троянцы



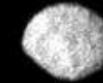
Системы Урана и Нептуна



Тритон



Протей



Ларисса



Нереида



Галатея



Найда

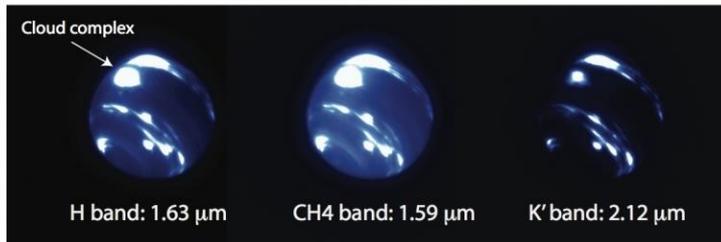


Деспина



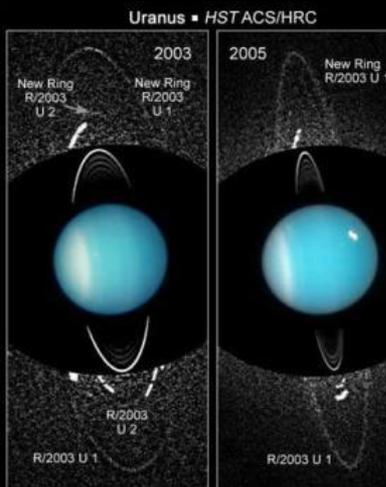
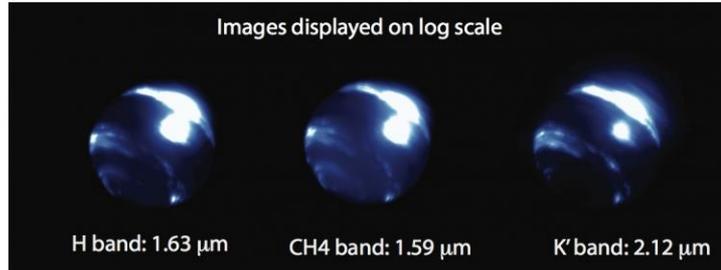
Таласса

Neptune: 26 June 2017

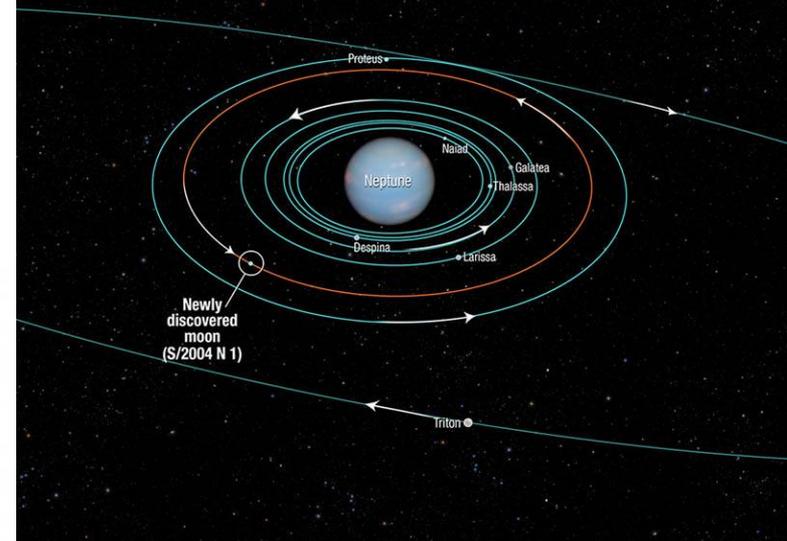


Neptune: 02 July 2017

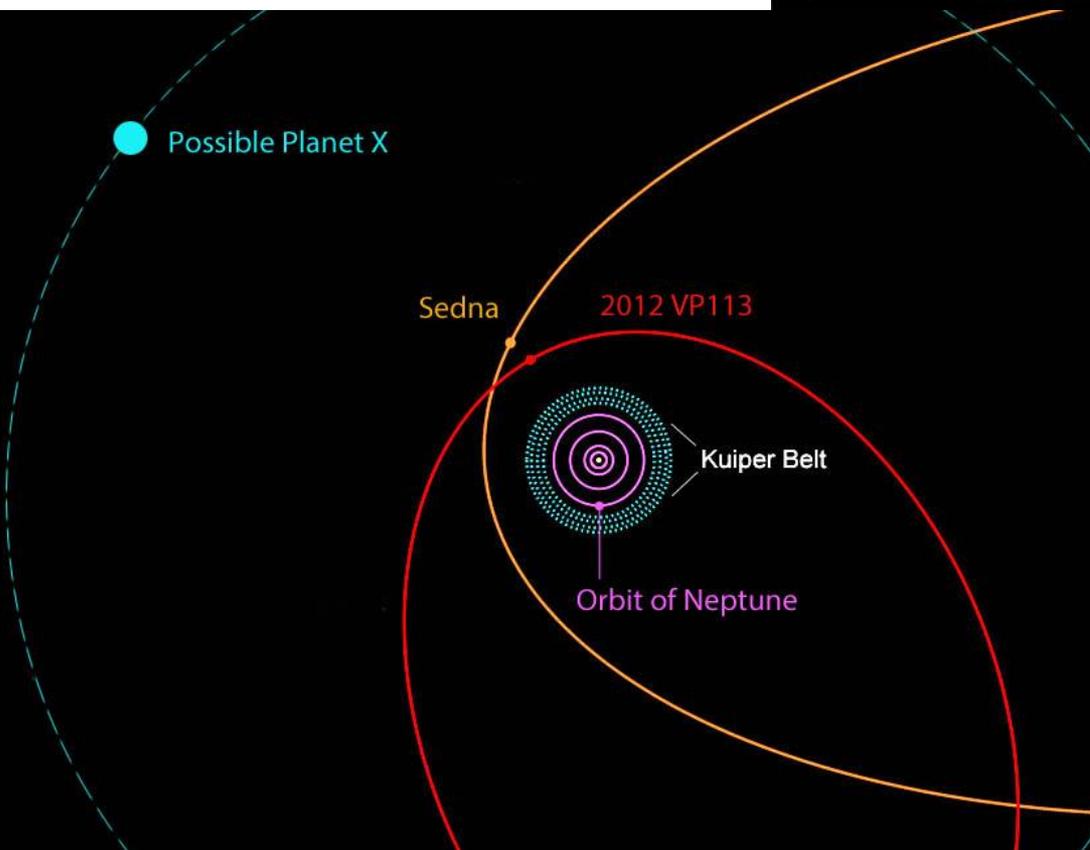
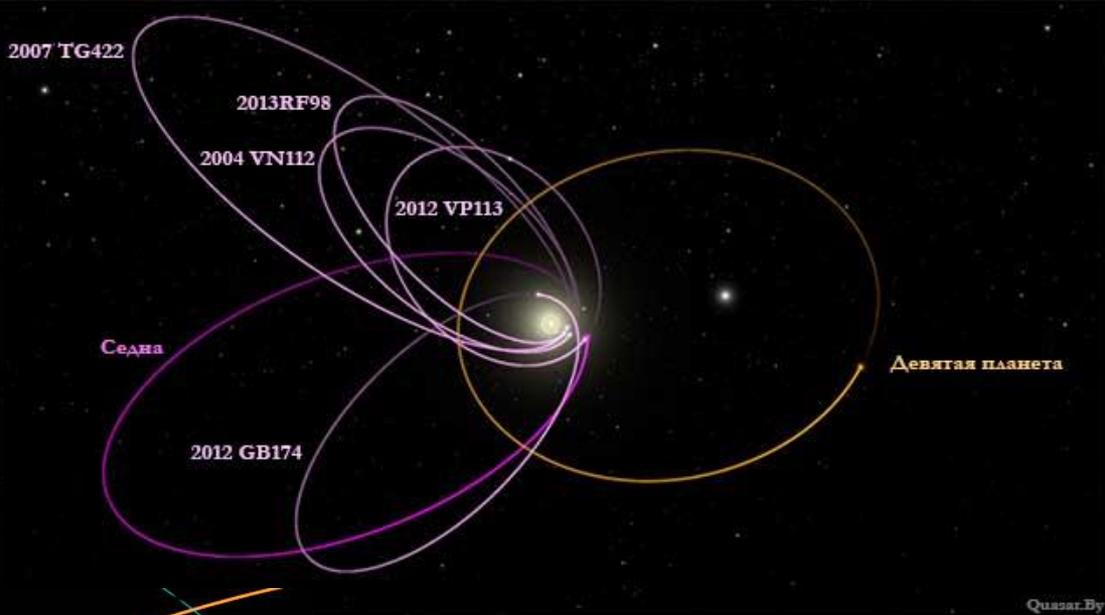
Images displayed on log scale



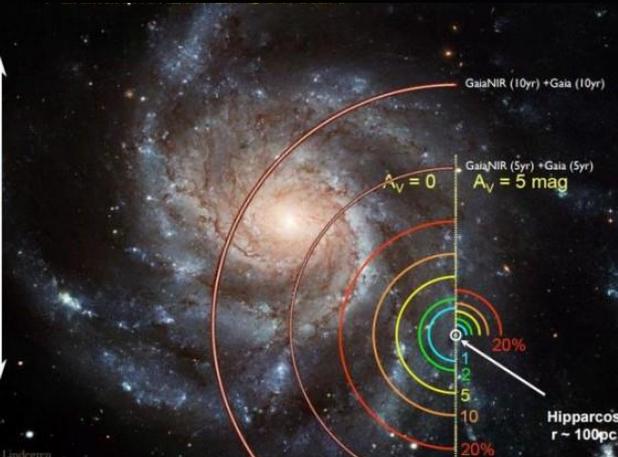
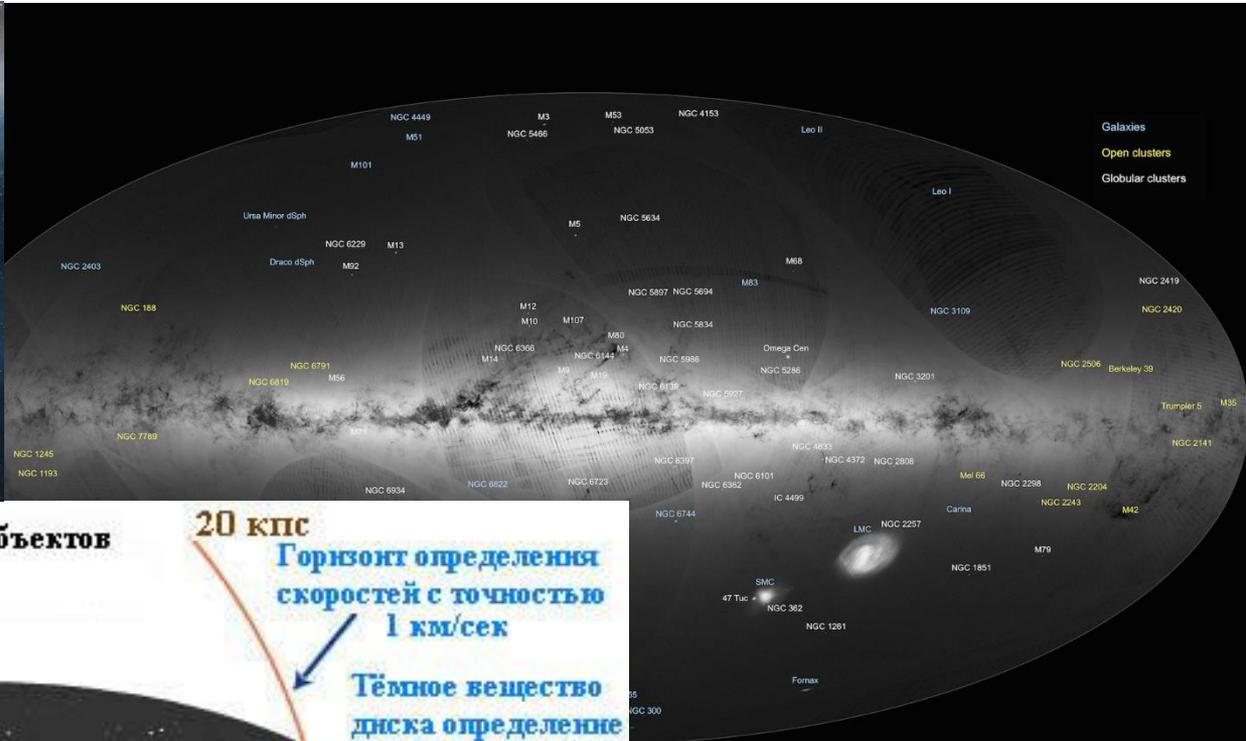
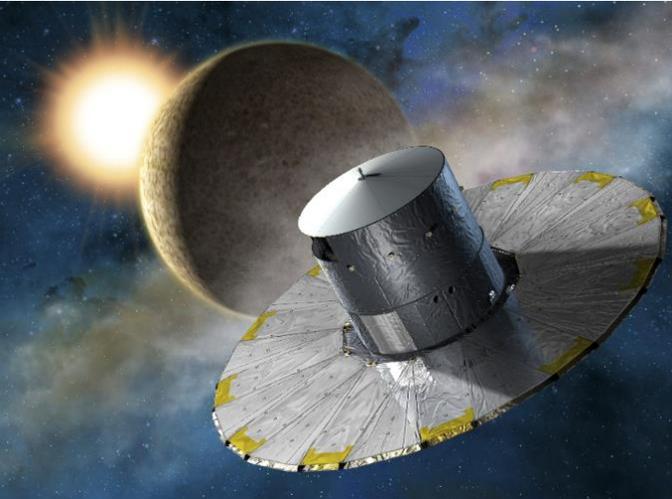
NASA, ESA, and M. Showalter (SETI Institute) • STScI-PRC05-33



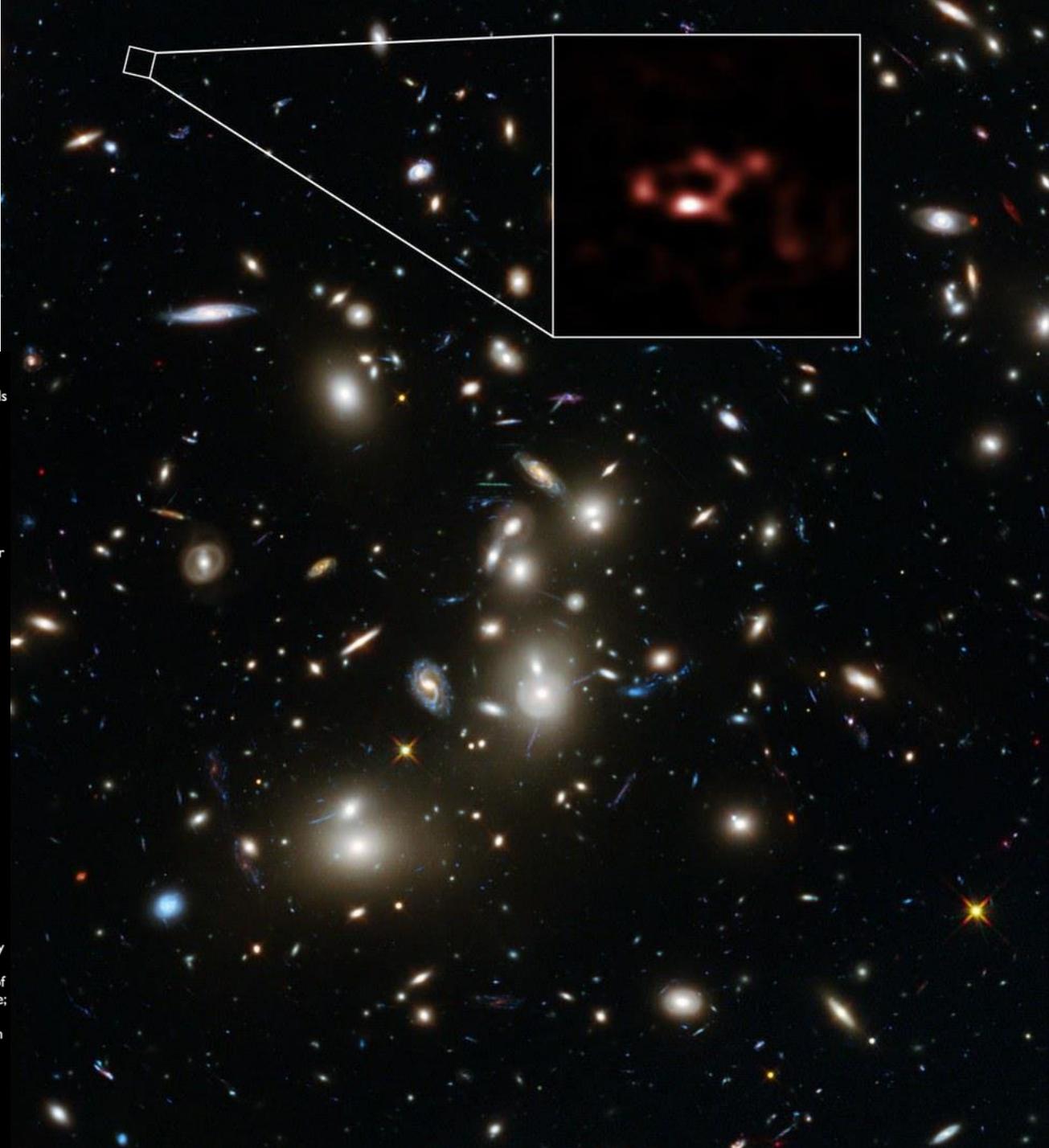
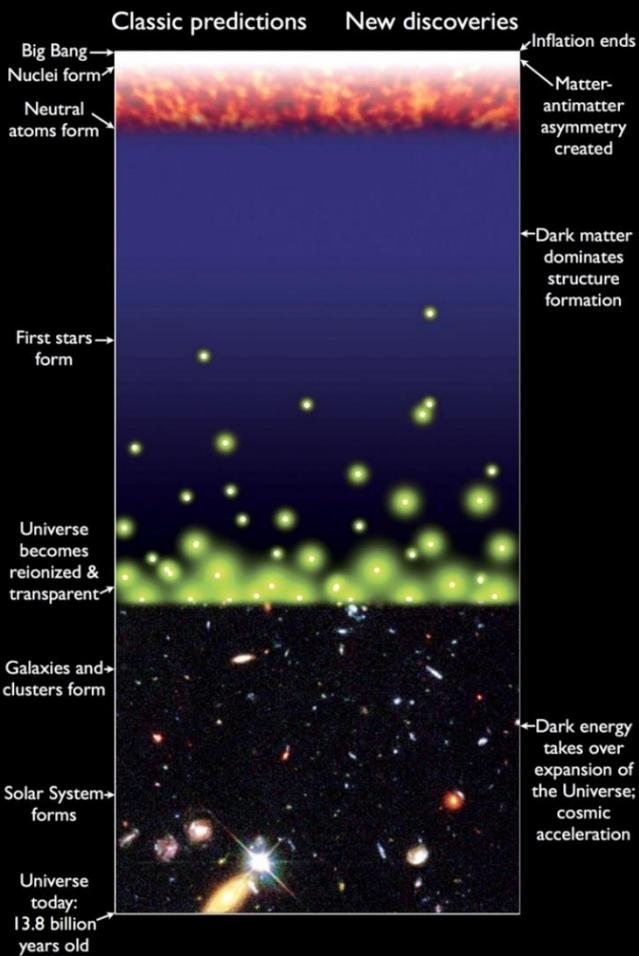
Планета IX и X



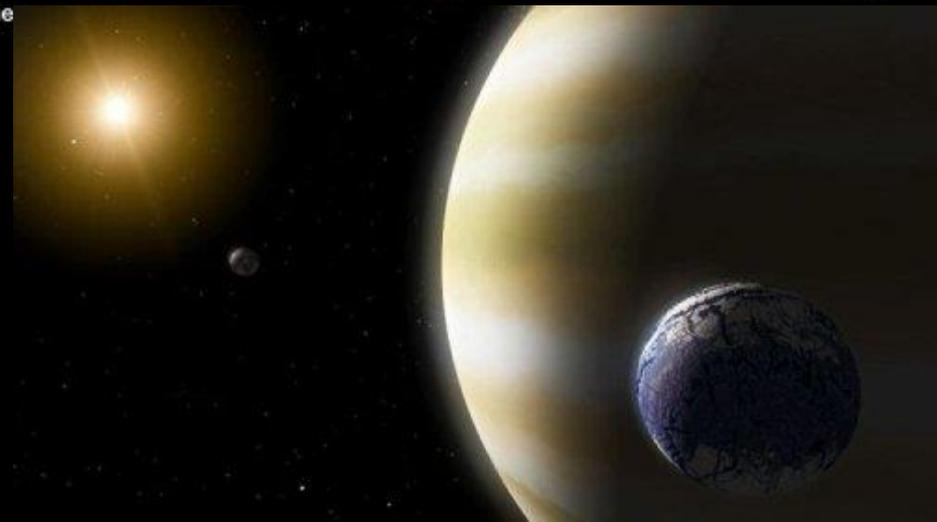
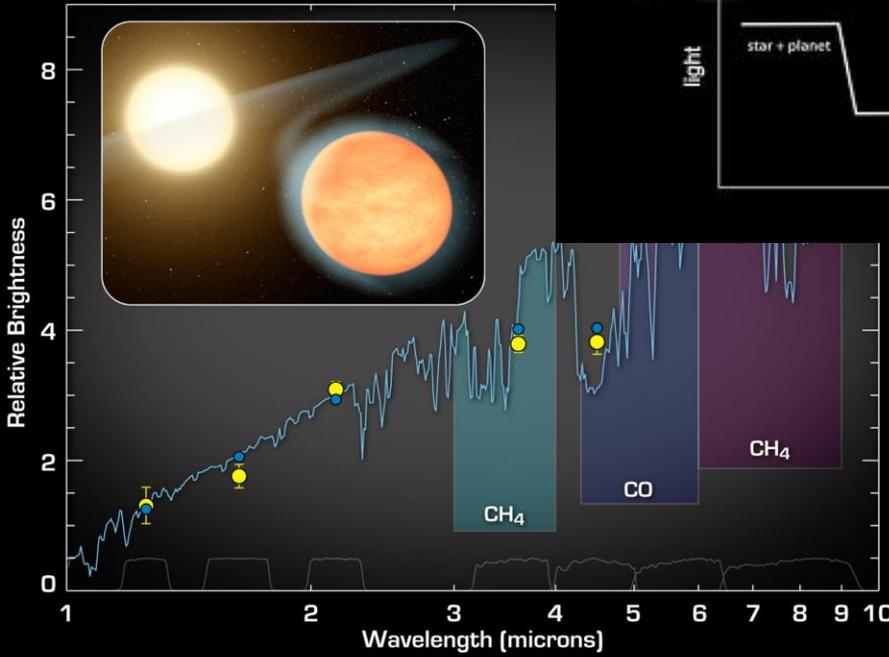
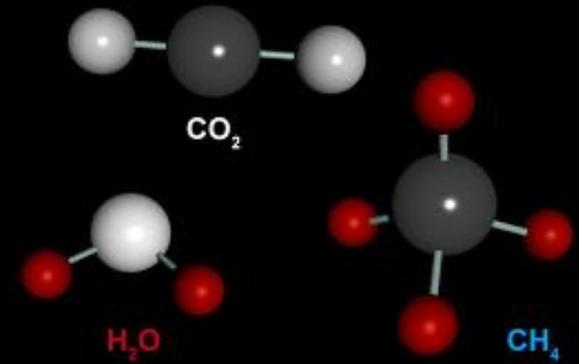
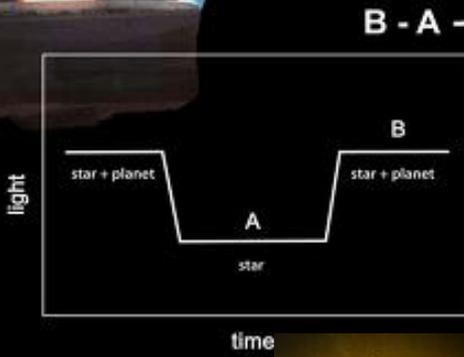
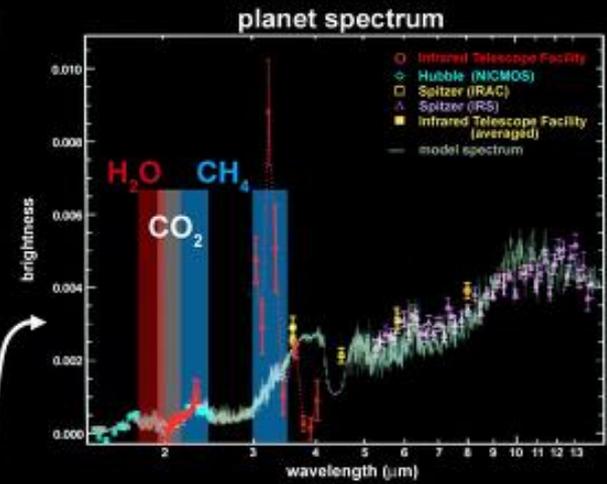
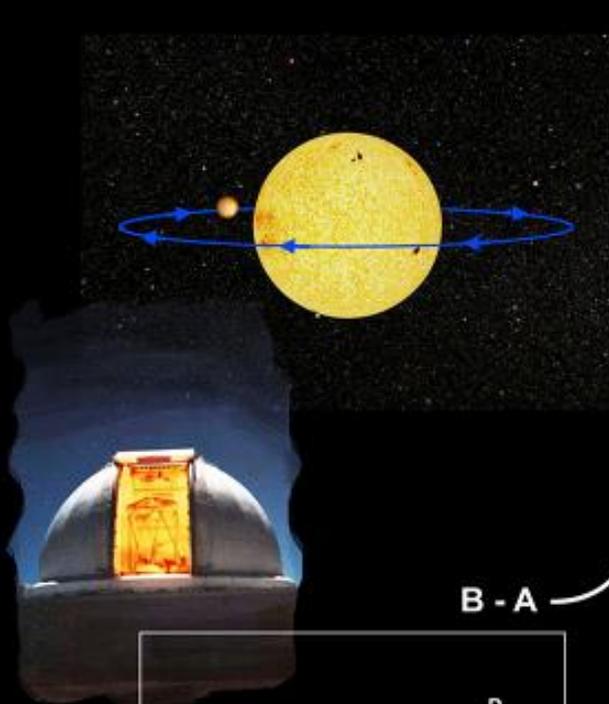
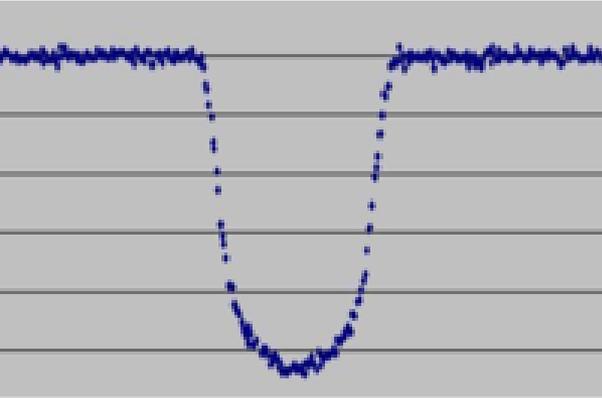
Трёхмерная карта Галактики



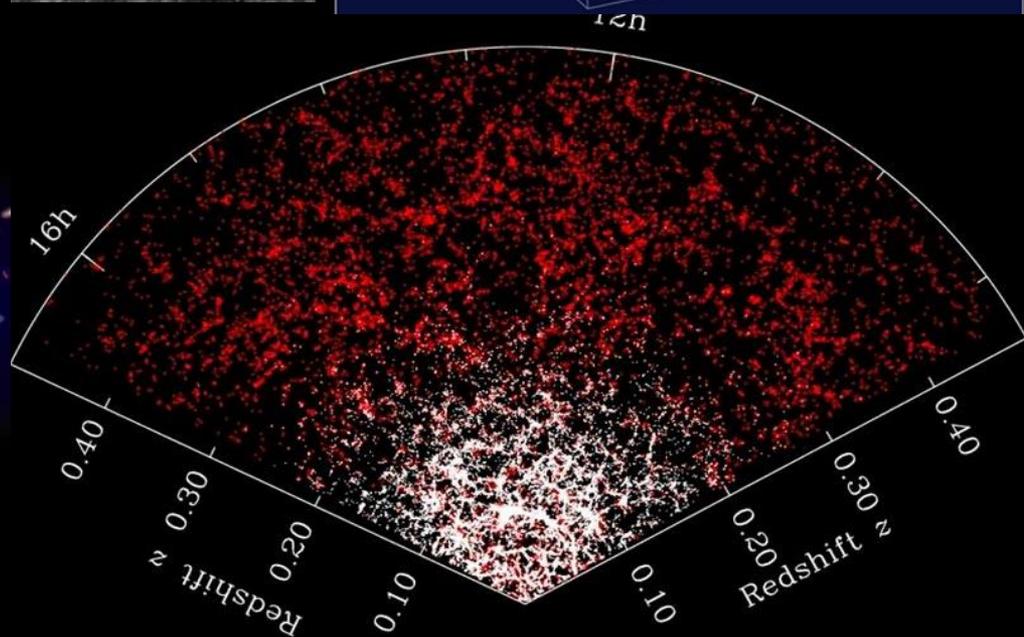
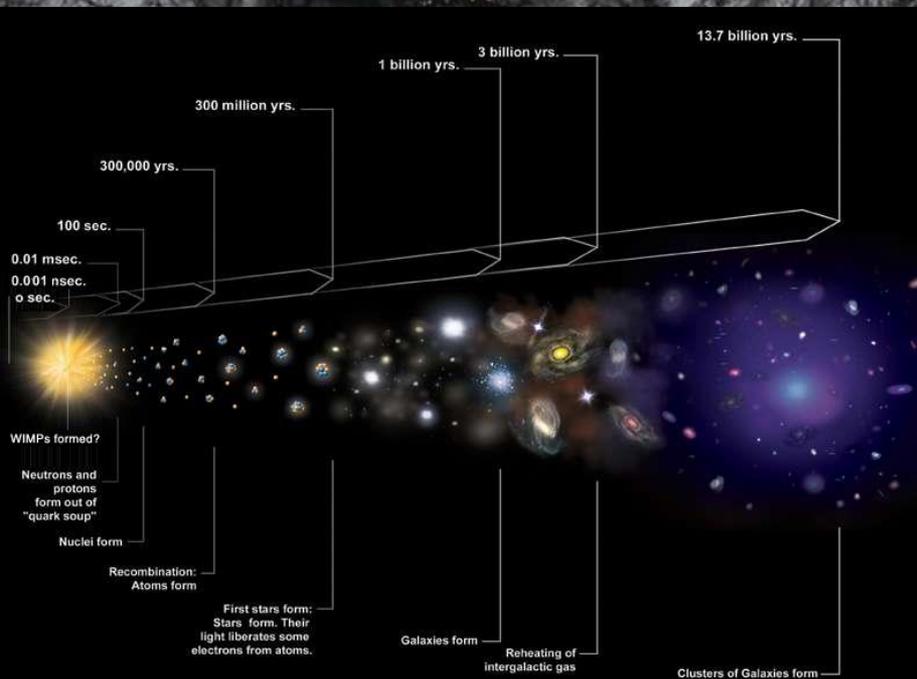
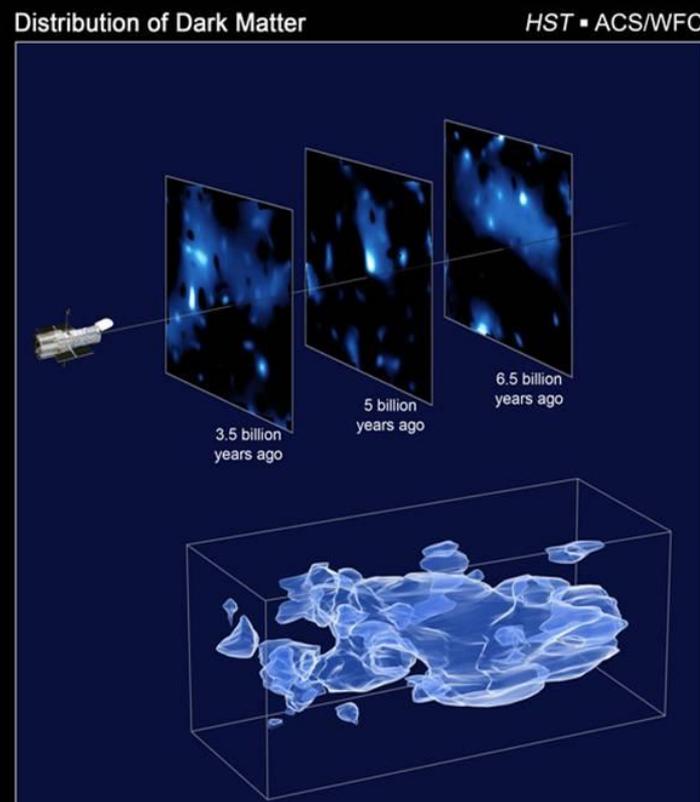
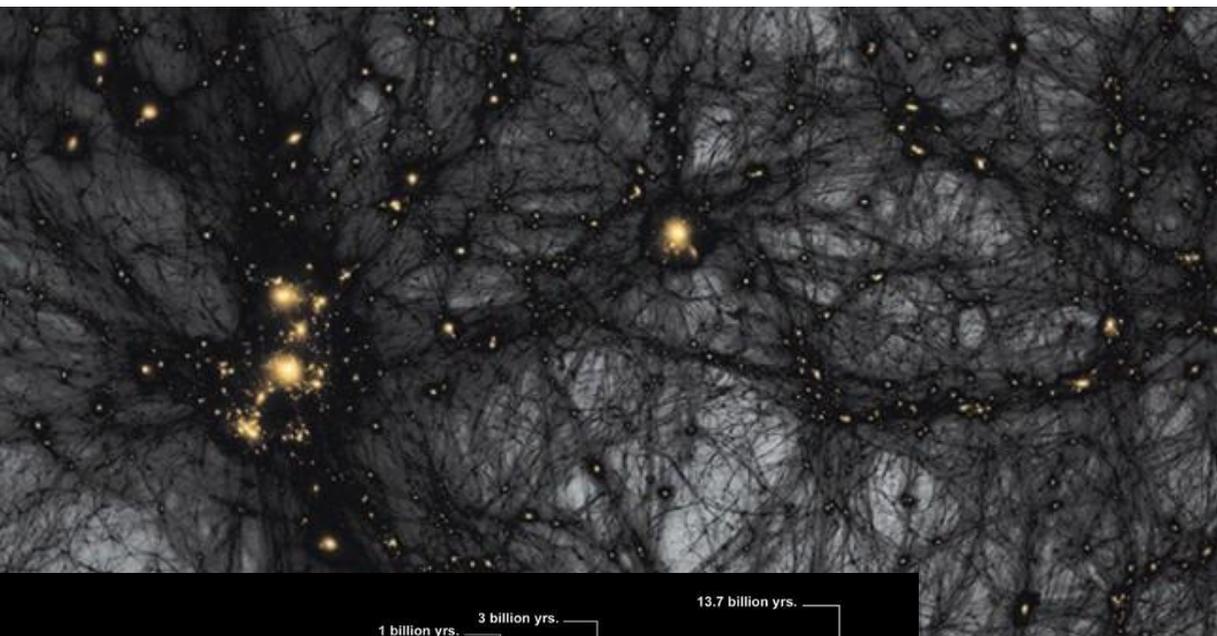
Первые звезды и галактики во Вселенной



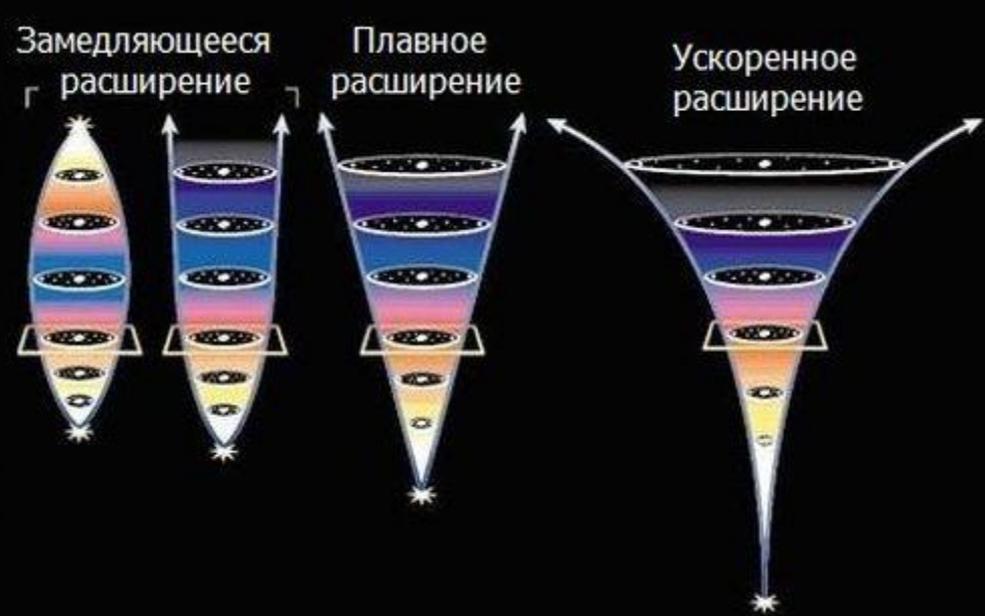
Атмосферы и спутники экзопланет



Темная материя и энергия



Расширение Вселенной его уточнение и изменение



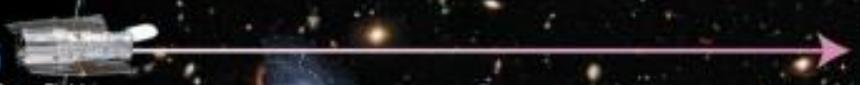
1990

Ground-based observatories



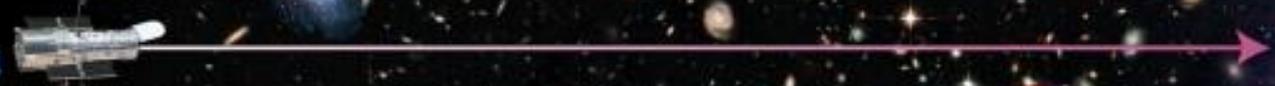
1995

Hubble Deep Field



2004

Hubble Ultra Deep Field



2010

Hubble Ultra Deep Field-IR



FUTURE

James Webb Space Telescope



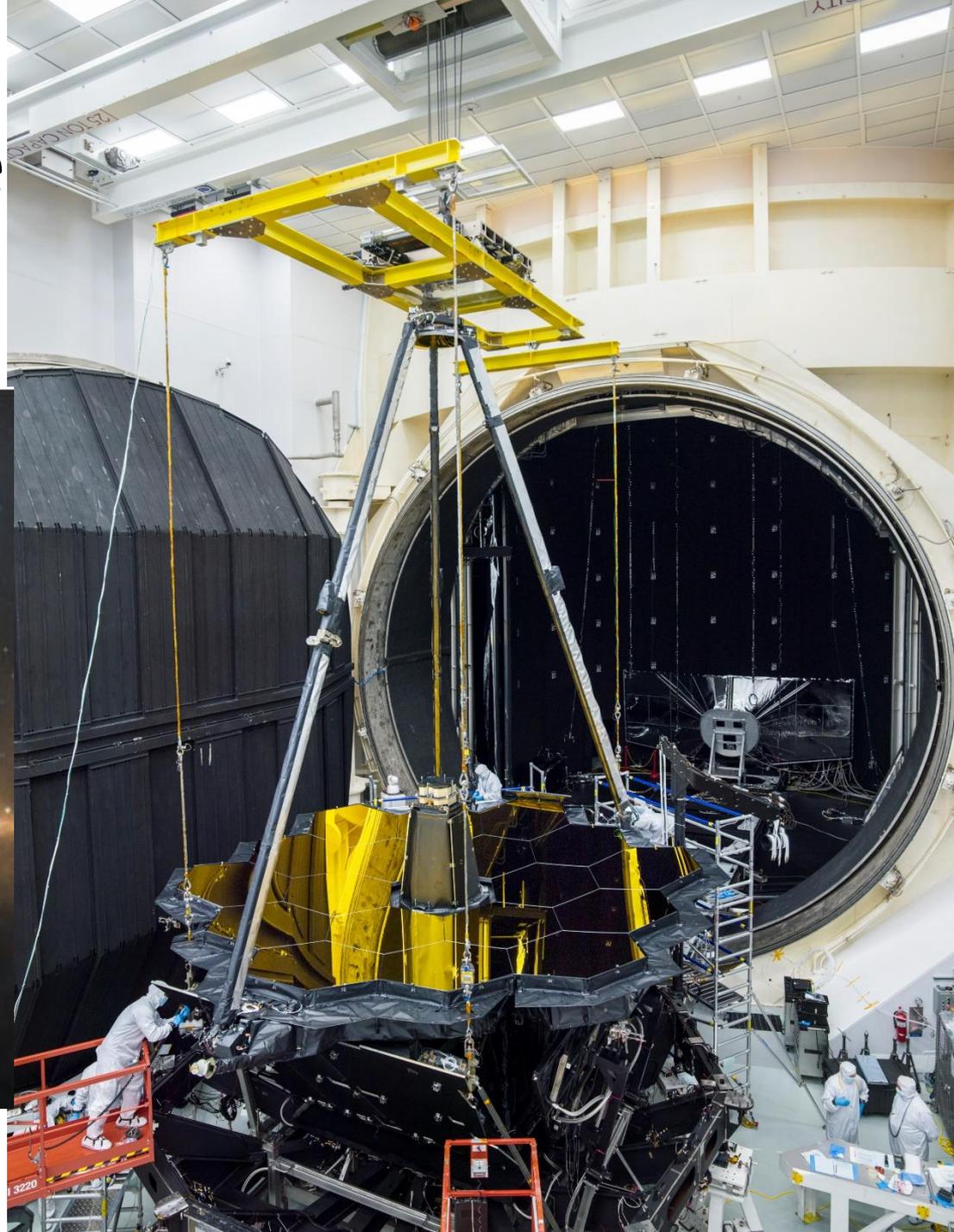
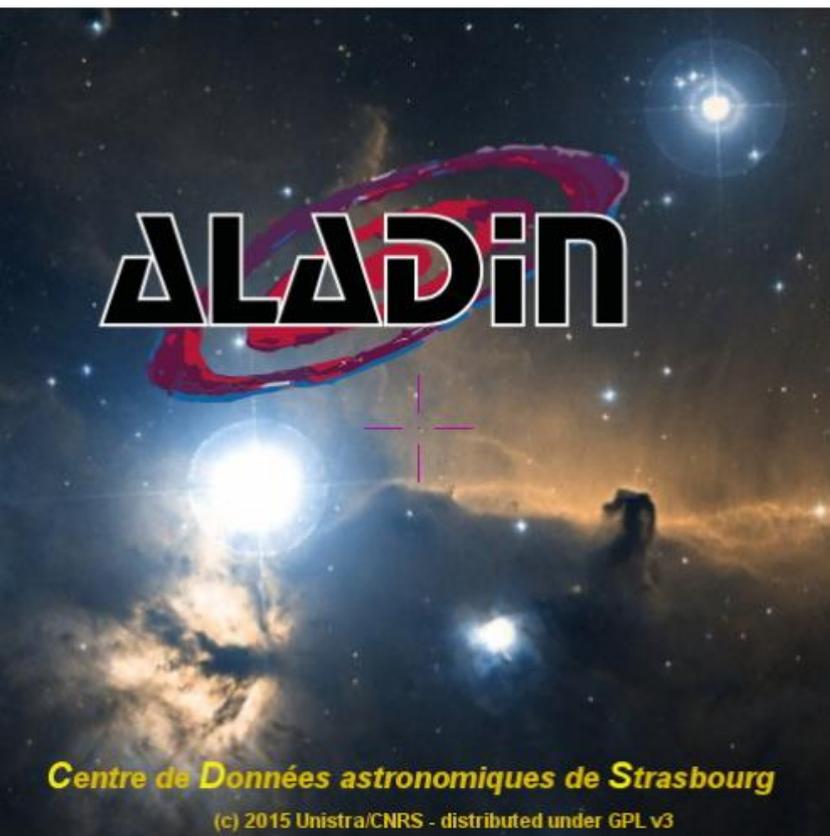
Redshift (z):

Time after the Big Bang Present

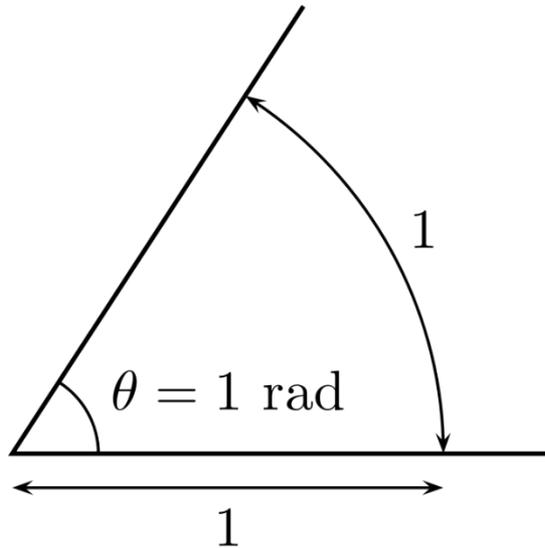
	1	4	5	6	7	8	10	>20
	6 billion years	1.5 billion years			800 million years	480 million years	200 million years	



Информационные технологии



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

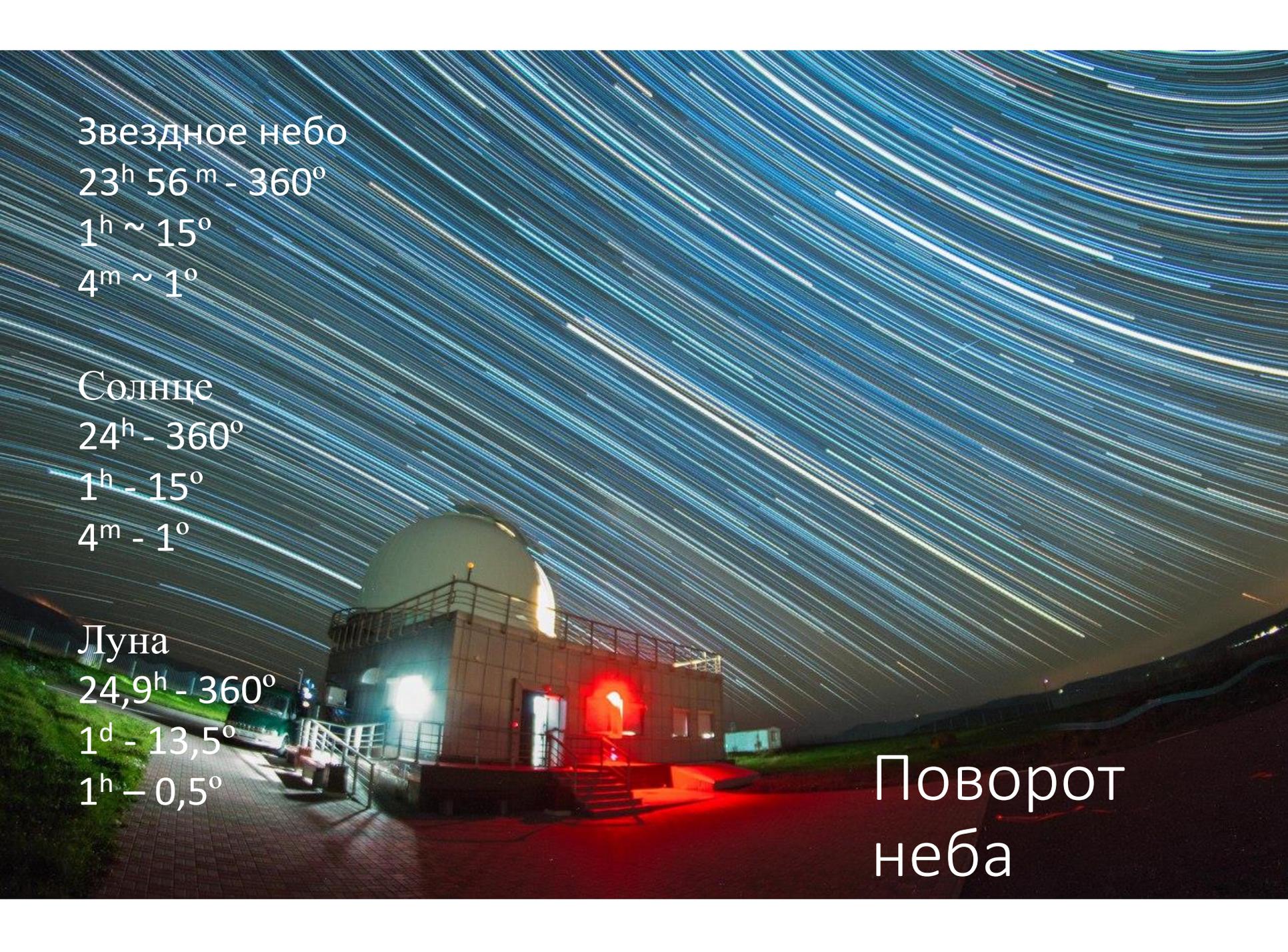
- Радианы

- От 0 до 2π

$$l = \alpha \cdot R$$

- $2\pi - 360^\circ$

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



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

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

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

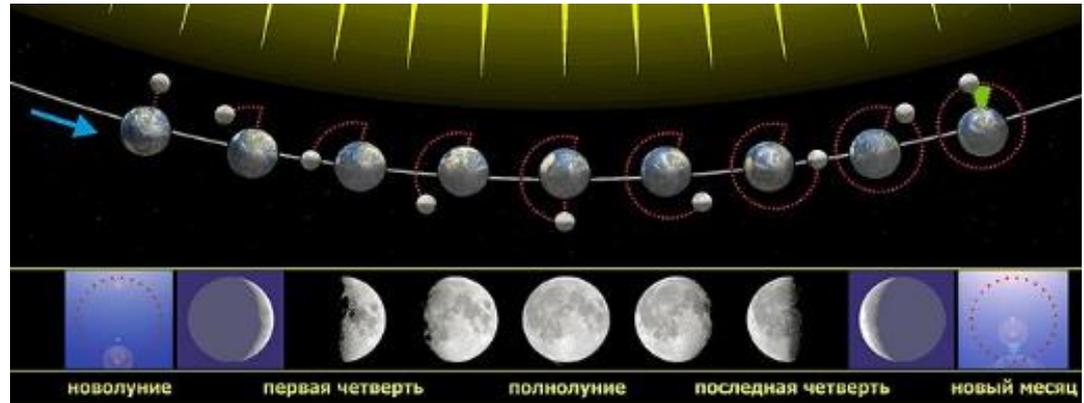
$1^{\text{h}} - 0,5^{\circ}$

Поворот
неба

Задача на

поворот неба

- Чему равны так называемые «Лунные сутки» (Время повторения одного и того же направления на центр лунного диска)? Период обращения Луны $T_L = 27,3$ дня.



- Угловая скорость поворота небесного свода и соответственно Земли составляет:

$$\omega_{зв} = 2\pi / T_{зв}$$

- Угловая скорость движения Луны на небе составляет:

$$\omega_{Луны} = 2\pi / T_{Луны}$$

- Угловая скорость движения Земли по орбите составляет:

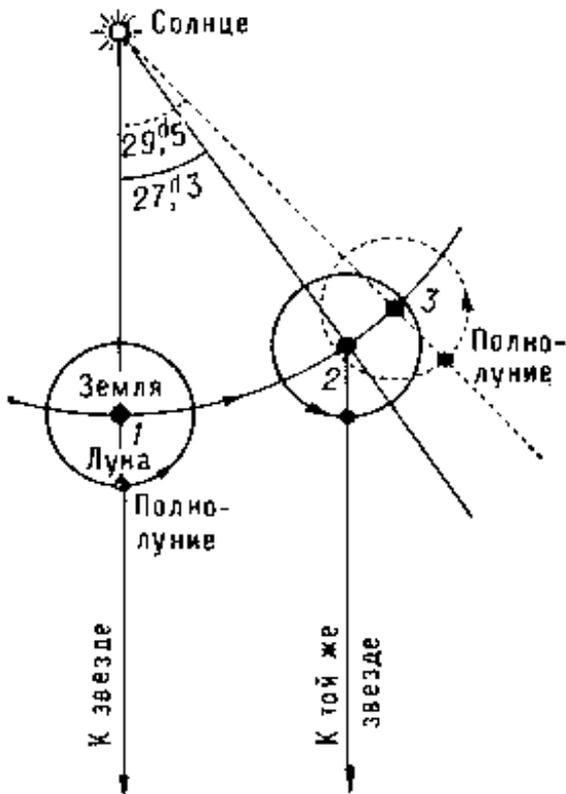
$$\omega_{\oplus} = 2\pi / T_{\oplus}$$

- Поскольку все эти движения происходят в одном направлении то:

$$\omega_{\text{Лунных суток}} = \omega_{зв} - \omega_{Луны} - \omega_{\oplus}$$

- Найдем период:

$$\begin{aligned} \frac{2\pi}{T_{\text{Лунных суток}}} &= \frac{2\pi}{T_{зв}} - \frac{2\pi}{T_{Луны}} - \frac{2\pi}{T_{\oplus}} \\ T_{\text{Лунных суток}} &= \frac{T_{зв} \cdot T_{Луны} \cdot T_{\oplus}}{T_{\oplus} \cdot T_{Луны} - T_{\oplus} \cdot T_{зв} - T_{Луны} \cdot T_{зв}} \\ T_{\text{Лунных суток}} &= \frac{0,9973 \cdot 27,3 \cdot 365,2425}{365,2425 \cdot 27,3 - 365,2425 \cdot 0,9973 - 27,3 \cdot 0,9973} \\ &= 1,038 \text{ суток} \approx 24,9 \text{ часа} \end{aligned}$$



Задачи на горизонт и понижение горизонта



- Найдите расстояние до горизонта и величину понижения горизонта для наблюдателя находящегося на останкинской телебашне 535 м, если радиус Земли взять 6371 км



- Понижение горизонта

$$\text{Угол } \gamma = \cos^{-1}\left(\frac{R}{R+h}\right) = \cos^{-1}\left(\frac{6371}{6371+0.535}\right) = 0,74^\circ \approx 0.013 \text{ рад}$$

- Расстояние до горизонта по Земле - s

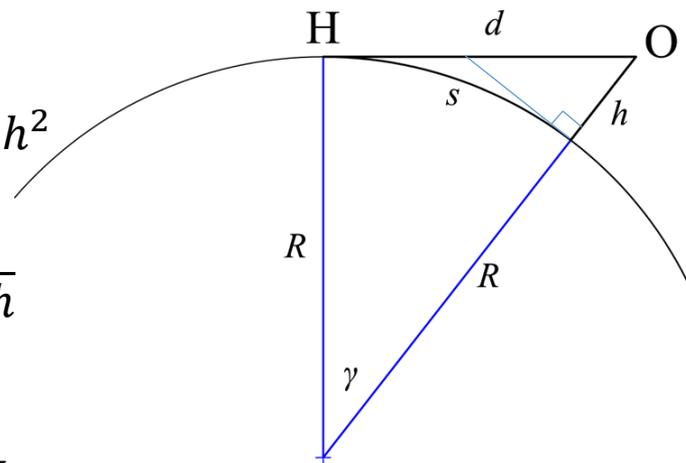
$$s = \gamma \cdot R = 0.013 \cdot 6371 \approx 82.6 \text{ км} \approx 83 \text{ км}$$

- Расстояние до горизонта по прямой - d

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

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

$$d \approx \sqrt{2Rh} \approx \sqrt{2 \cdot 6371 \cdot 0.535} \approx 82.6 \approx 83 \text{ км}$$



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

- **Малые круги**

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

Сумерки

- **Гражданские**

В интервале гражданских сумерек есть возможность наблюдать ярчайшие небесные светила, например, Венеру (Венера иногда может быть видна и днём при солнечном свете). Считается, что в это время на открытом месте можно без искусственного освещения выполнять любые работы.

- До -6°

- **Морские или навигационные**

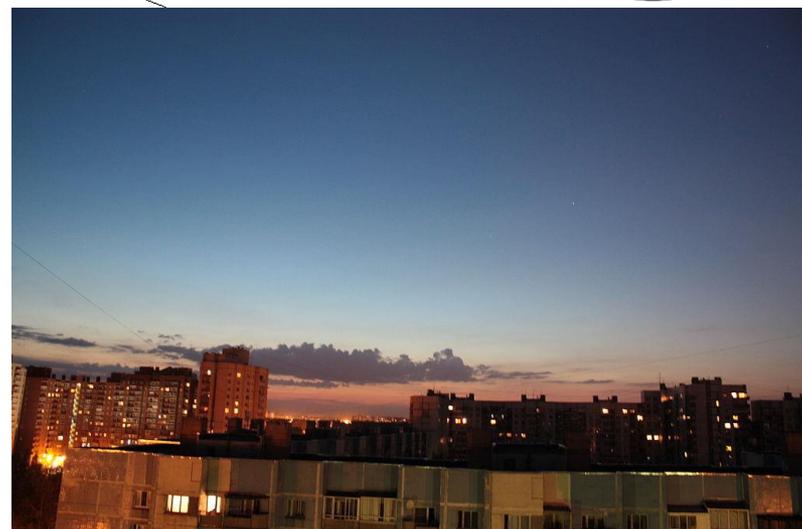
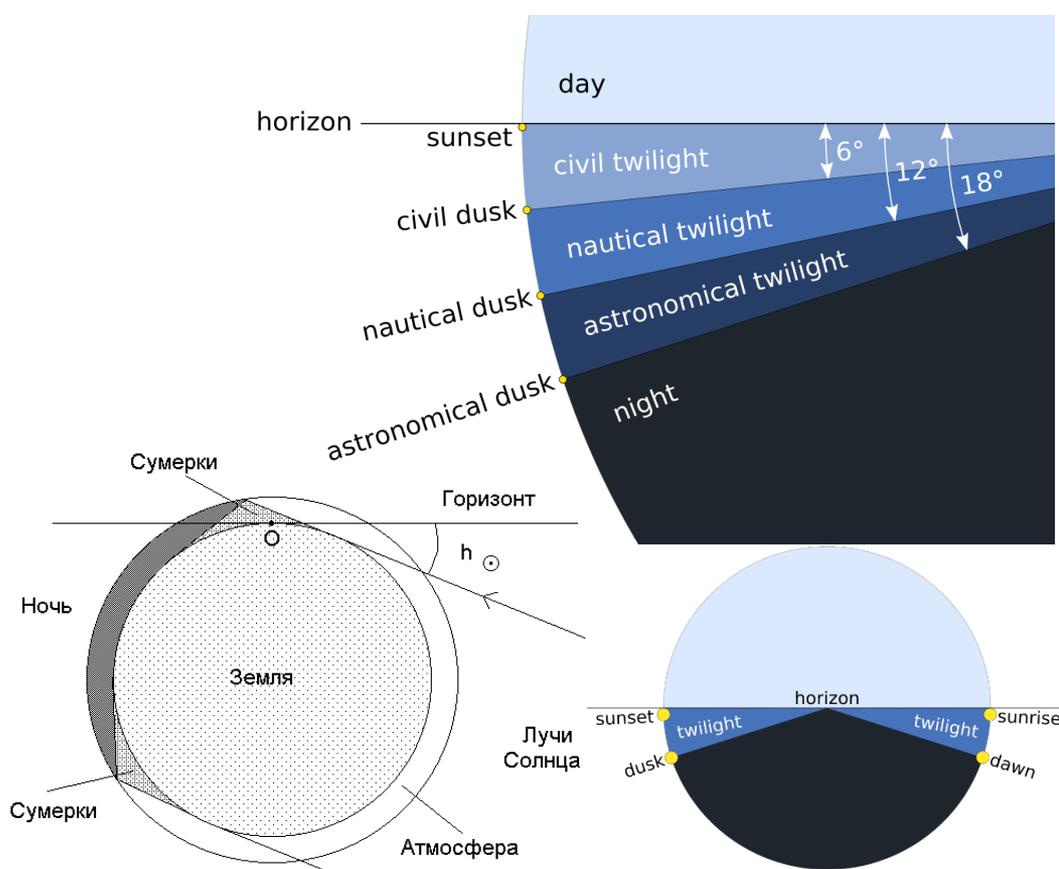
Считается, что в интервале угла нахождения Солнца под горизонтом от 6° до 12° уже хорошо видны все навигационные звезды и всё еще видна линия горизонта, что позволяет судоводителю использовать секстант для измерения угла между небесными светилами и видимым горизонтом. Тем не менее, такого освещения недостаточно для нормальной жизнедеятельности человека (освещение на улице ближе к ночному, чем к вечернему в классическом понимании), поэтому улицы населённых пунктов нуждаются в искусственном освещении.

- От -6° до -12°

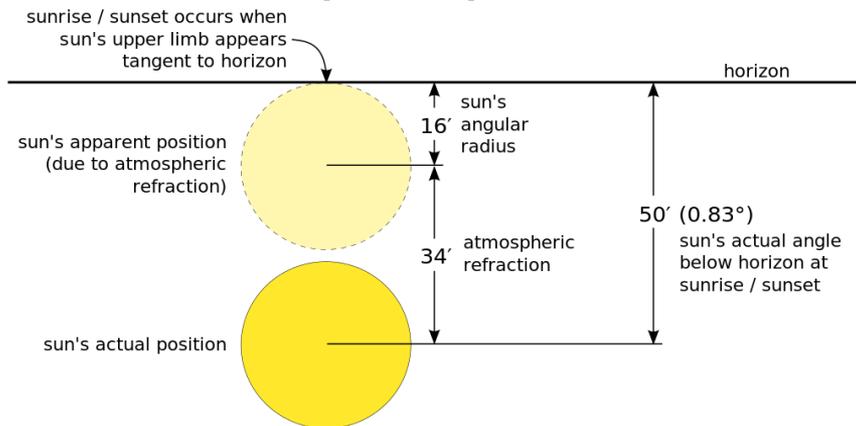
- **Астрономические**

В интервале угла нахождения Солнца под горизонтом от 12° до 18° большинство случайных наблюдателей отмечают, что все небо уже полностью тёмное и практически не отличается от ночного. В это время астрономы могут легко проводить наблюдения над небесными светилами, например звёздами, но слабо рассеивающие объекты — туманности и галактики — могут быть хорошо видны в период между астрономическими сумерками, то есть в период астрономической ночи.

- От -12° до -18°



Продолжительность сумерек



- Угол захода светила $90^\circ - \varphi$
- Составляющая перпендикулярная горизонту

$\omega_{\text{захода}}$

$$= \omega_{\text{движения}} \cdot \sin(90^\circ - \varphi) = \omega_{\text{движения}} \cdot \cos \varphi$$

- Продолжительность сумерек

$$t_{\text{сумерек}} = \frac{h_{\text{сумерек}} + d_{\text{рефракции}} + r_{\text{объекта}}}{\omega_{\text{движения}} \cdot \cos \varphi}$$

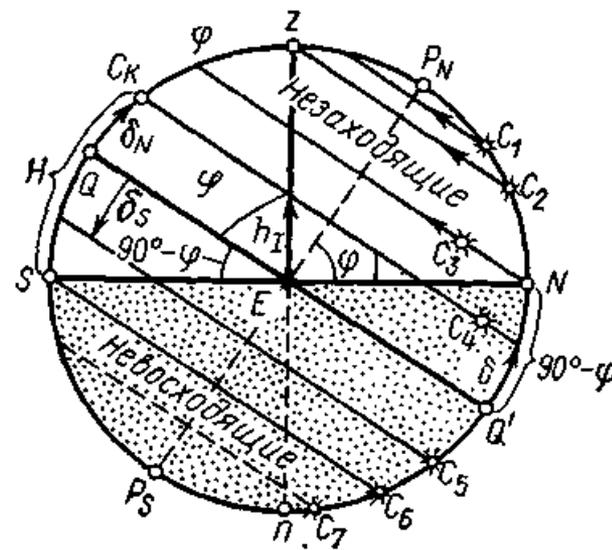


Рис. 18

Задача на продолжительность сумерек



- На каких широтах на Земле в течении всей ночи длятся гражданские, навигационные и астрономические сумерки?

- Сумерки не заканчиваются, если нижняя кульминация Солнца меньше или равна граничной глубине погружения для заданного вида сумерек в день одного из солнцестояний

$$h_{\text{граничное}} \leq h_{\text{н.к.}\odot} \quad h_{\text{граничное}} \leq -(90^\circ - \varphi) + \delta_{\odot} \leq -(90^\circ - \varphi) + \varepsilon$$

- Гражданские:

$$h_{\text{граничное}} = -6^\circ = \varphi - 90^\circ + 23,5^\circ \Rightarrow \varphi = 60,5^\circ$$

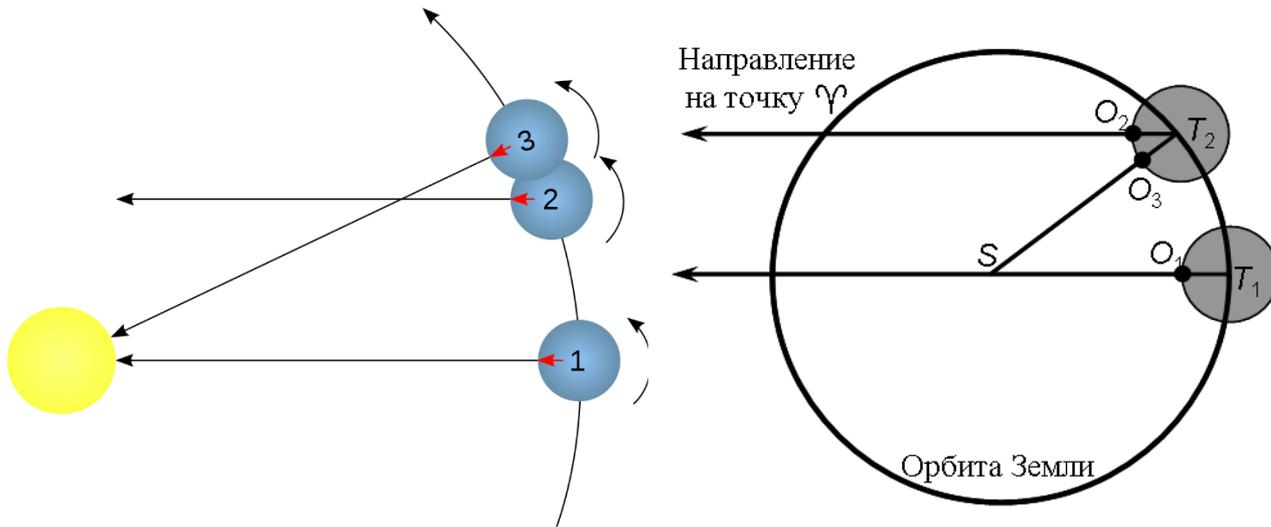
- Морские:

$$h_{\text{граничное}} = -12^\circ = \varphi - 90^\circ + 23,5^\circ \Rightarrow \varphi = 54,5^\circ$$

- Астрономические:

$$h_{\text{граничное}} = -18^\circ = \varphi - 90^\circ + 23,5^\circ \Rightarrow \varphi = 48,5^\circ$$

Звездные и Солнечные сутки



Планета вращается вокруг своей оси в инерциальной системе отсчета, то ее угловая скорость:

$$\omega_{\text{звездное}} = 2\pi/P$$

Угловая скорость движения планеты по орбите составляет:

$$\omega_{\text{орбитальное}} = 2\pi/T_{\text{планеты}}$$

То солнечные сутки будут иметь следующую угловую скорость:

$$\omega_{\text{солнечных суток}} = \omega_{\text{звездное}} + \omega_{\text{орбитальное}}$$

- **Солнечные сутки** - промежуток времени, за который небесное тело совершает один поворот вокруг своей оси относительно центра Солнца
- **Звездные сутки** - период вращения какого-либо небесного тела вокруг собственной оси в инерциальной системе отсчёта, за которую обычно принимается система отсчёта, связанная с удалёнными звёздами. Для Земли это время, за которое Земля совершает один оборот вокруг своей оси по отношению к далёким звёздам.

Задача на звездные и солнечные сутки

- Какую продолжительность имели бы солнечные сутки на Земле, если бы земля вращалась бы вокруг своей оси в обратную сторону относительно движения вокруг Солнца?

Планета вращается вокруг своей оси в инерциальной системе отсчета, то ее угловая скорость:

$$\omega_{\text{звездное}} = 2\pi/P$$

Угловая скорость движения планеты по орбите составляет:

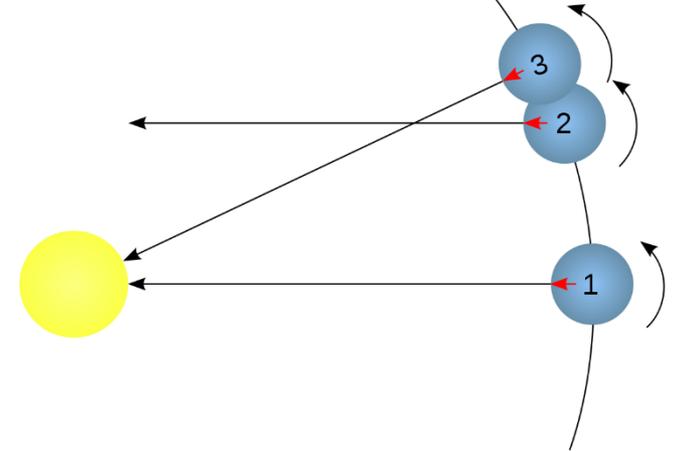
$$\omega_{\text{орбитальное}} = 2\pi/T_{\text{планеты}}$$

То солнечные сутки будут иметь следующую угловую скорость:

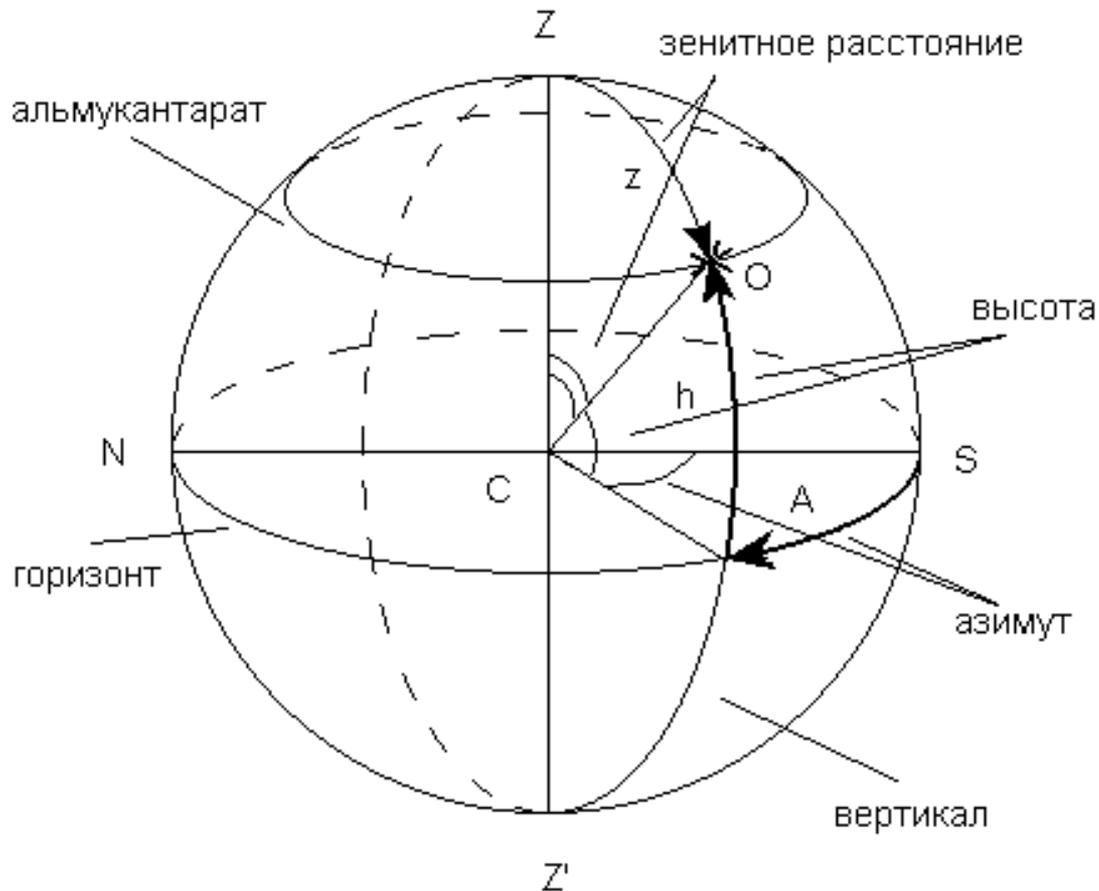
$$\omega_{\text{солнечных суток}} = \omega_{\text{звездное}} - \omega_{\text{орбитальное}}$$

В случае вращения со направленного скорости вычитаются, а в случае разнонаправленного движения складываются:

$$T_{\text{Солнечных суток}} = \frac{P \cdot T_{\text{планеты}}}{T_{\text{планеты}} + P} = \frac{0,9973 \cdot 365,2425}{365,2425 + 0,9973} = 0,9946 \approx 23 \text{ часа } 52 \text{ минуты}$$



Горизонтальные координаты

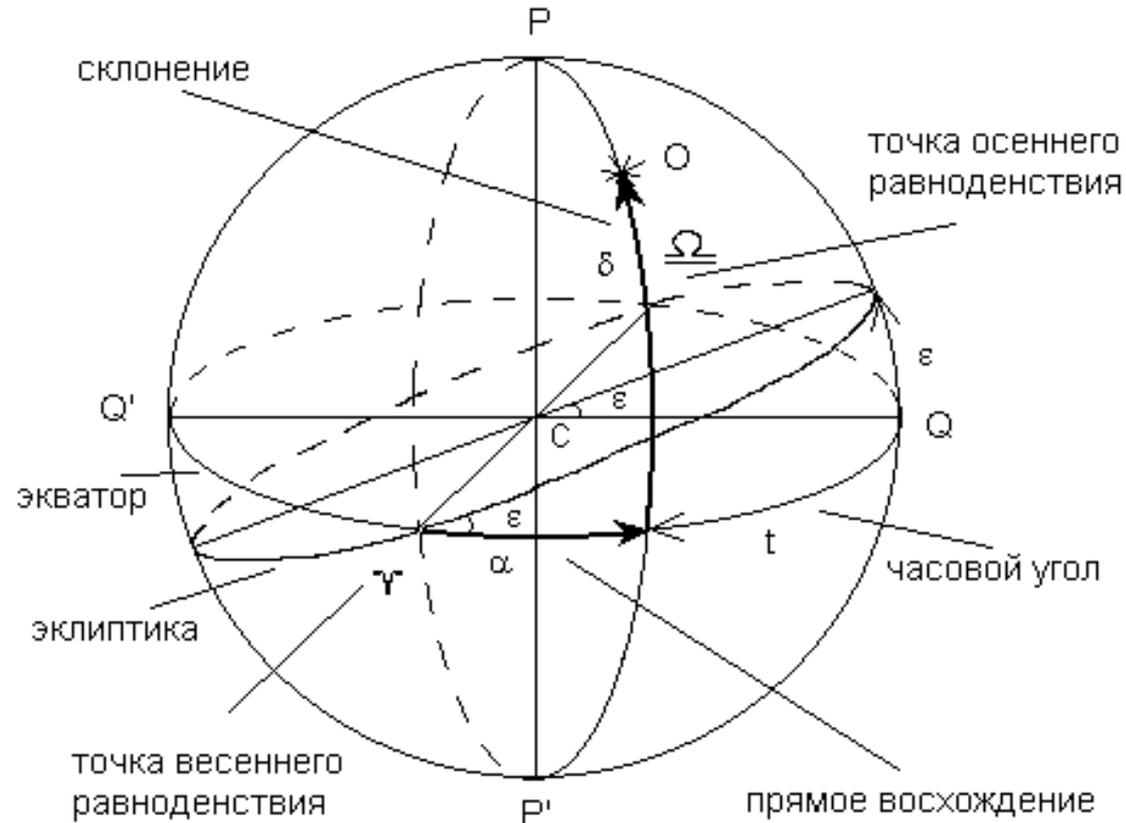


- Азимут - Az
 - Угол в плоскости горизонта от точки Юга (S) от 0° до 360° , или от 0° до 180° к W, и 0° до -180° к E,
- Высота - h
 - Угол в плоскости вертикала от математического горизонта до светила. От -90° до 90°
- Зенитное расстояние
 - Угол в плоскости вертикала от зенита Z до светила. От 0° до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

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

Небесные координаты

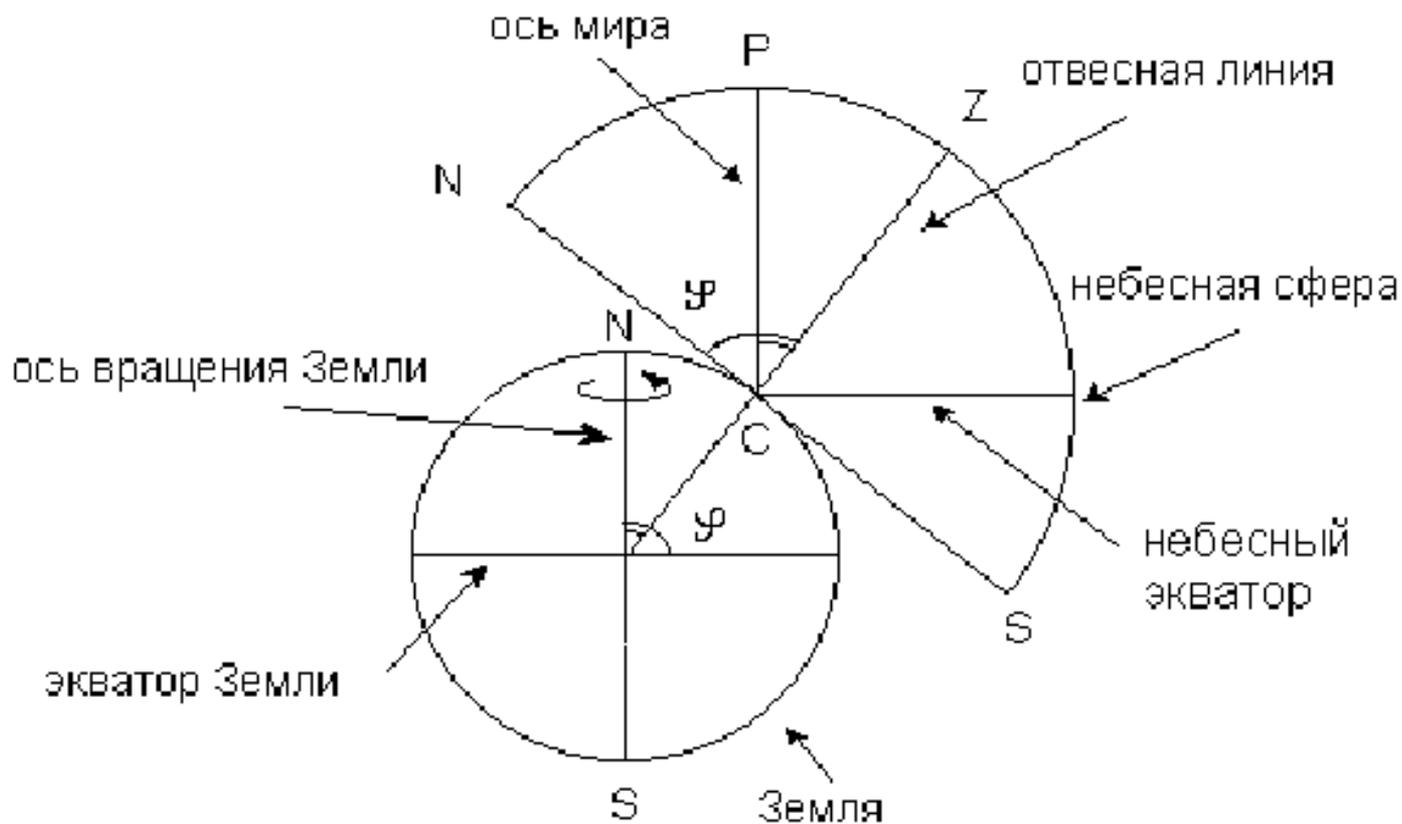
- Прямое восхождение - α
 - Угол в плоскости небесного экватора от точки В.Р. к востоку от 0^h до 24^h
- Часовой угол - t
 - Угол в плоскости небесного экватора от точки пересечения небесного экватора с небесным меридианом к западу от 0^h до 24^h
- Склонение - δ
 - Угол в плоскости круга склонения от 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' ($\delta = -90^\circ$)



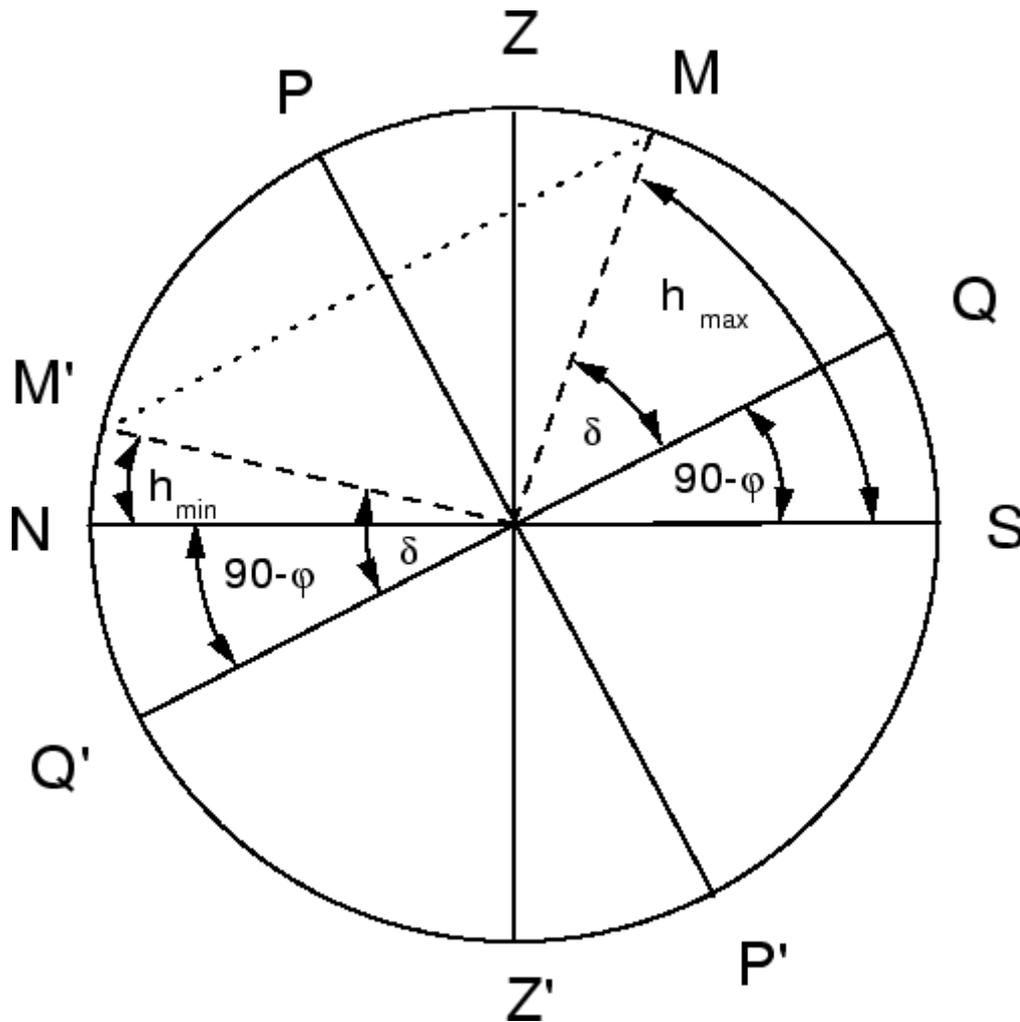
$$\delta + p = 90^\circ$$

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

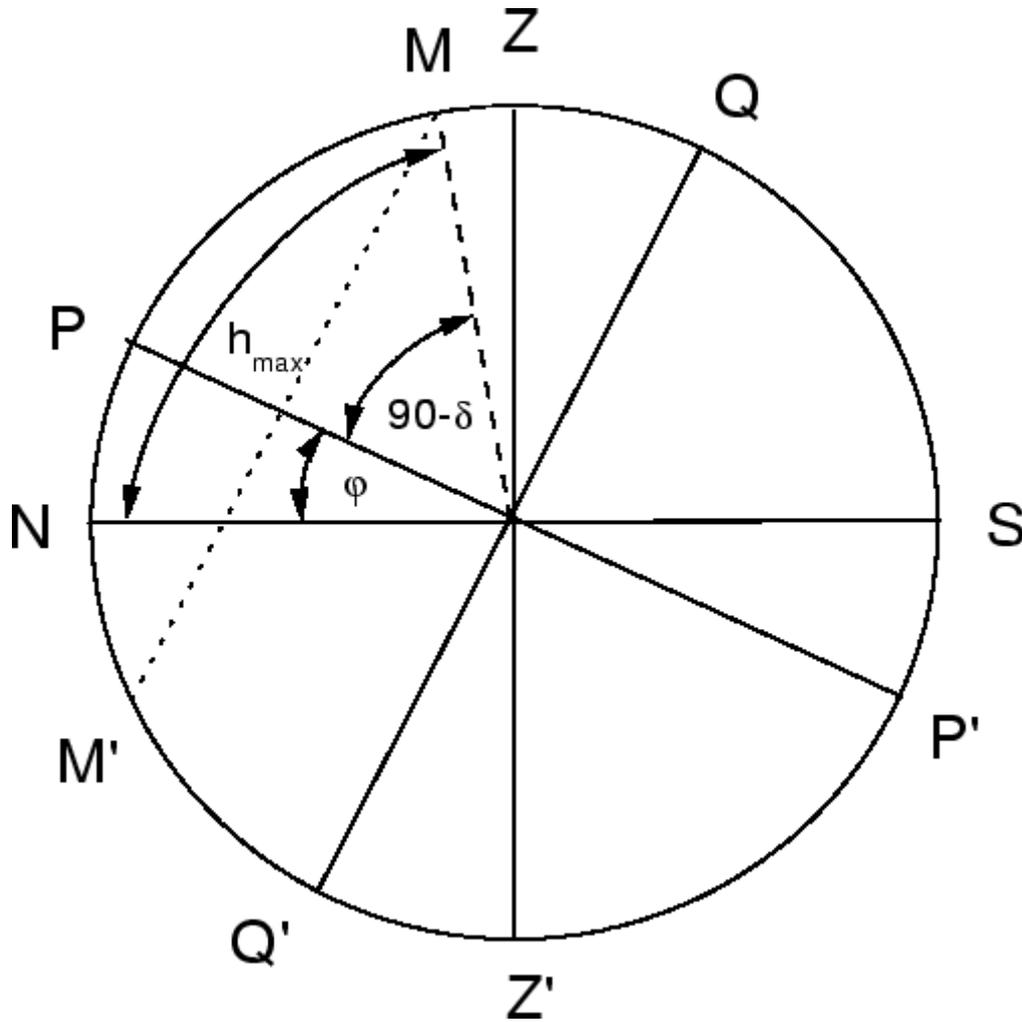


Нижняя и верхняя кульминация



- 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 $\delta > \varphi$
- $h_{\text{В.К.}} = 90^\circ - \varphi + \delta > 90^\circ$
- $h_{\text{Н.К.}} = 180^\circ - (90^\circ - \varphi +$

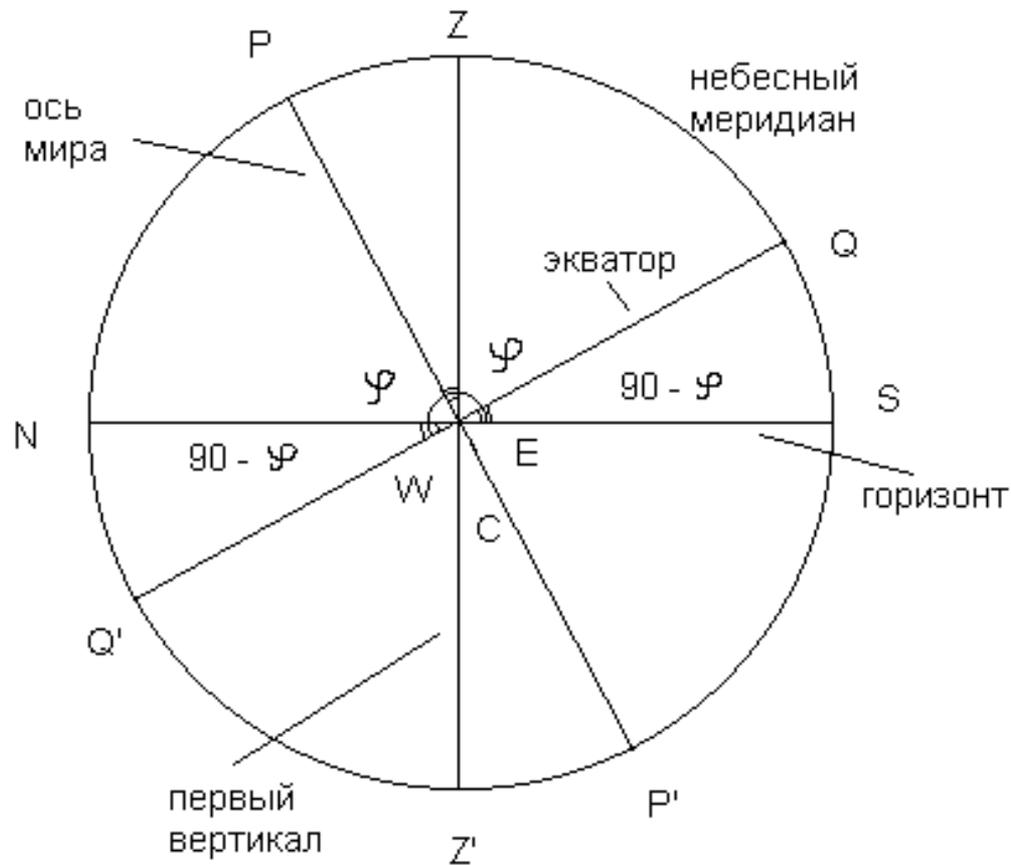
Задачи на моменты кульминаций



- 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
- $h_{\text{в.к.}} = 90^\circ - 56^\circ - 23.5^\circ = 10.5^\circ$

Задачи на моменты кульминаций



- Чему равно склонение светила δ , если его зенитное расстояние в момент верхней кульминации составляет $z = 10^\circ$ на широте Москвы $\varphi = 56^\circ$?

- 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
- $h_{\text{в.к.}} = 90^\circ - z$
- $h_{\text{в.к.}} = 90^\circ - \varphi + \delta$
- $z = \varphi - \delta \Rightarrow \delta = \varphi - z$
- $\delta = 56^\circ - 10^\circ = 46^\circ$
- Случай когда $\delta > \varphi$ зенитное расстояние в сторону севера по небесному меридиану
- $h_{\text{в.к.}} = 90^\circ - z$
- $h_{\text{в.к.}} = 90^\circ + \varphi - \delta$
- $z = \delta - \varphi \Rightarrow \delta = \varphi + z$
- $\delta = 56^\circ + 10^\circ = 66^\circ$

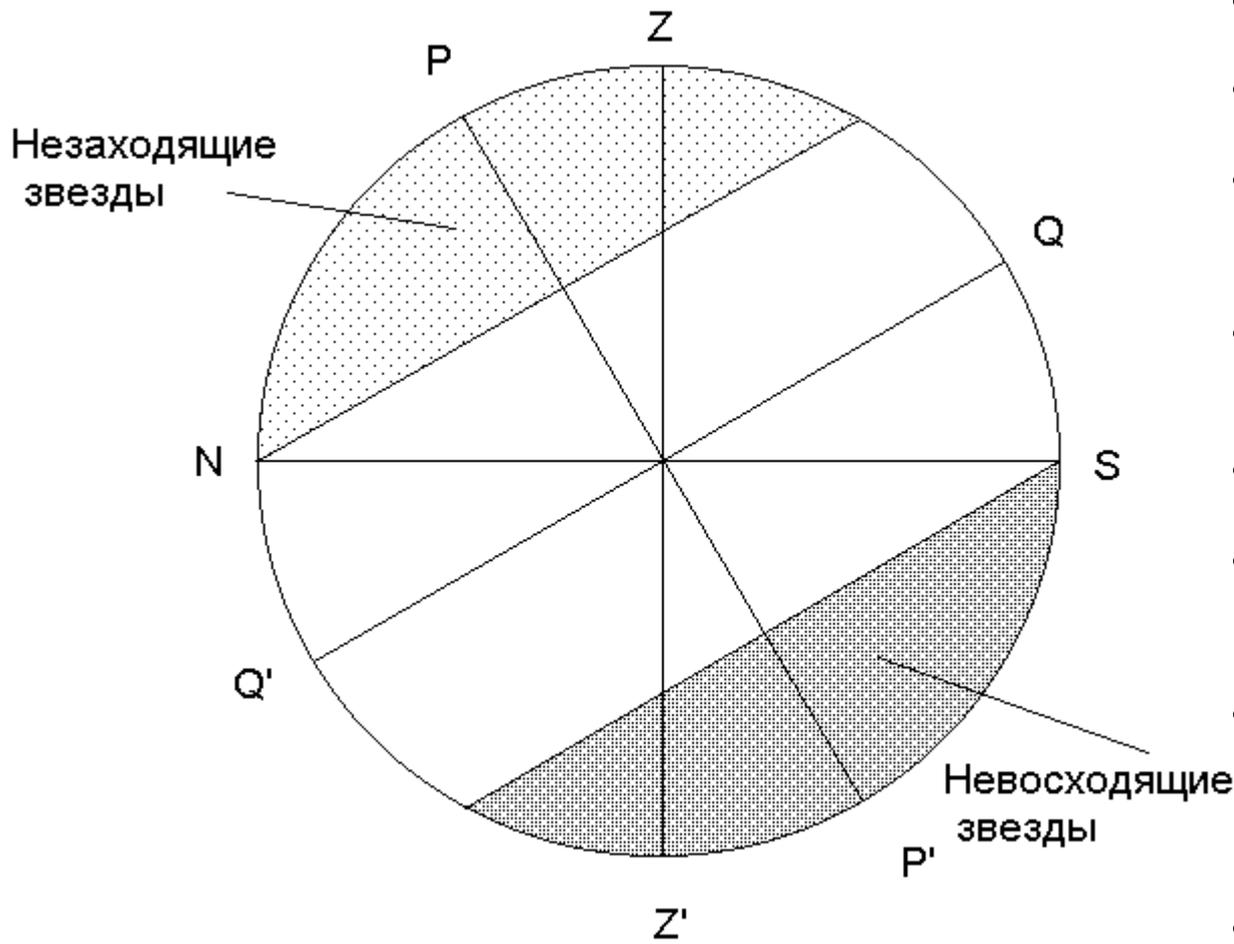
Задачи на моменты кульминаций



- Чему равно склонение светила δ и широта места наблюдений φ , если его зенитное расстояние в момент верхней кульминации составляет $z = 15^\circ$, а высота нижней кульминации в 3 раза меньше высоты в верхней кульминации?

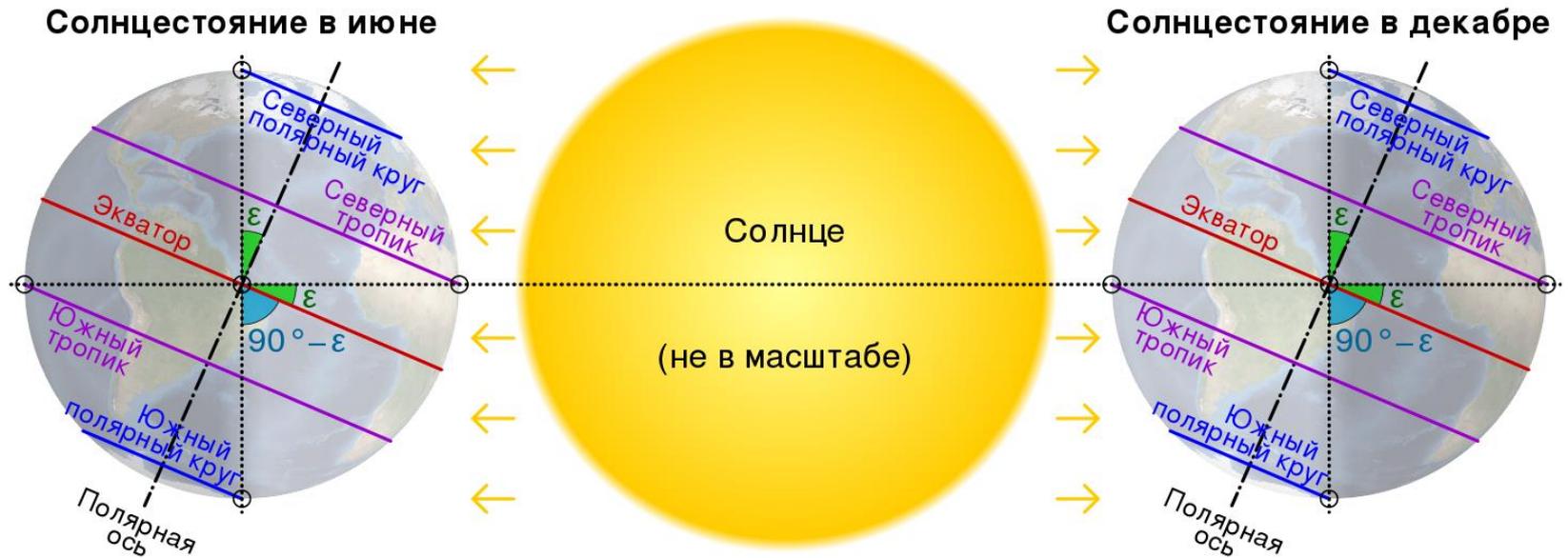
- Определим высоты в верхней и нижней кульминациях
- $h_{\text{в.к.}} = 90^\circ - z = 75^\circ$
- $h_{\text{н.к.}} = \frac{h_{\text{в.к.}}}{3} = 25^\circ$
- Случай когда $\delta < \varphi$ зенитное расстояние в сторону юга по небесному меридиану
- $h_{\text{в.к.}} = 90^\circ - \varphi + \delta = 75^\circ$
- $h_{\text{н.к.}} = \varphi - 90^\circ + \delta = 25^\circ$
- $\delta = \pm 50^\circ$
- $\varphi = \pm 65^\circ$
- Случай когда $\delta > \varphi$ зенитное расстояние в сторону севера по небесному меридиану
- $h_{\text{в.к.}} = 90^\circ + \varphi - \delta = 75^\circ$
- $h_{\text{н.к.}} = \varphi - 90^\circ + \delta = 25^\circ$
- $\varphi = \pm 50^\circ$
- $\delta = \pm 65^\circ$

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
- $90^\circ - \varphi > \delta > \varphi - 90^\circ$

Задачи на тропики и полярные круги



- Определите на каких широтах на планете располагаются тропики и полярные круги, если угол наклонения экватора к эклиптике составляет ϵ .
 - Тропик – это такие широты, где раз в году в моменты солнцестояний Солнце бывает в зените.
 - $h_{\text{в.к.}} = 90^\circ$ а значит $\delta = \varphi$ и $\varphi = \pm\epsilon$
 - Полярный круг – это такие широты, где раз в году нижняя кульминация Солнца равна 0°
 - $h_{\text{н.к.}} = -(90^\circ - \varphi) + \delta = 0^\circ$ и поскольку $\delta = \pm\epsilon$, то $\varphi = \pm(90^\circ - \epsilon)$

Summer
Solstice



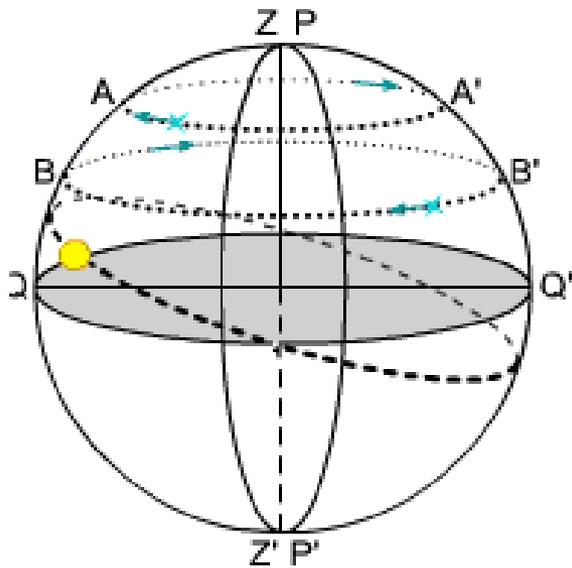
Equinox



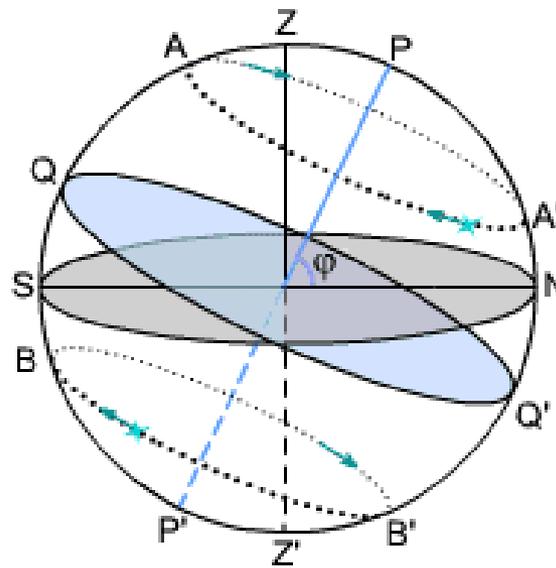
Winter
Solstice



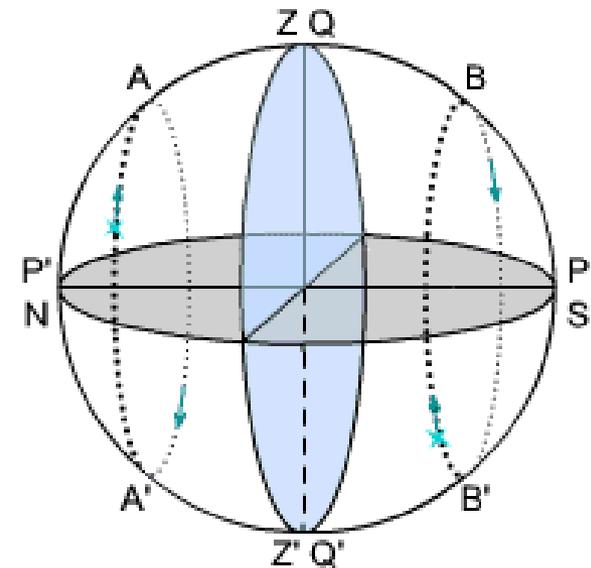
Вращение небесного свода



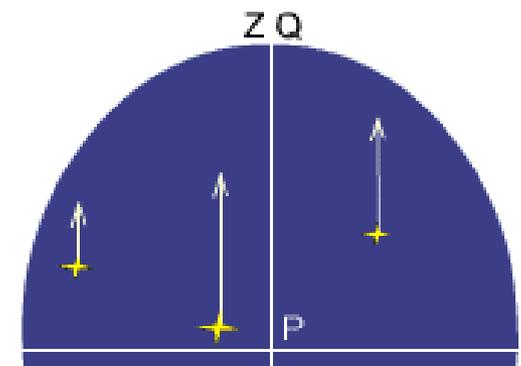
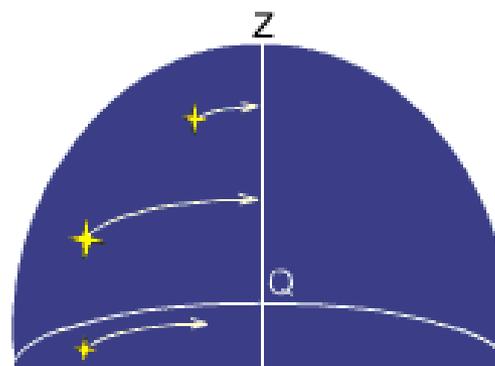
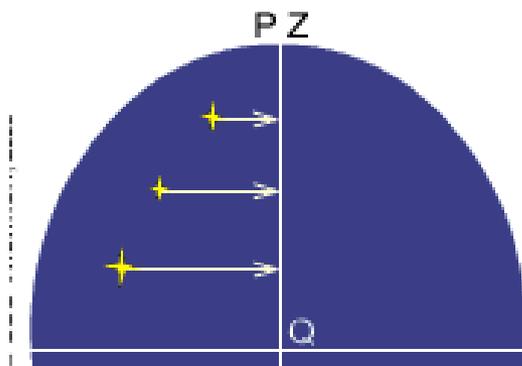
а) Северный полюс Земли



б) средние широты Земли



в) экватор Земли



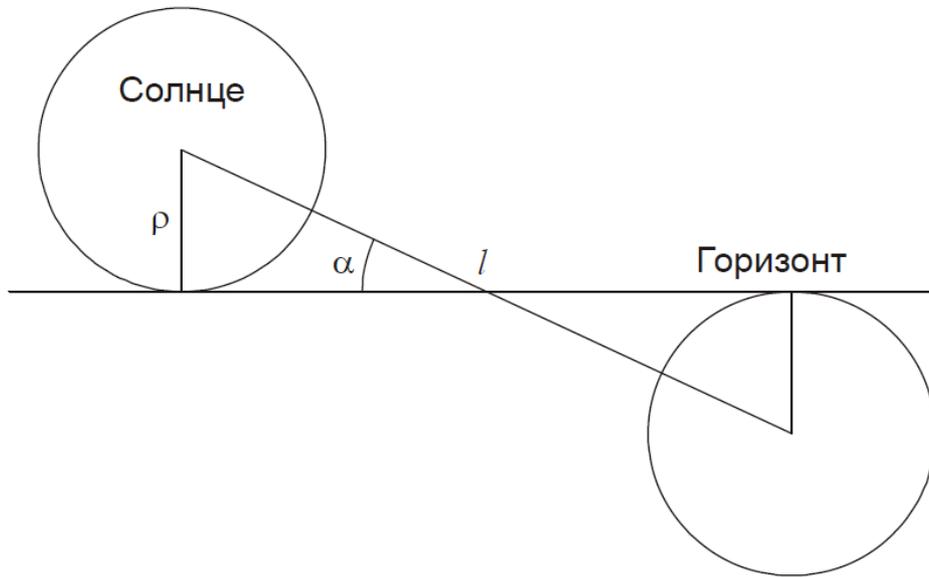
- Угловая скорость вращения неба не одинаковая!
- $\omega_{\text{неба}} = \omega_0 \cos \delta$, только на экваторе она равна $15^\circ/\text{час}$







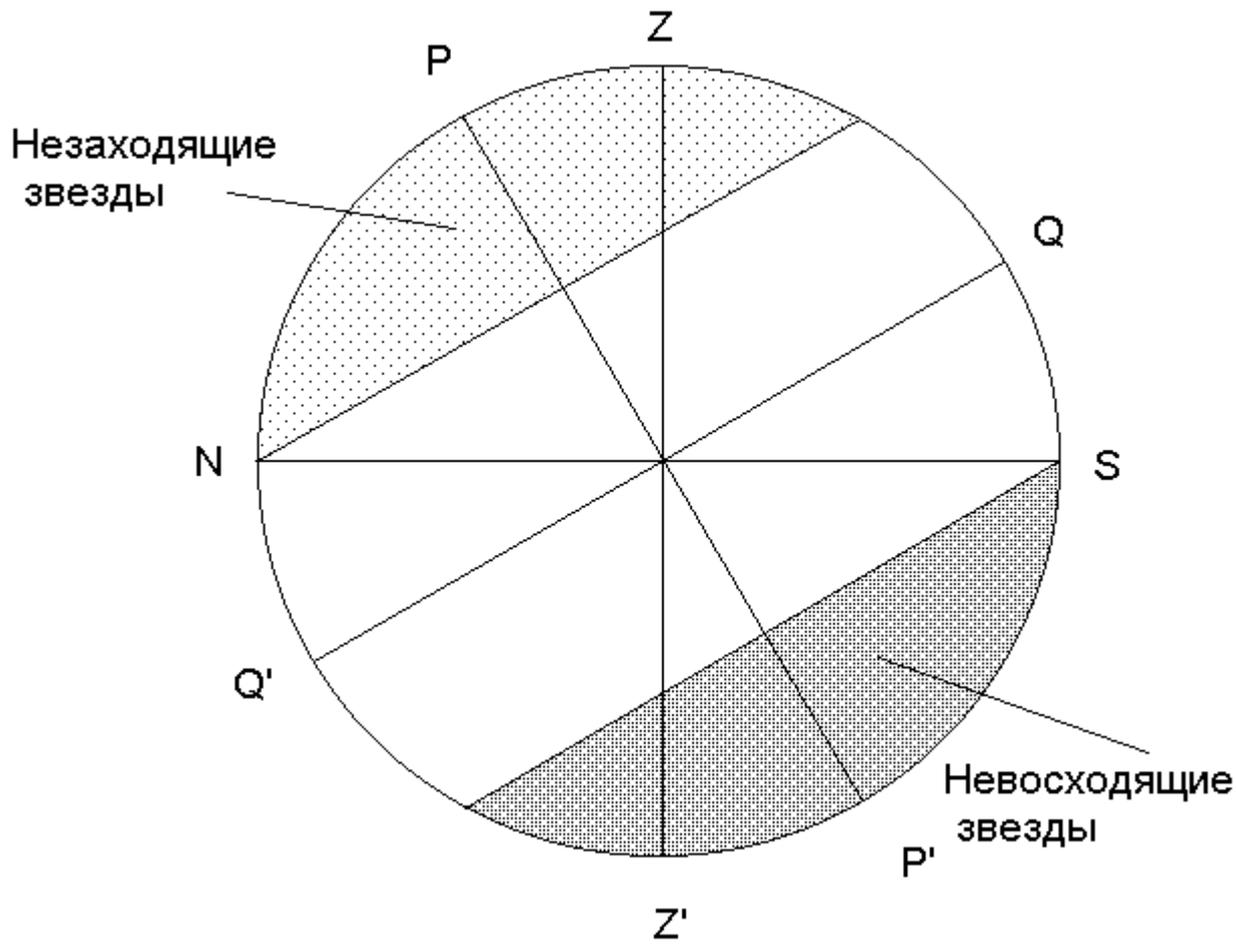
Задачи восход и заход светил



- Любитель астрономии, не двигаясь по поверхности Земли, заметил, что заход Солнца за горизонт продолжался ровно 3 минуты. В каком географическом районе России он находился? Орбиту Земли считать круговой, атмосферной рефракцией пренебречь.

- Длина дуги, пройденная Солнцем за время захода, равна:
- $l = t \cos \delta$
- Во время захода Солнце движется под углом α к горизонту.
- $\alpha = 90^\circ - \varphi \Rightarrow \rho = \frac{l \sin \alpha}{2} \Rightarrow \sin \alpha = \frac{2\rho}{t \cos \delta} \Rightarrow \alpha = \arcsin \frac{2\rho}{t}$
- $\varphi = 90^\circ - \alpha = 90^\circ - \arcsin \frac{2\rho}{t} = \arccos \frac{2\rho}{t} \approx 45^\circ$
- На территории России эта параллель проходит только по самым южным районам – Крымскому полуострову, Северному Кавказу и Приморскому краю (с Курильскими островами)

Геометрия в астрономии



- Площадь сферы
 - $S = 4\pi R^2$
 - Или 4π стерадиан
 - $S = 4\pi \left(\frac{180}{\pi}\right)^2 \approx 41252$ кв. гр.
- Площадь сегмента сферы
 - $S_c = 2\pi Rh$
 - $S_c = 2\pi(1 - \cos \delta)$
- Количество звезд на всей небесной сфере
 - 6000





Pleiades

Capella

Auriga

Saturn

Hyades

Moon

Venus

Aldebran

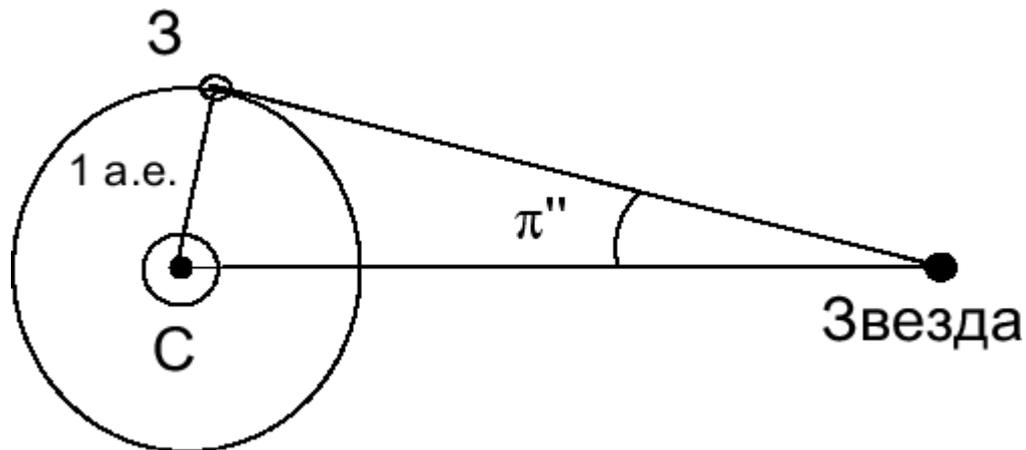
Jupiter

Mercury





Параллакс



- 1 пк = 206265 а.е.

- Параллакс

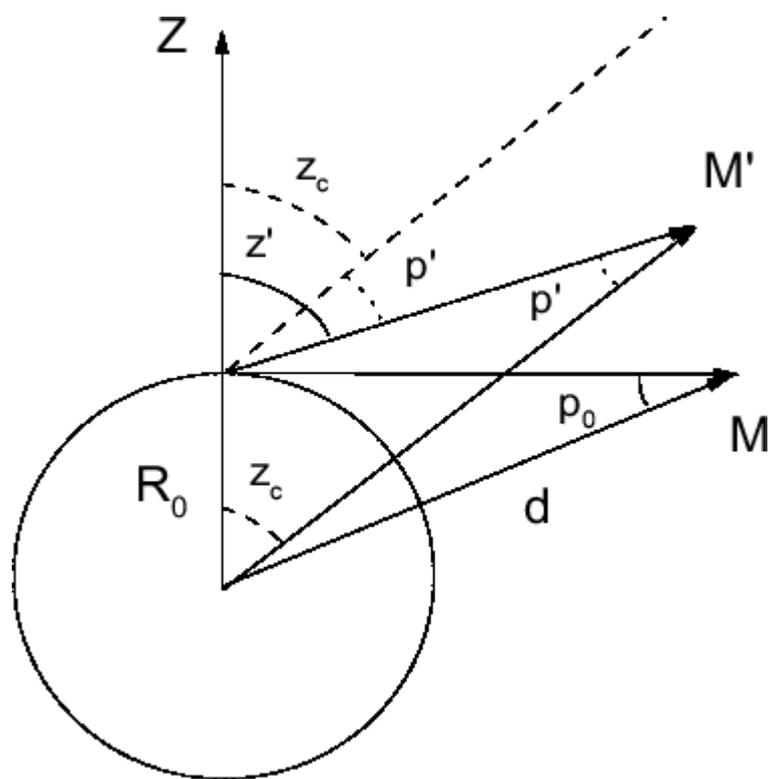
$$\sin p_0 = \frac{R_0}{d} \Leftrightarrow d = 206265'' \frac{R_0}{p_0''}$$

- Расстояние до звезд

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

- Малые углы

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



Долгота и время

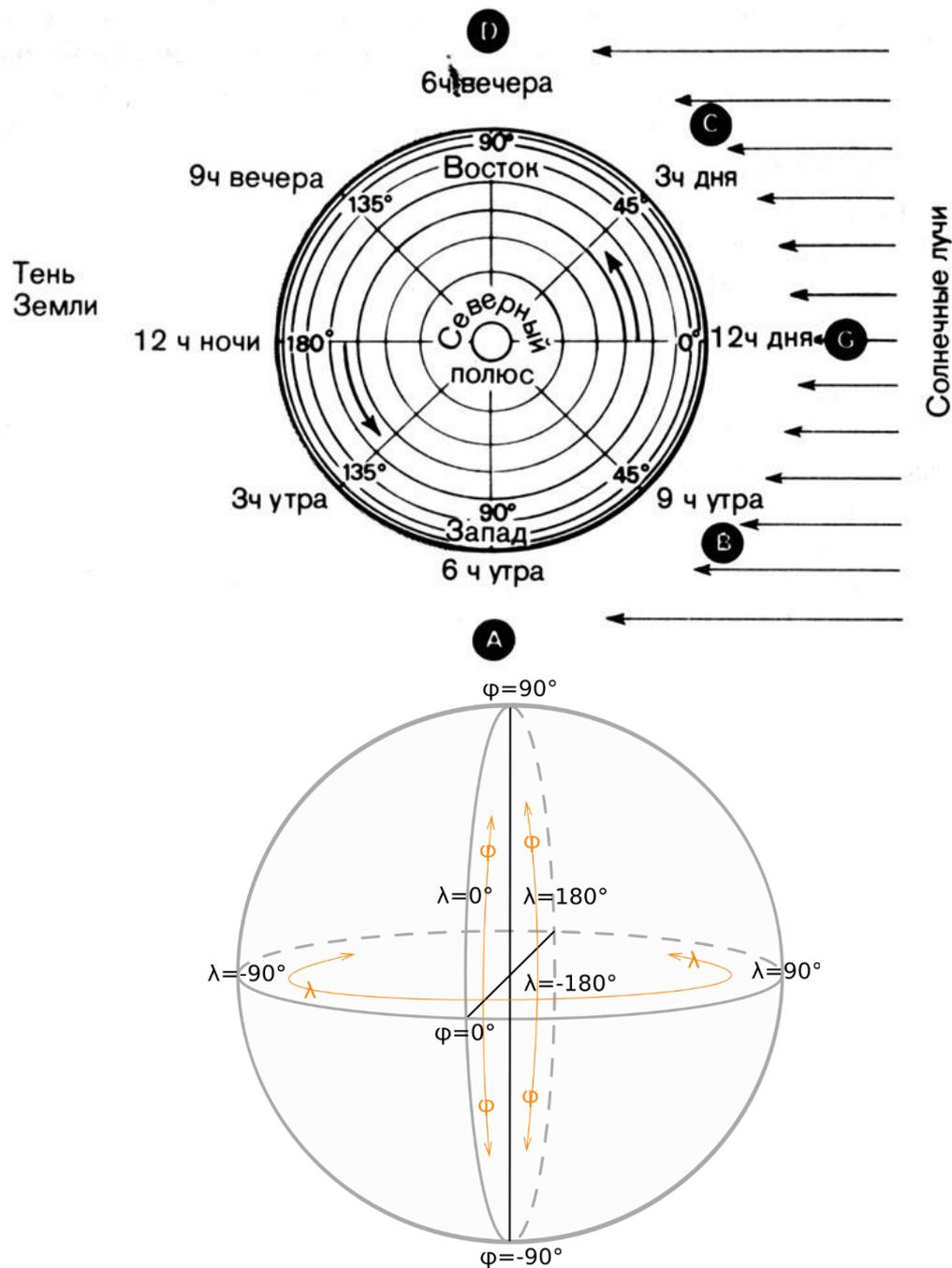
- **Долгота** - двугранный угол λ между плоскостью меридиана, проходящего через данную точку, и плоскостью начального нулевого меридиана, от которого ведётся отсчёт долготы. Долготу от 0° до 180° к востоку от нулевого меридиана называют восточной, к западу — западной. Восточные долготы принято считать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

Среднее солнечное время:

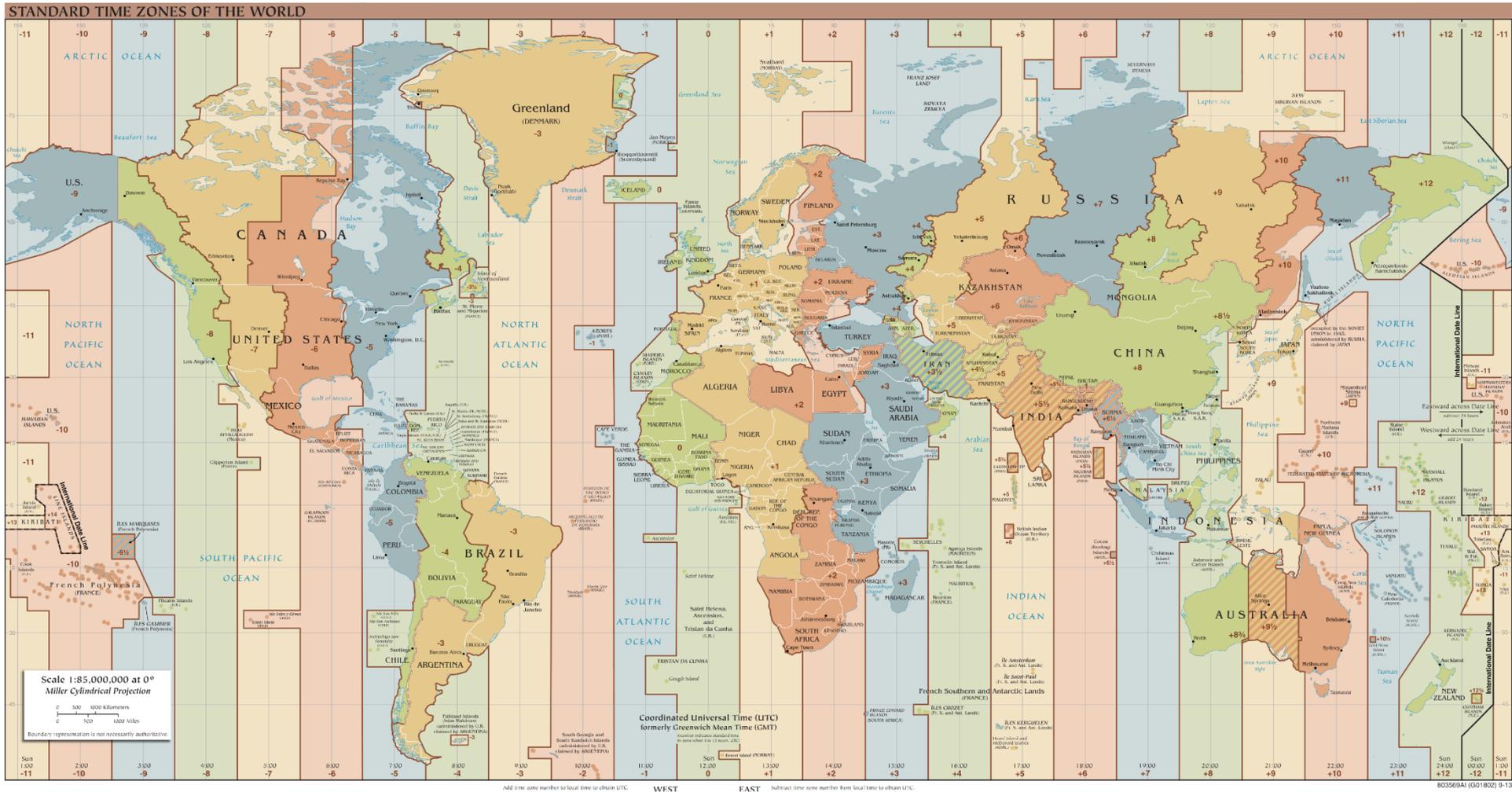
$$ST = UTC + \Delta\lambda$$

Восточная
отрицательная,
положительная

долгота
западная

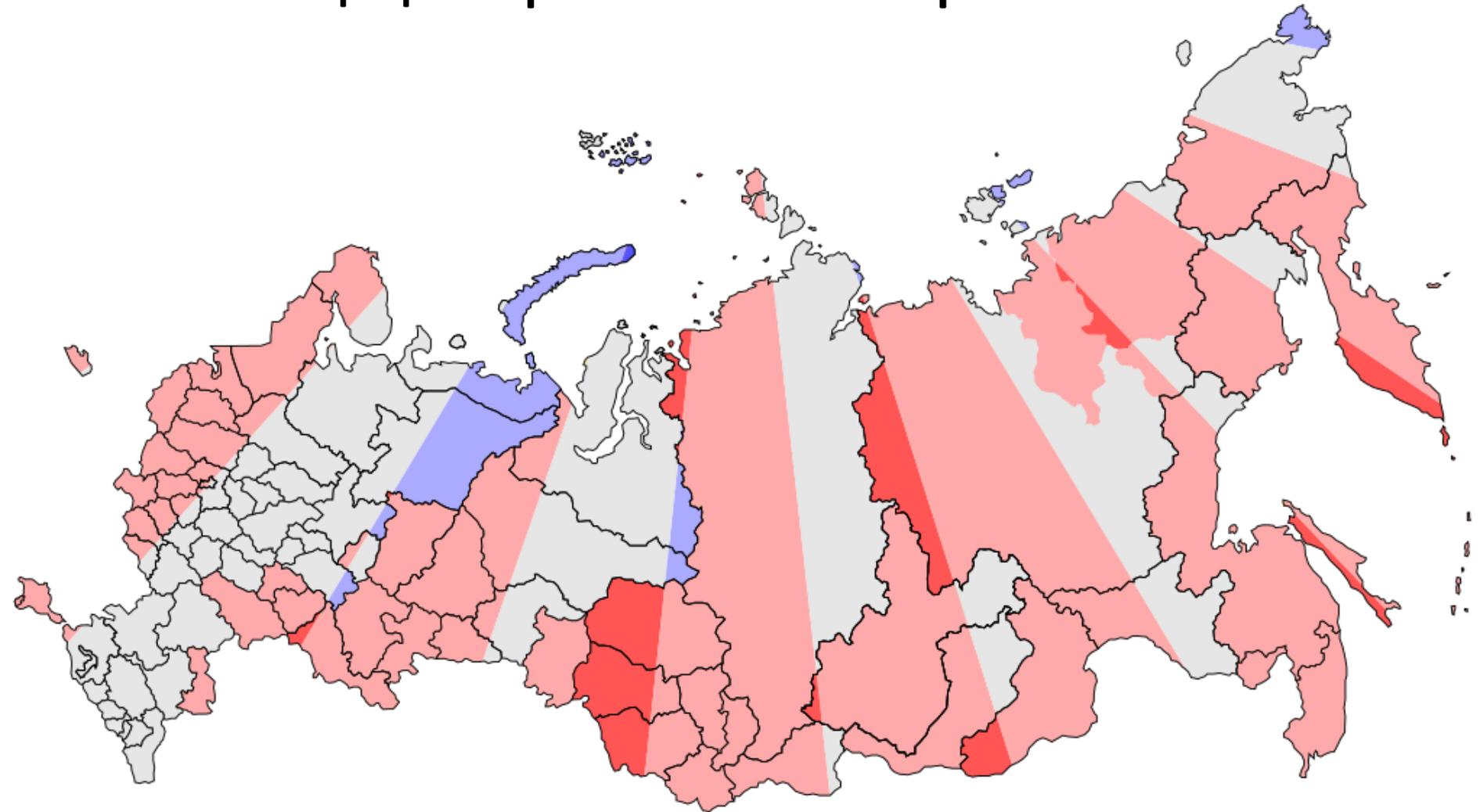


Часовые пояса



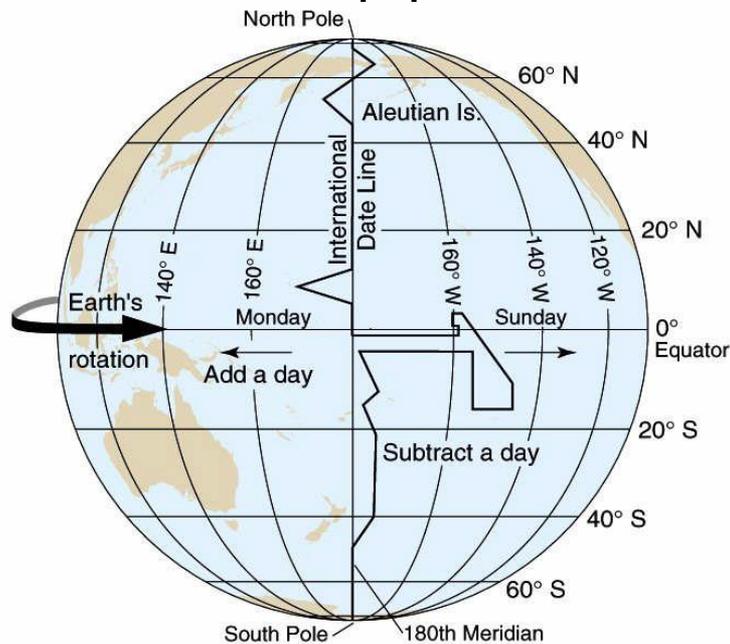
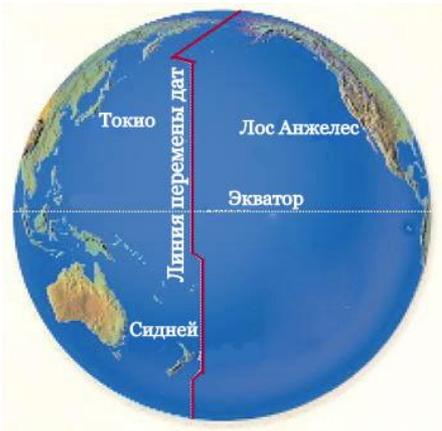
$$LT = UTC + n$$

Декретное время

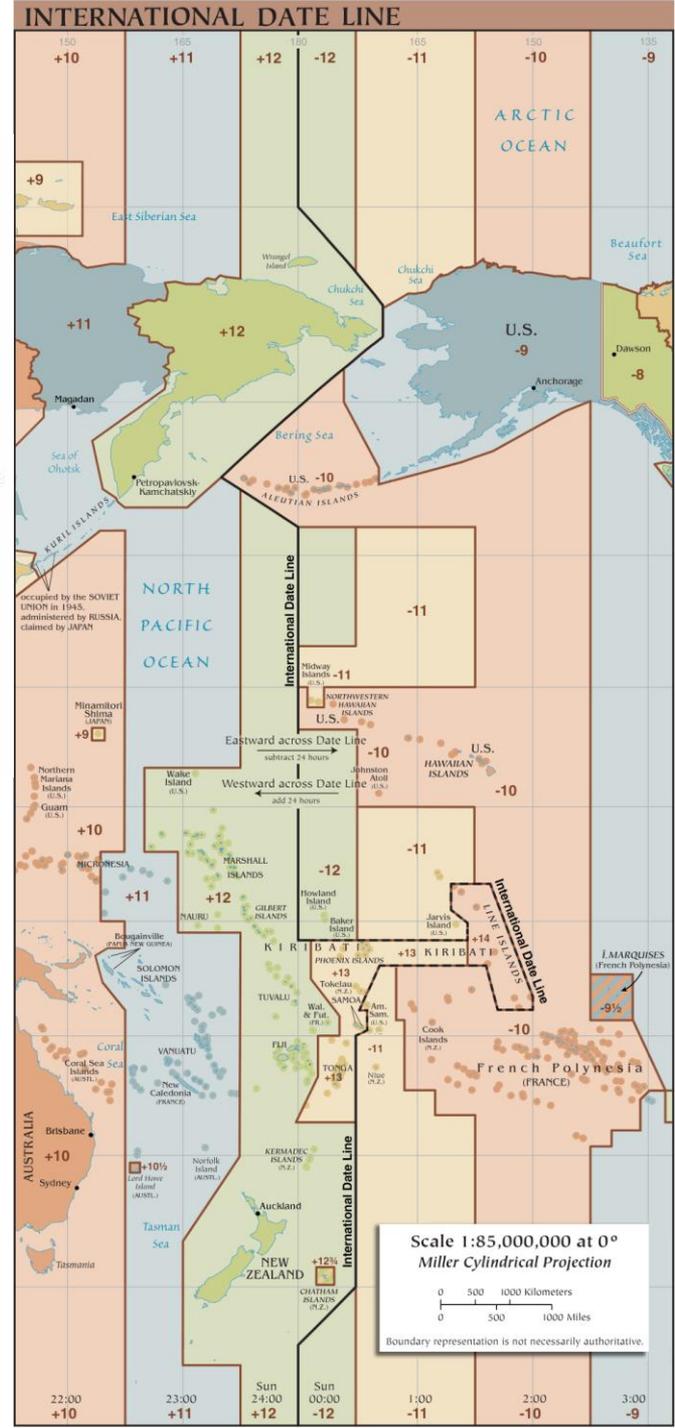
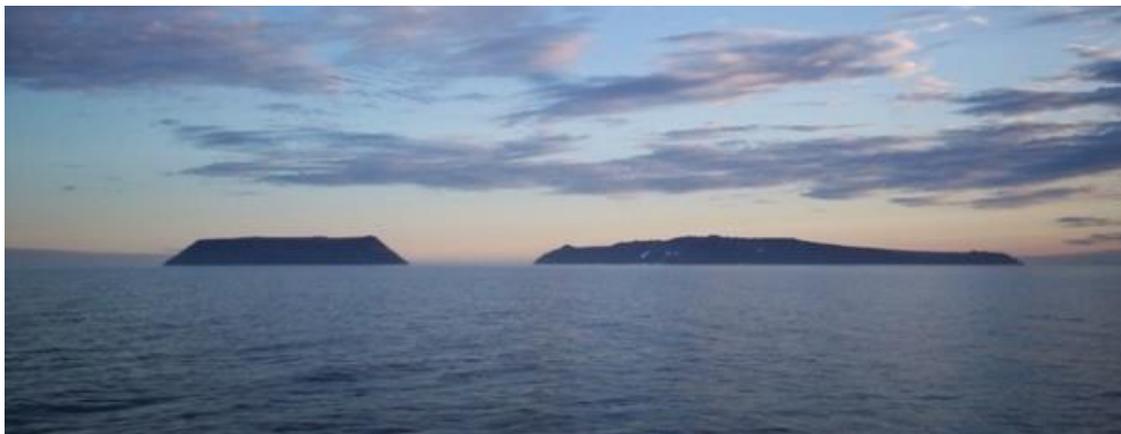


$$LT = UTC + n + D$$

Линия перемены дат

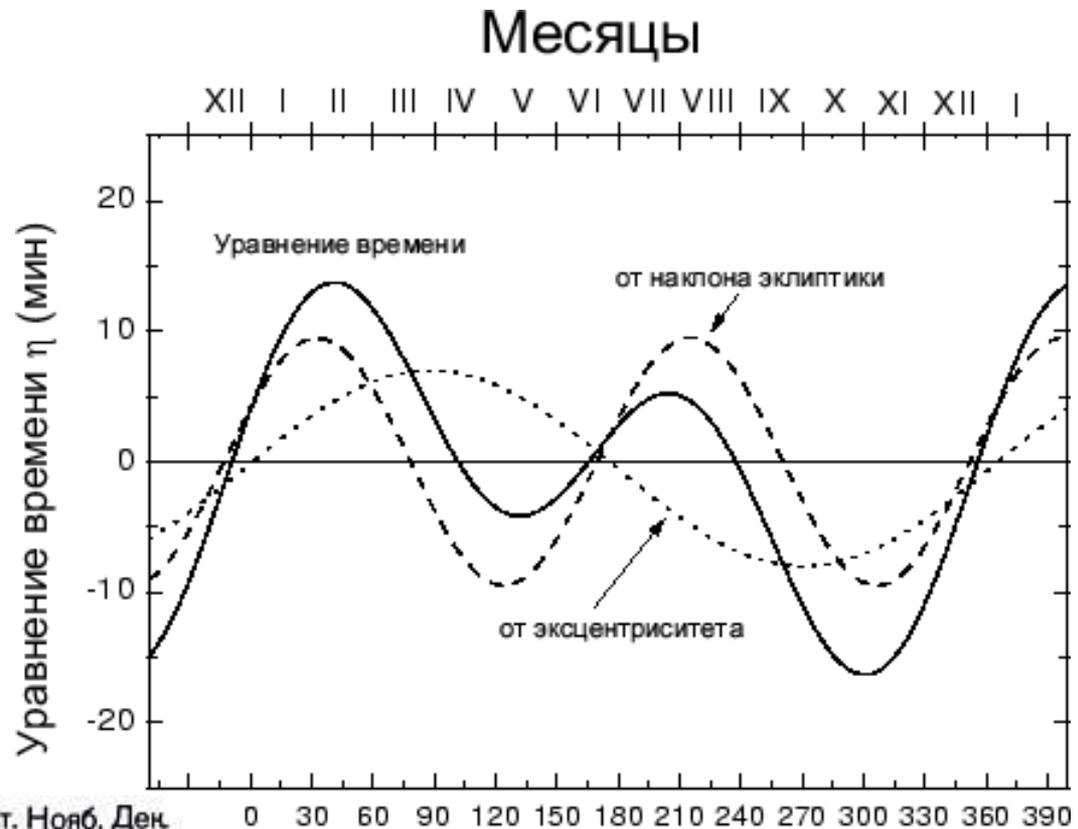


- **Линия перемены даты** - условная линия на поверхности земного шара, проходящая от полюса до полюса, по разные стороны которой местное время отличается на сутки (или почти на сутки).



Движение Солнца

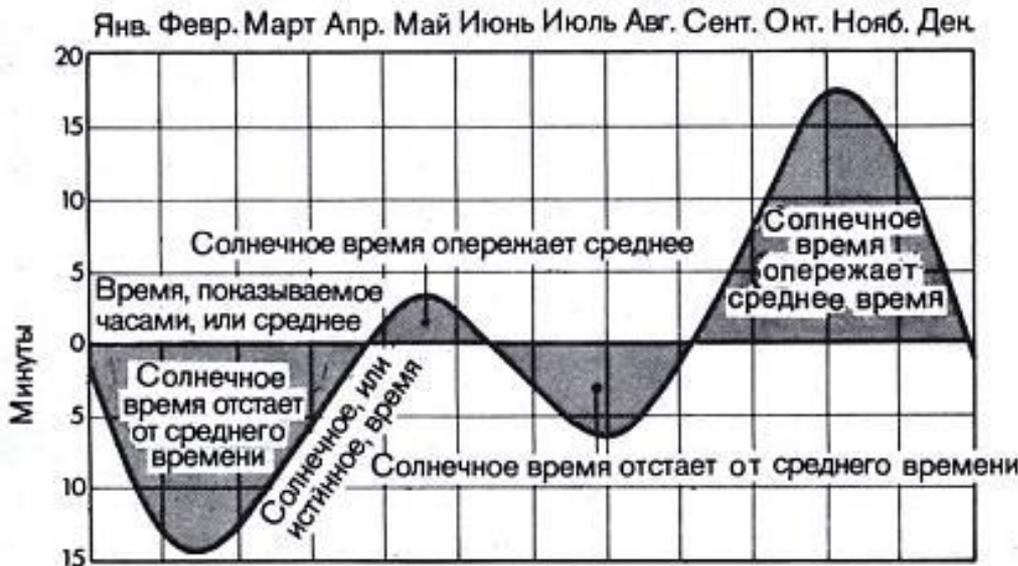
- Неравномерное
- Проекция на небесный экватор
- Эллиптичность орбиты



Дни года

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

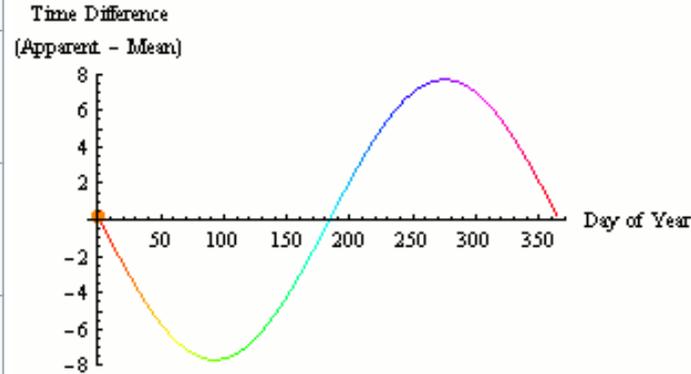
$$\eta = MST - TST$$



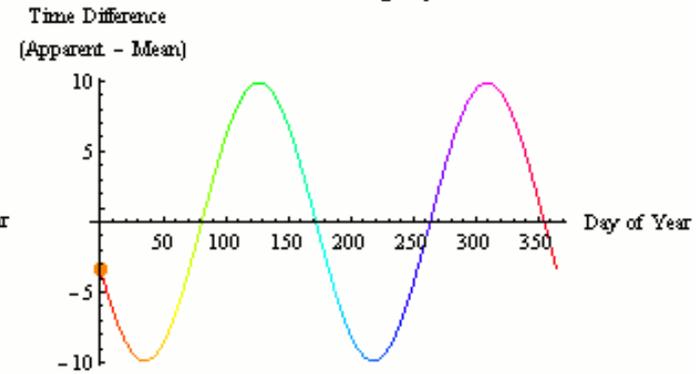
Уравнение времени

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

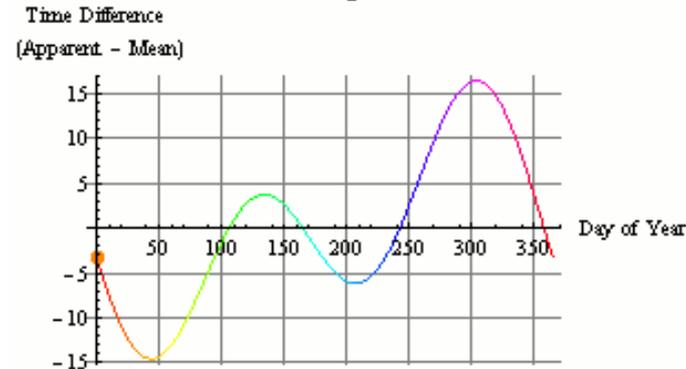
Effect of Orbit Eccentricity



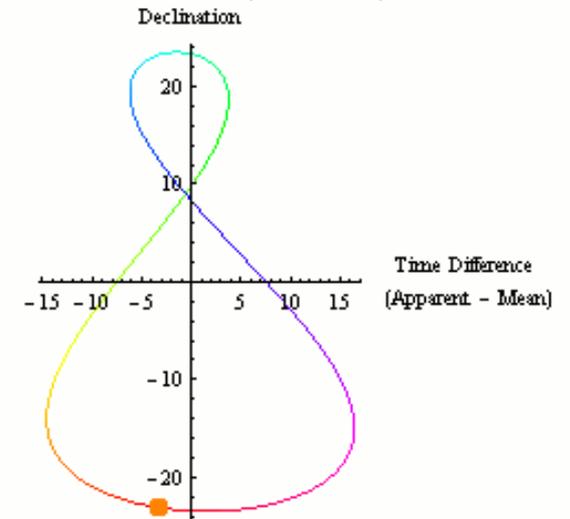
Effect of Obliquity



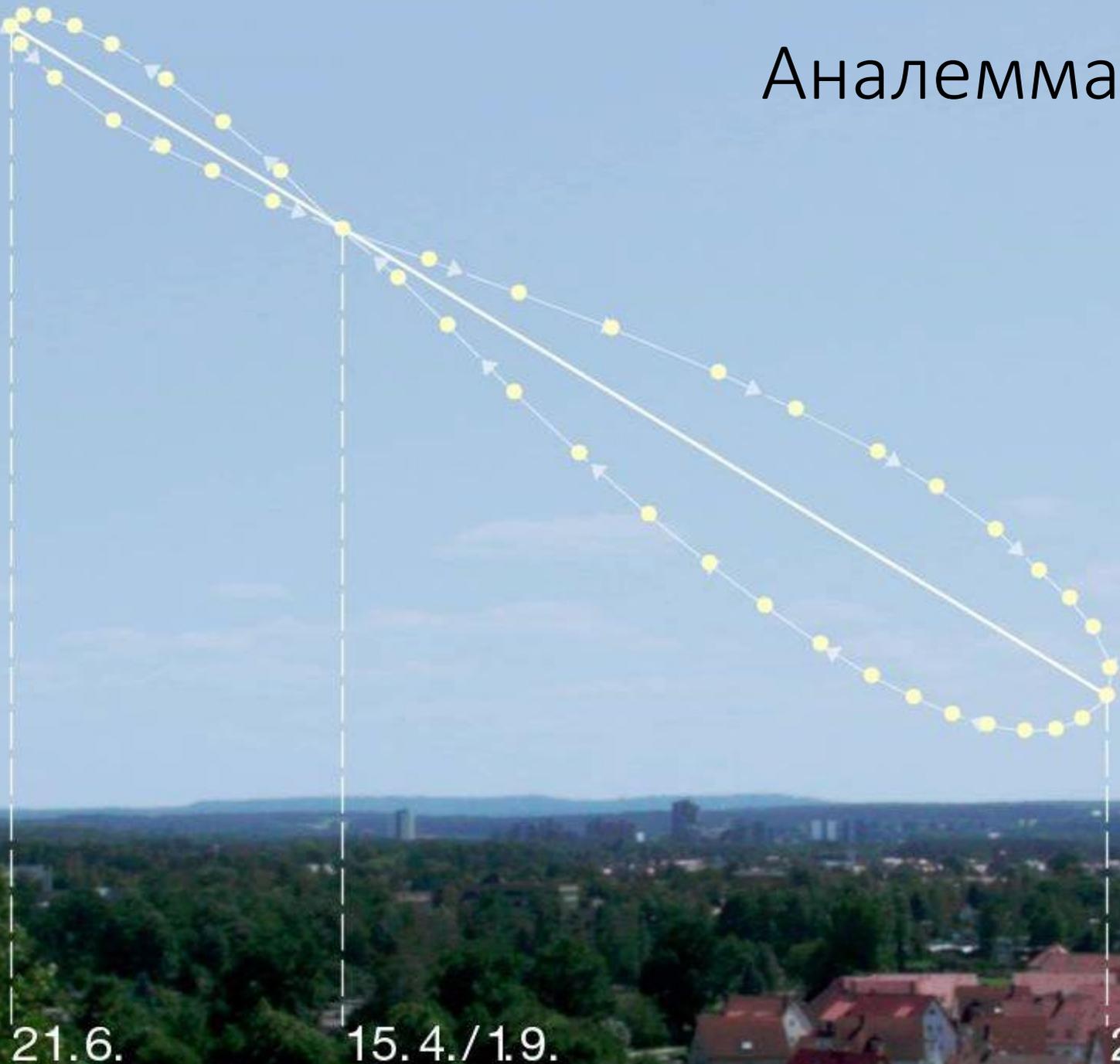
Combined Effects (Equation of Time)



Sun Position Trace (Analemma)



Аналемма

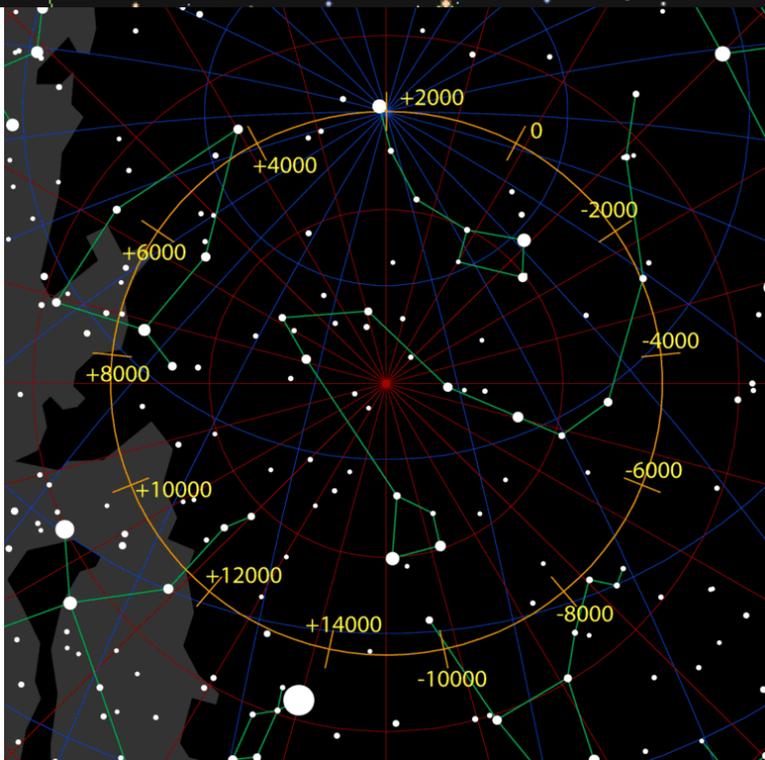
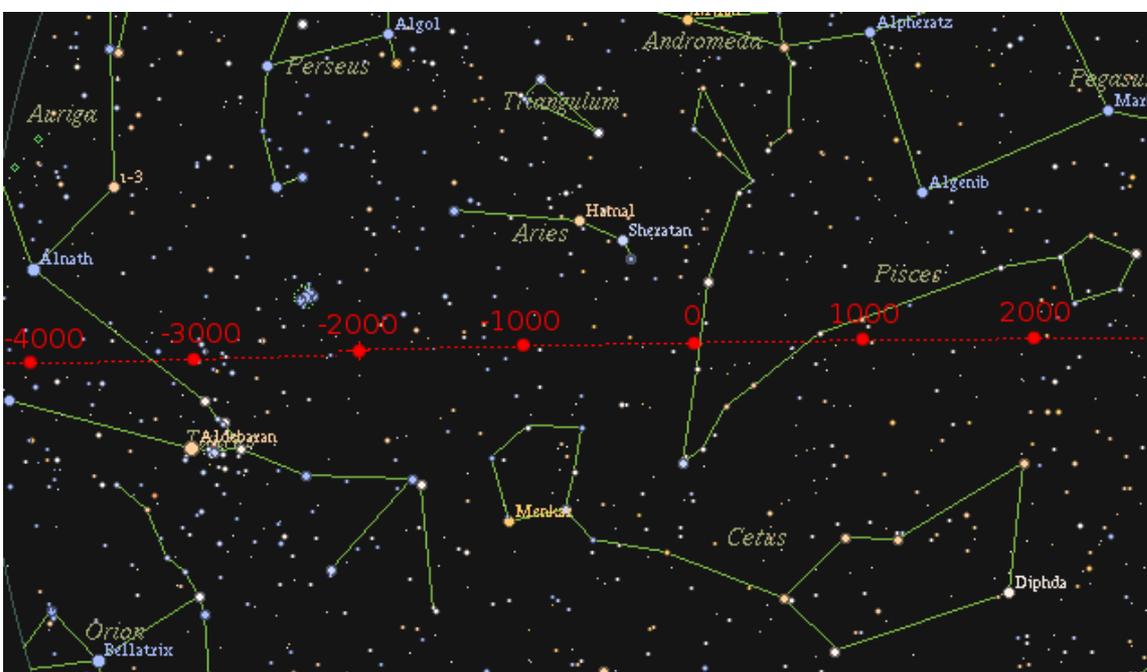
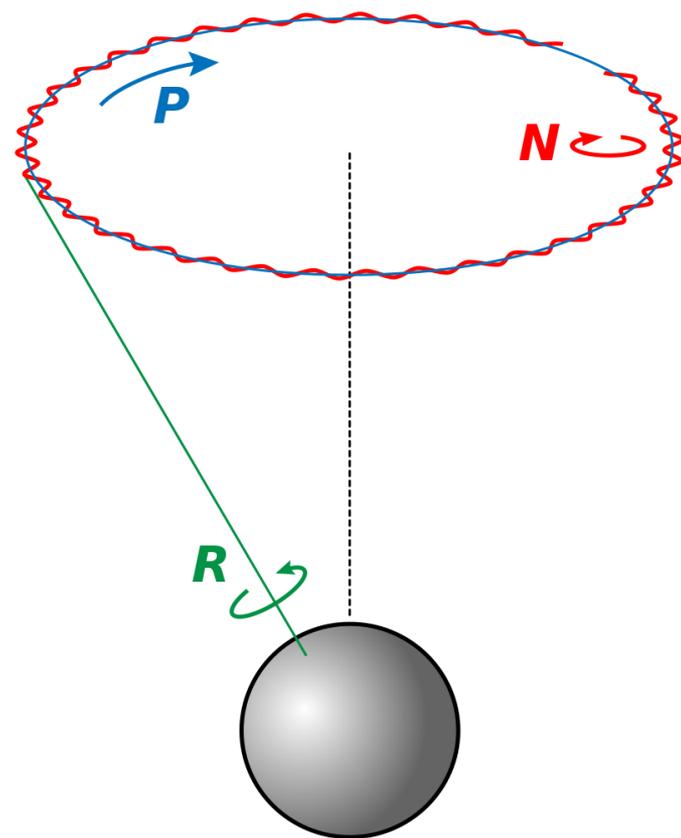


Календарь

- Сутки
 - Восход и заходы Солнца
- Месяц
 - Фазы Луны
- Дни недели
 - Количество светил на небе
- Тропический год
 - 365,24220 суток
- Юлианский календарь
 - 365,25 суток
- Григорианский календарь
 - 365,2425 суток



Прецессия



- Период прецессии ~ 26 000 лет

Разница Календарей

- За какое время Юлианский и Григорианский календари расходятся на одни сутки?



- Определим какая разница накапливается между календарями за один год григорианского календаря:

$$\Delta T = 365,25 - 365,2425 = 0,0075 \text{ суток/год}$$

- Определим за сколько накопятся одни сутки:

$$t = \frac{t_{\text{разницы}}}{\Delta T} = \frac{1}{0,0075} = 133,3 \text{ года} \Rightarrow 134 \text{ года}$$

Первая космическая скорость

- Центробежное ускорение

$$a_{ц} = \frac{v^2}{R_{\oplus} + h}$$

- Ускорение свободного падения

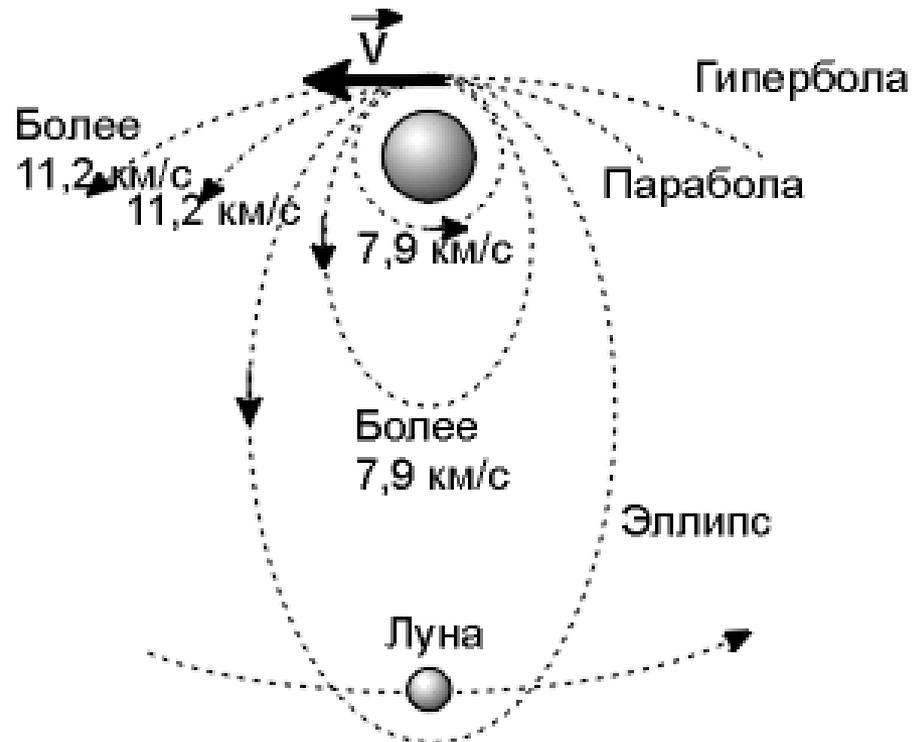
$$g_{\oplus} = \frac{GM_{\oplus}}{(R_{\oplus} + h)^2}$$

- Равенство

$$a_{ц} = g_{\oplus} \Rightarrow \frac{GM_{\oplus}}{(R_{\oplus} + h)^2} = \frac{v^2}{R_{\oplus} + h} \Rightarrow v_I = \sqrt{\frac{GM_{\oplus}}{R_{\oplus} + h}}$$

- Частный случай - $R_{\oplus} \gg h$

$$v_I = \frac{2\pi(R_{\oplus} + h)}{T} = \sqrt{\frac{GM_{\oplus}}{R_{\oplus} + h}} = \sqrt{\frac{G \frac{4}{3} \pi R_{\oplus}^3 \rho_{\oplus}}{R_{\oplus} + h}} \Rightarrow T = \sqrt{\frac{3\pi R_{\oplus}^3 \left(1 + \frac{h}{R_{\oplus}}\right)^3}{G \rho_{\oplus} R_{\oplus}^3}} \approx \sqrt{\frac{3\pi}{G \rho_{\oplus}}}$$



Задача на первую космическую скорость

- На какой высоте от Земли первая космическая скорость в двое меньше чем вблизи поверхности Земли? Как изменится период обращения спутника?
- Решение

$$V_I = \sqrt{\frac{GM_{\oplus}}{R_{\oplus} + h}}$$

Значит отношение скоростей будет равно

$$\frac{V_{I,0}}{V_{I,1}} = \sqrt{\frac{R_{\oplus} + h}{R_{\oplus}}} = 2 \Rightarrow h = 3R_{\oplus} = 3 \cdot 6400 = 19200 \text{ км}$$

Значит отношение периодов обращения будет равно

$$\frac{T_0}{T_1} = \frac{\frac{2\pi R_{\oplus}}{V_{I,0}}}{\frac{2\pi(R_{\oplus} + h)}{V_{I,1}}} = \frac{V_{I,1}}{V_{I,0}} \cdot \frac{R_{\oplus}}{R_{\oplus} + h} = \frac{1}{8}$$

Вторая космическая скорость

- Типы орбит – Эллипс

$$\frac{mV^2}{2} - G \frac{Mm}{a} < 0$$

- Типы орбит – Парабола

$$\frac{mV^2}{2} - G \frac{Mm}{a} = 0$$

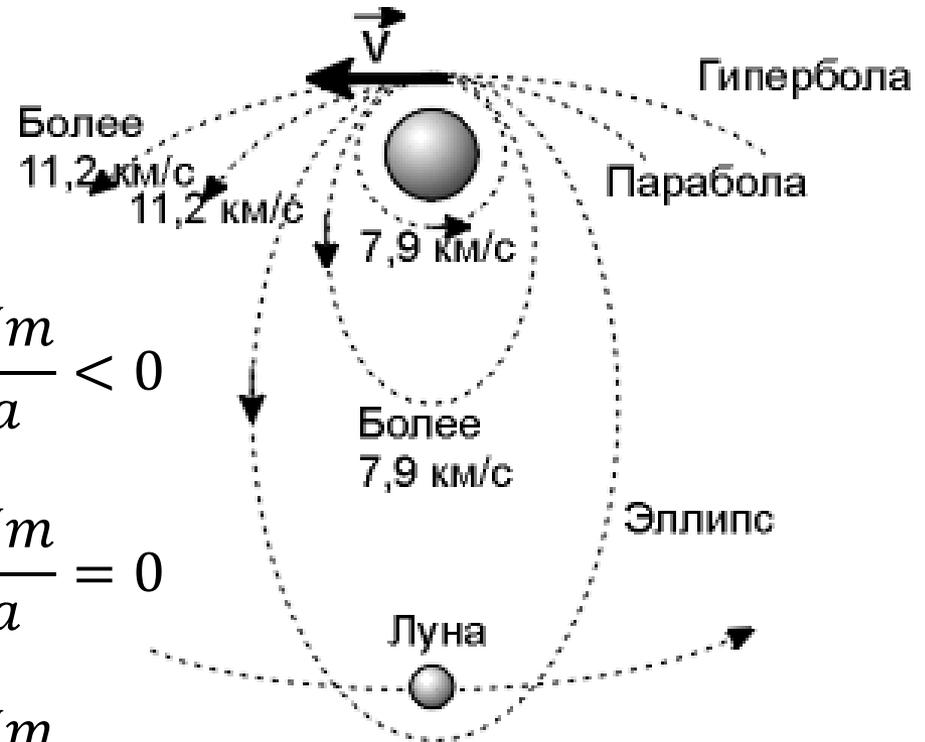
- Типы орбит – Гипербола

$$\frac{mV^2}{2} - G \frac{Mm}{a} > 0$$

- Кинетическая и потенциальная энергии

$$\frac{mV^2}{2} - G \frac{Mm}{a} = 0 \Rightarrow V_{II} = \sqrt{\frac{2GM}{a}} \Rightarrow \frac{V_{II}}{V_I} = \sqrt{2}$$

- Вывод второй космической скорости



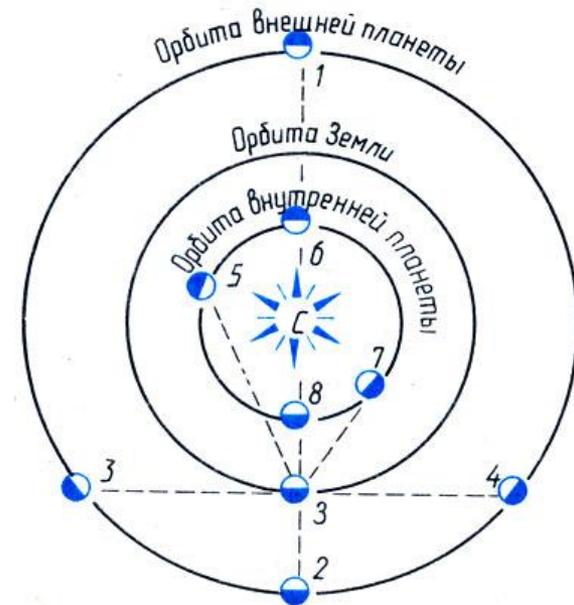
Задача на вторую космическую скорость



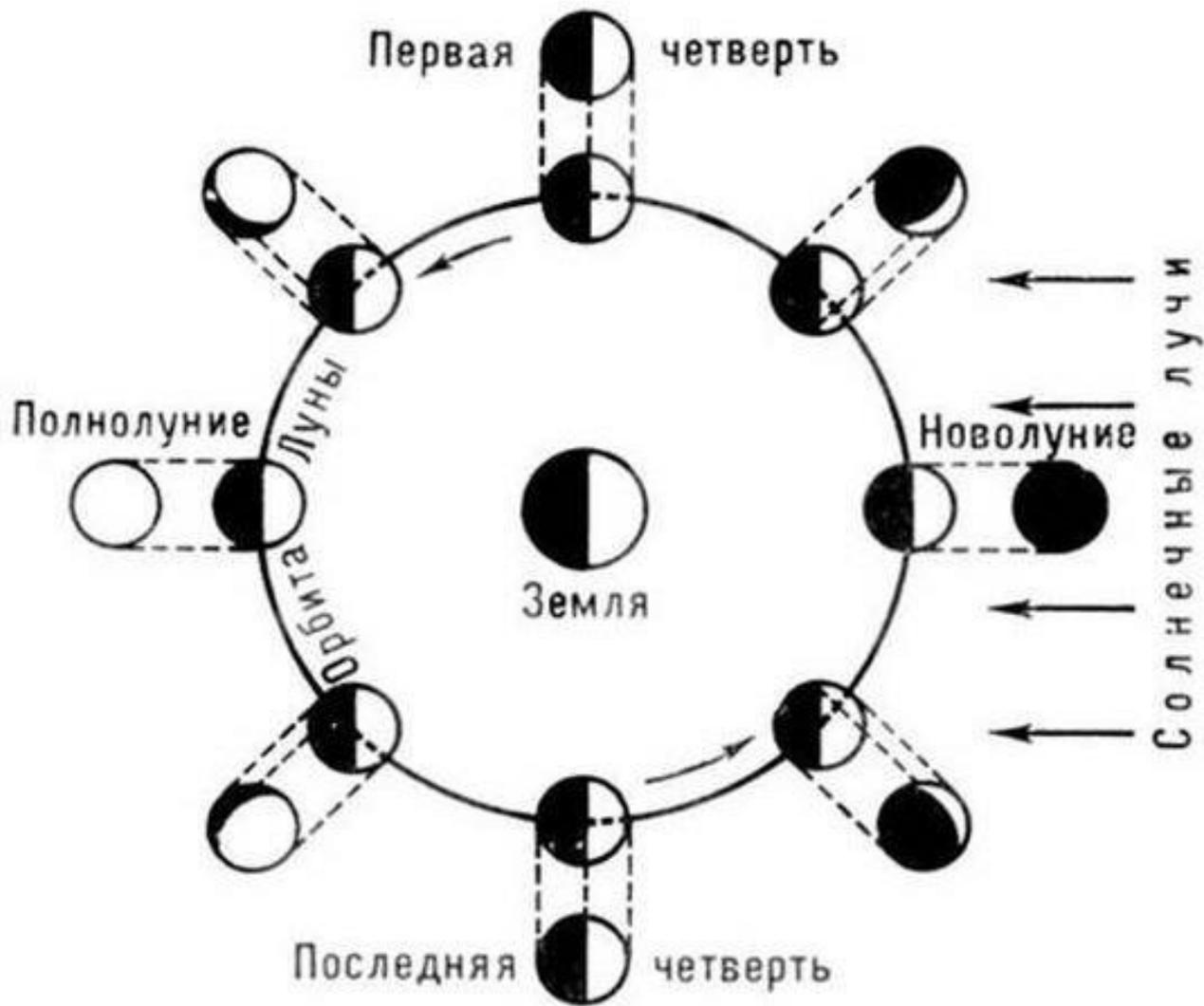
- С какой максимальной скоростью метеорные тела могут попадать в атмосферу Земли?

- Решение

$$\begin{aligned}\Delta V &= V_I + V_{II} = V_I(\sqrt{2} + 1) = V_I \\ &= \sqrt{\frac{GM_{\odot}}{a_{\oplus}}} (\sqrt{2} + 1) \\ &= \sqrt{\frac{6,67 \cdot 10^{11} \cdot 2 \cdot 10^{30}}{1,5 \cdot 10^{11}}} (\sqrt{2} + 1) \approx 73 \text{ км/сек}\end{aligned}$$

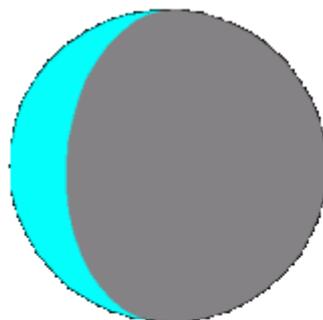


Фазы Луны

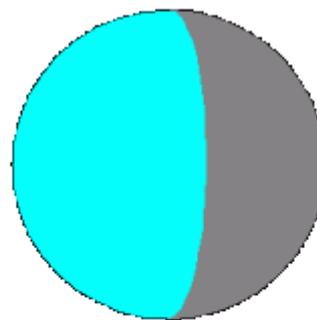


Фаза

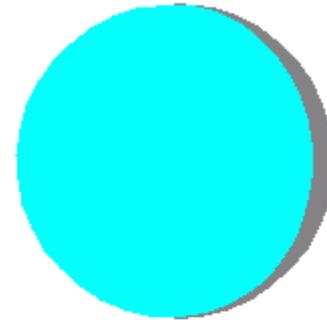
$$\Phi = \frac{d}{D} = \frac{S_{\text{освещенное}}}{S_{\text{всего диска}}} = \frac{1 + \cos \alpha}{2}$$



$\Phi = 0.18$
 $\psi = 130^\circ$



$\Phi = 0.62$
 $\psi = 76^\circ$



$\Phi = 0.94$
 $\psi = 28^\circ$

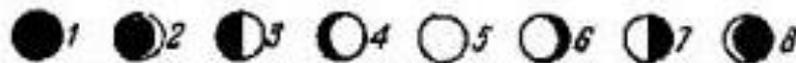
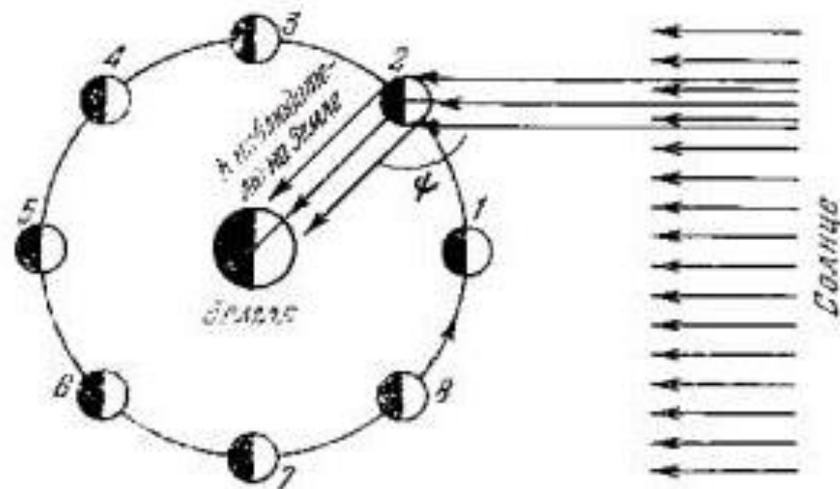
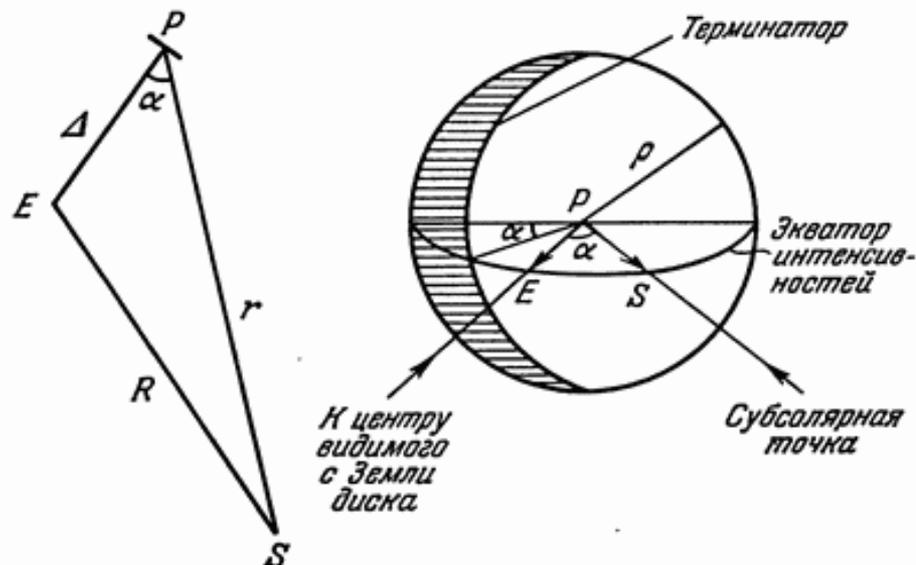


Рис. 5б. Фазы Луны.

Задача на фазу планет

- Какова фаза Марса в моменты положения планеты в 90° от Солнца на эклиптике? Орбиты Земли и Марса считать круговыми и лежащими в одной плоскости.

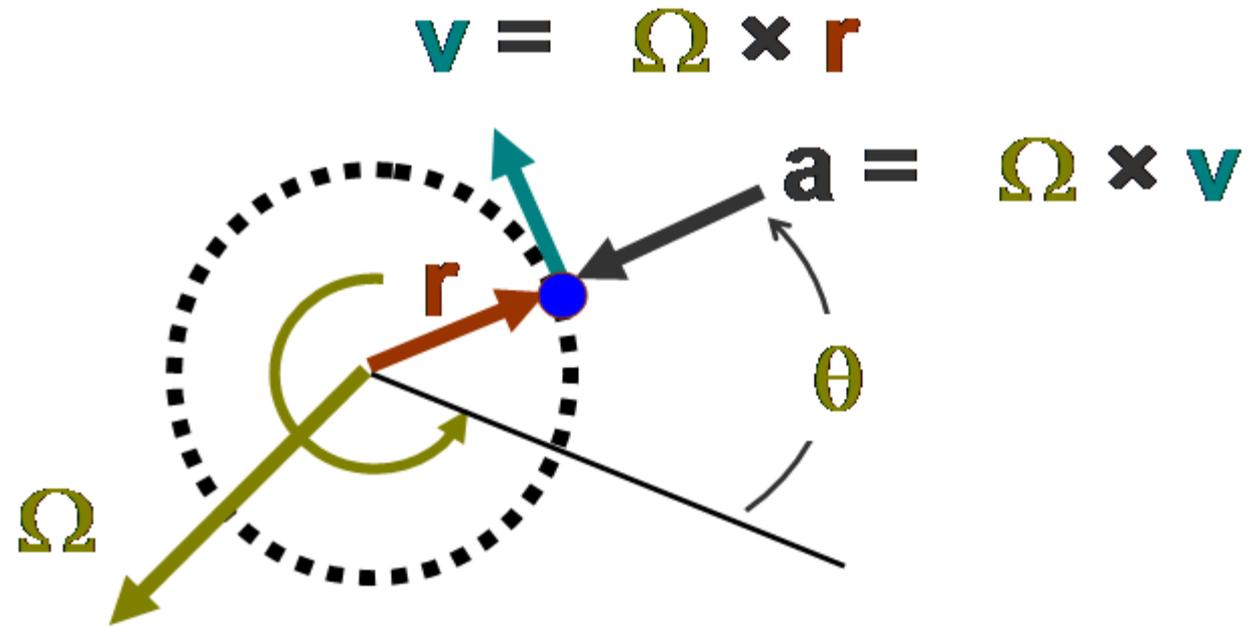
$$\Phi = \frac{d}{D} = \frac{S_{\text{освещенное}}}{S_{\text{всего диска}}} = \frac{1 + \cos \alpha}{2}$$

- $\sin \alpha = \frac{a_{\text{Земли}}}{a_{\text{Марса}}} = \frac{1}{1,5} \Rightarrow \alpha \approx 41,8^\circ$

- Значит $\Phi = 0,87$



Круговое движение



- Угловая скорость
- $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{V}{R}$
- Связь линейной и угловой скорости
- $V = \omega \cdot R$
- Случай сонаправленного движения
- $\omega_{\Sigma} = \omega_1 - \omega_2$
- Случай разнонаправленного движения
- $\omega_{\Sigma} = \omega_1 + \omega_2$

Синодический и сидерический периоды

- **Сидерический период** обращения – период обращения планеты относительно направления на далекие звезды
- **Синодический период обращения** – период обращения относительно направления планета наблюдения – Солнце или период повторения относительного положения трех тел Солнца, планеты с которой мы наблюдаем и наблюдаемой планеты
- Случай внутренней планеты

$$\begin{aligned} \frac{\omega_{\text{синодического периода}}}{2\pi} &= \omega_{\text{планеты}} - \omega_{\oplus} \\ \frac{T_{\text{синодического периода}}}{1/S} &= \frac{2\pi}{\omega_{\text{планеты}}} - \frac{2\pi}{\omega_{\oplus}} \\ \Rightarrow \frac{1}{S} &= \frac{1}{T_{\text{п}}} - \frac{1}{T_{\oplus}} \Rightarrow T_{\text{синодического периода}} = \frac{T_{\oplus} \cdot T_{\text{планеты}}}{T_{\oplus} - T_{\text{планеты}}} \end{aligned}$$

- Случай внешней планеты

$$\begin{aligned} \frac{\omega_{\text{синодического периода}}}{2\pi} &= \omega_{\oplus} - \omega_{\text{планеты}} \\ \frac{T_{\text{синодического периода}}}{1/S} &= \frac{2\pi}{\omega_{\oplus}} - \frac{2\pi}{\omega_{\text{планеты}}} \\ \Rightarrow \frac{1}{S} &= \frac{1}{T_{\oplus}} - \frac{1}{T_{\text{п}}} \Rightarrow T_{\text{синодического периода}} = \frac{T_{\oplus} \cdot T_{\text{планеты}}}{T_{\text{планеты}} - T_{\oplus}} \end{aligned}$$

Задачи на синодический период

- Найдите синодический период планеты Марс?
- Решение

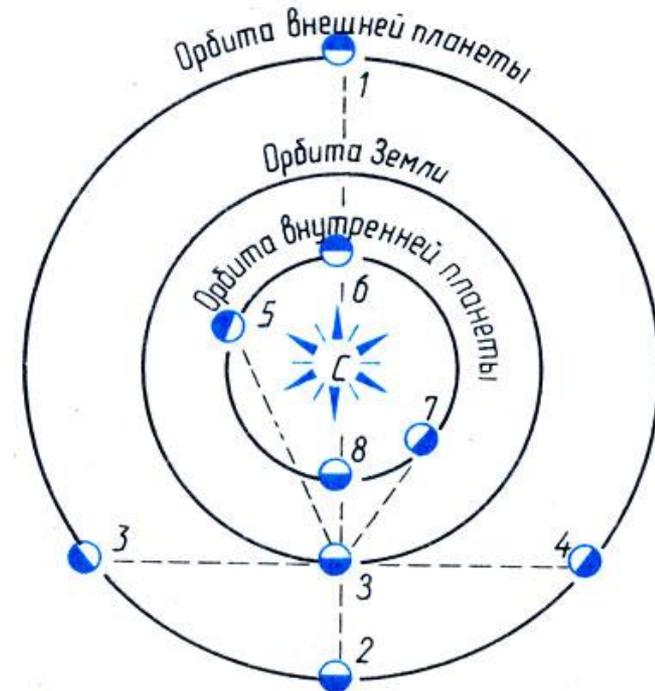
$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_{\oplus}} - \frac{1}{T_{\Pi}}$$

Период Марса из справочных данных – 1,88 года

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T_{\oplus}} - \frac{1}{T_{\Pi}} \Rightarrow T_{\text{Марса}} = \frac{T_{\oplus} \cdot T_{\text{Марса}}}{T_{\text{Марса}} - T_{\oplus}} = \frac{1 \cdot 1,88}{1,88 - 1} \approx 2,14 \text{ года}$$

Конфигурации планет

- Внутренние планеты
 - 8 - Нижнее соединение
 $l = 0^\circ \Phi = 0$
 - Западная элонгация
 $l = \alpha_{\text{макс}} \Phi = 0,5$
 - 6 - Верхнее соединение
 $l = 0^\circ \Phi = 1$
 - Восточная элонгация
 $l = \alpha_{\text{макс}} \Phi = 0,5$
- Внешние планеты
 - 1 - Соединение
 $l = 0^\circ \Phi = 1$
 - 4 - Восточная квадратура
 $l = 90^\circ \Phi = \Phi_{\text{минимальная}}$
 - 2 - Противостояние
 $l = 180^\circ \Phi = 1$
 - 3 - Восточная квадратура
 $l = 90^\circ \Phi = \Phi_{\text{минимальная}}$



Задача на конфигурации планет

- На какой максимальный угол по эклиптике отходит планета Венера и Земля от Солнца на небе Марса? Орбиты всех планет считать круговыми.

- Решение

$$\bullet \sin \alpha = \frac{a_{\text{Земли}}}{a_{\text{Марса}}} = \frac{1}{1,5} \Rightarrow \alpha \approx 42^\circ$$

$$\bullet \sin \alpha = \frac{a_{\text{Венеры}}}{a_{\text{Марса}}} = \frac{0,7}{1,5} \Rightarrow \alpha \approx 28^\circ$$



Эллипс

- Свойства эллипса

$$F_1X + F_2X = 2a \quad S = \pi ab$$

- Фокальное расстояние

$$c = ea$$

- Большая полуось

$$a = \frac{Q + q}{2}$$

- Малая полуось

$$b = a\sqrt{1 - e^2}$$

- Эксцентриситет

$$e = \frac{c}{a} = \sqrt{1 - \left(\frac{b}{a}\right)^2} = \frac{Q - q}{Q + q}$$

- Фокальный параметр

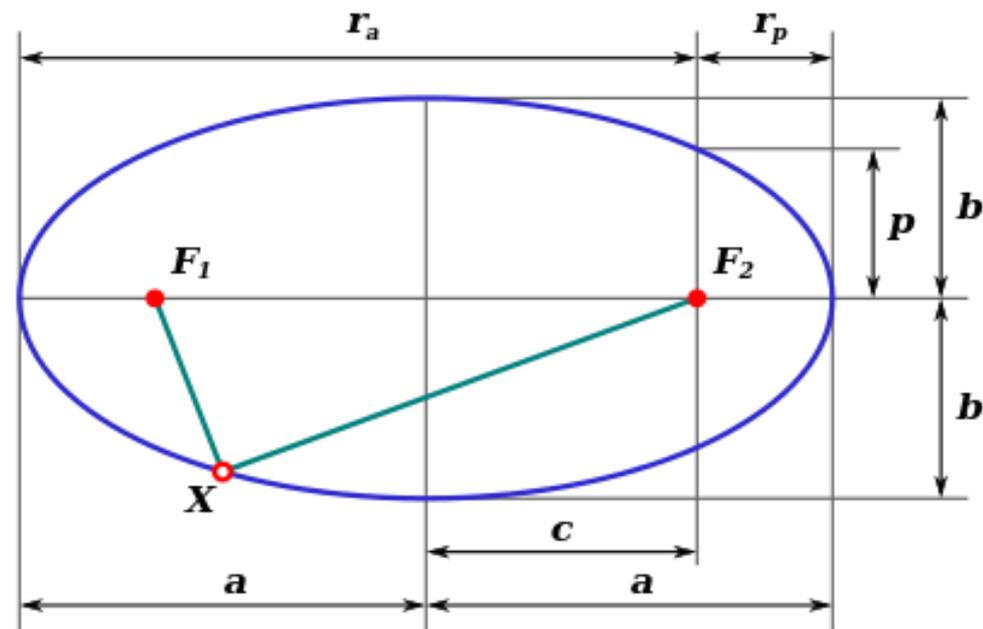
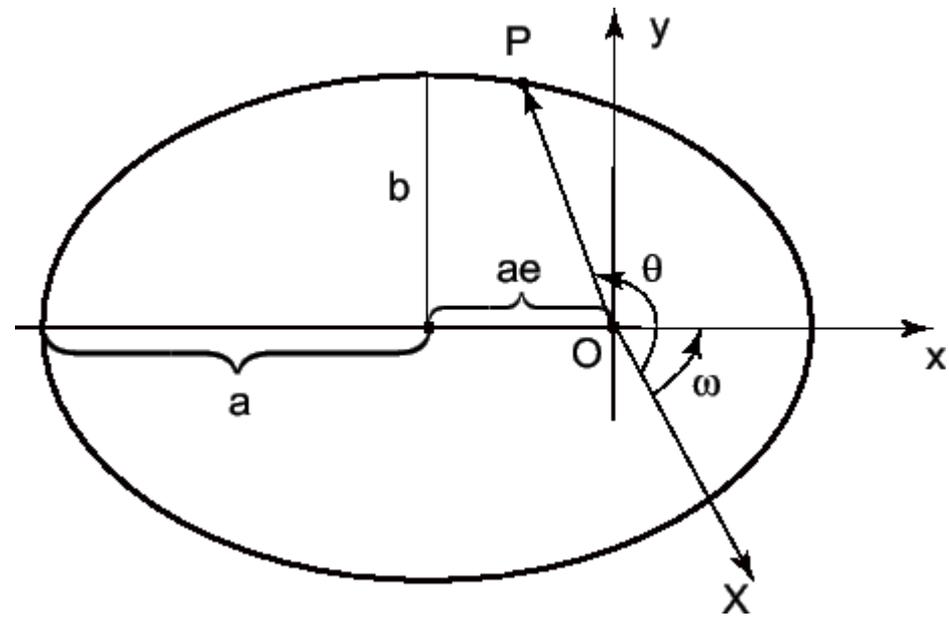
$$p = \frac{b^2}{a} = a(1 - e^2)$$

- Перигей (периастр)

$$q = a - c = a(1 - e)$$

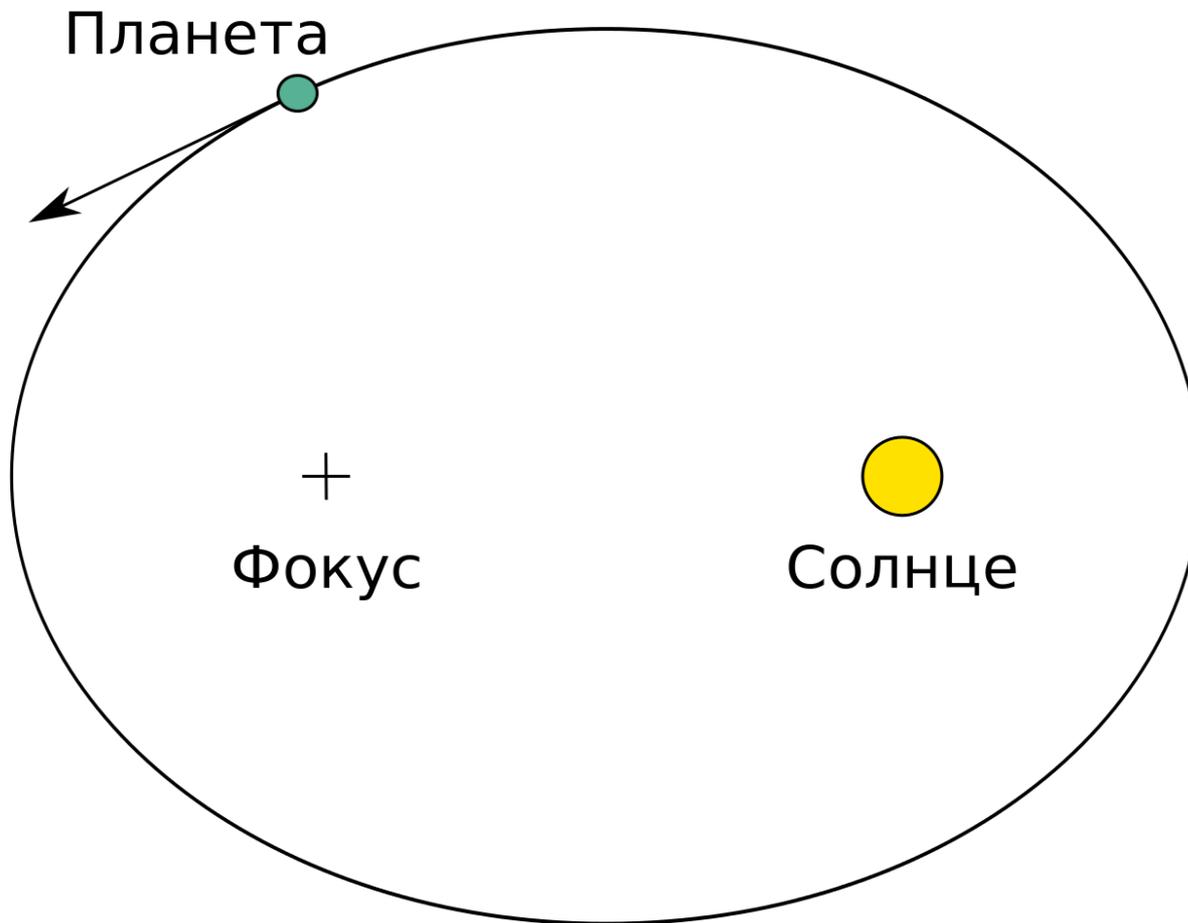
- Апогей (Апоастр)

$$Q = a + c = a(1 + e)$$



Первый закон Кеплера

- Каждая планета Солнечной системы обращается по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце.



Задачи на первый закон Кеплера

- Во сколько раз меняется расстояние от Солнца до кометы Галлея (1P), если эксцентриситет ее орбиты $e=0,967$?



Решение:

Перигелий (периастр)

$$q = a - c = a(1 - e)$$

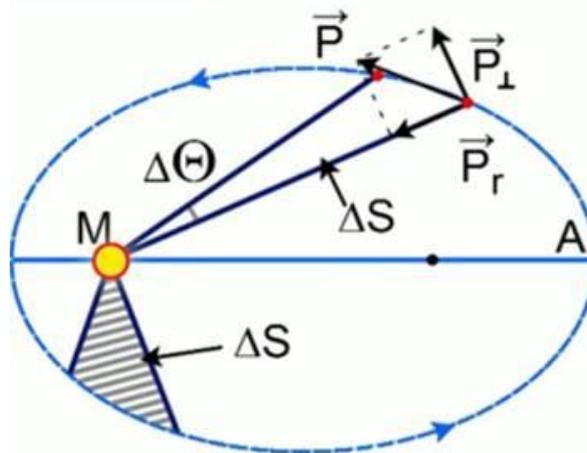
Афелий (Апоастр)

$$Q = a + c = a(1 + e)$$

$$\frac{Q}{q} = \frac{a(1 + e)}{a(1 - e)} = \frac{1 + e}{1 - e} = \frac{1 + 0,967}{1 - 0,967} = 59,6$$

Второй закон Кеплера

- Каждая планета движется в плоскости, проходящей через центр Солнца, причём за равные промежутки времени радиус-вектор, соединяющий Солнце и планету, описывает равные площади.
- перигелий — ближайшая к Солнцу точка орбиты, и афелий — наиболее удалённая точка орбиты. Таким образом, из второго закона Кеплера следует, что планета движется вокруг Солнца неравномерно, имея в перигелии большую линейную скорость, чем в афелии.



$$\sigma = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{S}{T} = \frac{\pi a b}{T}$$

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{r^2 \cdot \Delta \Theta}{2 \cdot \Delta t} = \frac{r^2 \cdot \omega}{2}$$

$$L = m \cdot r^2 \cdot \omega = P_{\perp} \cdot r$$

$$r_p \cdot v_p = r_a \cdot v_a$$

Скорости на эллипсе

- Направлена всегда по касательной

$$V = \sqrt{GM \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)} = \sqrt{\frac{GM}{a}} \cdot \sqrt{\frac{2a}{r} - 1} = V_{\text{cp}} \cdot \sqrt{\frac{2a}{r} - 1}$$

- Скорость в периастре

$$V_q = V_{\text{cp}} \cdot \sqrt{\frac{2a}{q} - 1} = V_{\text{cp}} \cdot \sqrt{\frac{2a}{a(1-e)} - 1} = V_{\text{cp}} \cdot \sqrt{\frac{1+e}{1-e}}$$

- Скорость в апоастре

$$V_Q = V_{\text{cp}} \cdot \sqrt{\frac{2a}{Q} - 1} = V_{\text{cp}} \cdot \sqrt{\frac{2a}{a(1+e)} - 1} = V_{\text{cp}} \cdot \sqrt{\frac{1-e}{1+e}}$$

Задача на скорости на эллипсе

- Чему равны и во сколько раз отличаются скорости движения кометы Галлея (1P) в перигелии и афелии орбиты? если эксцентриситет ее орбиты $e=0,967$, а период ее обращения 75,3 года



$$V_q = V_{cp} \cdot \sqrt{\frac{1+e}{1-e}}$$

$$V_Q = V_{cp} \cdot \sqrt{\frac{1-e}{1+e}}$$

$$\frac{V_q}{V_Q} = \frac{V_{cp} \cdot \sqrt{\frac{1+e}{1-e}}}{V_{cp} \cdot \sqrt{\frac{1-e}{1+e}}} = \frac{1+e}{1-e}$$

$$= \frac{1,967}{0,033} \approx 59,6$$

$$\frac{V_a}{V_{\oplus}} = \frac{\sqrt{\frac{GM_{\odot}}{a}}}{\sqrt{\frac{GM_{\odot}}{a_{\oplus}}}} = \sqrt{\frac{a_{\oplus}}{a}} \Rightarrow \left(\frac{T_{\oplus}}{T_a}\right)^{\frac{1}{3}} \Rightarrow V_a = \left(\frac{T_{\oplus}}{T_a}\right)^{\frac{1}{3}} V_{\oplus}$$

$$\frac{T_a^2}{T_{\oplus}^2} = \frac{a^3}{a_{\oplus}^3} \Rightarrow \frac{a_{\oplus}}{a} = \left(\frac{T_{\oplus}}{T_a}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$V_a = V_{cp} = \left(\frac{T_{\oplus}}{T_a}\right)^{\frac{1}{3}} V_{\oplus}$$

$$= \left(\frac{1}{75,3}\right)^{\frac{1}{3}} 30 \approx 7,1 \text{ км/с}$$

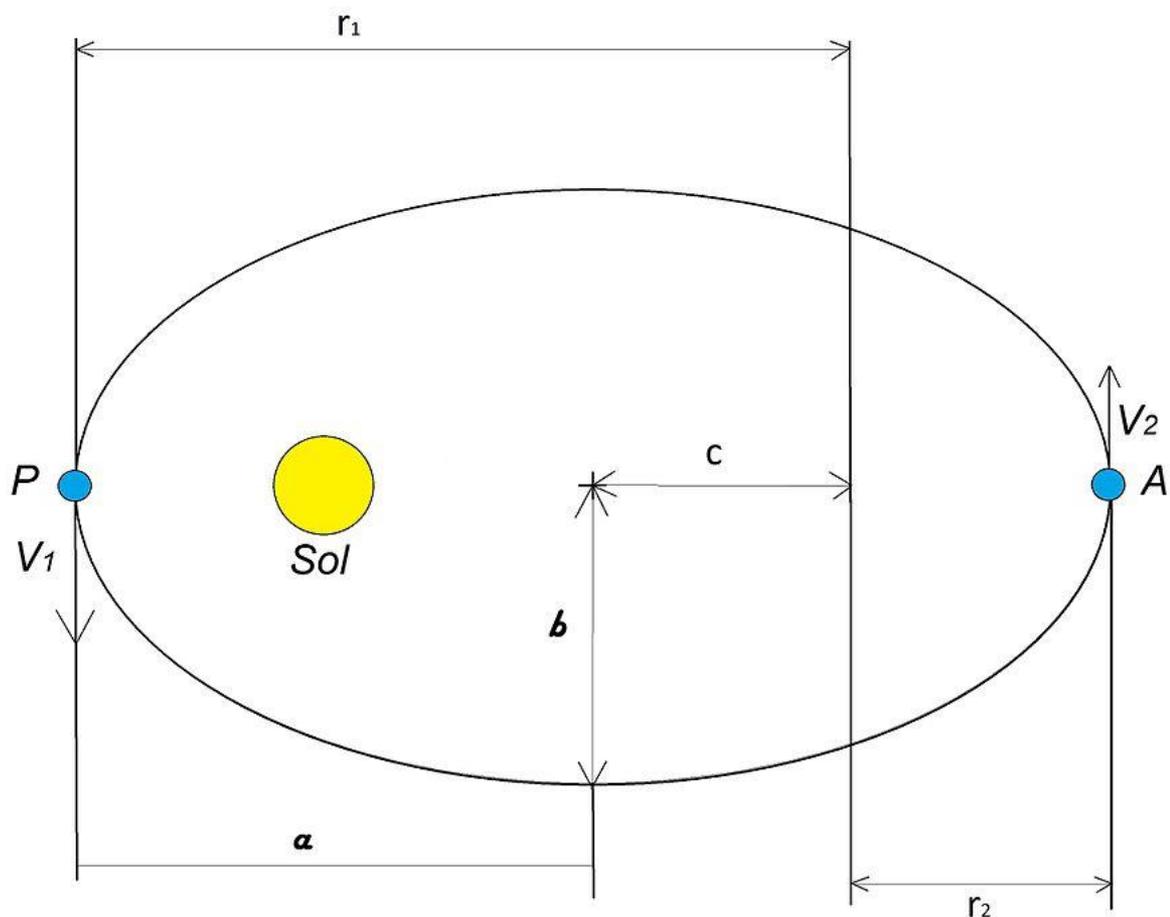
$$V_q = 7,1 \sqrt{59,6} = 54,8 \text{ км/с}$$

$$V_Q = 0,9 \text{ км/с}$$

Третий закон Кеплера

- Квадраты периодов обращения планет вокруг Солнца относятся как кубы больших полуосей орбит планет.

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

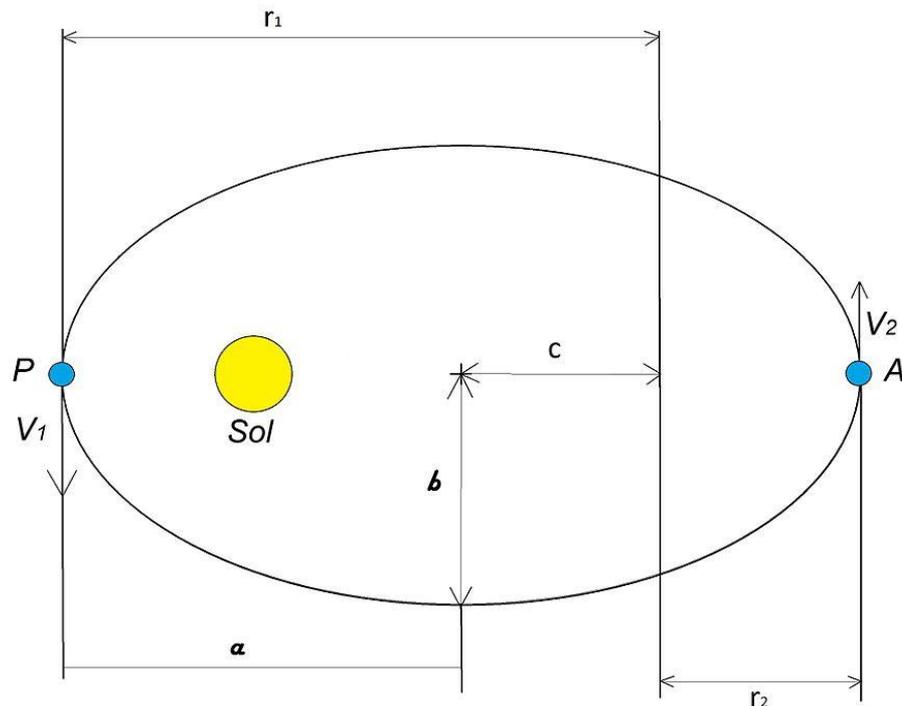


Уточненный третий закон Кеплера

- Произведение суммы масс систем и квадраты периодов обращений планет пропорциональны кубам больших полуосей их эллиптических орбит.

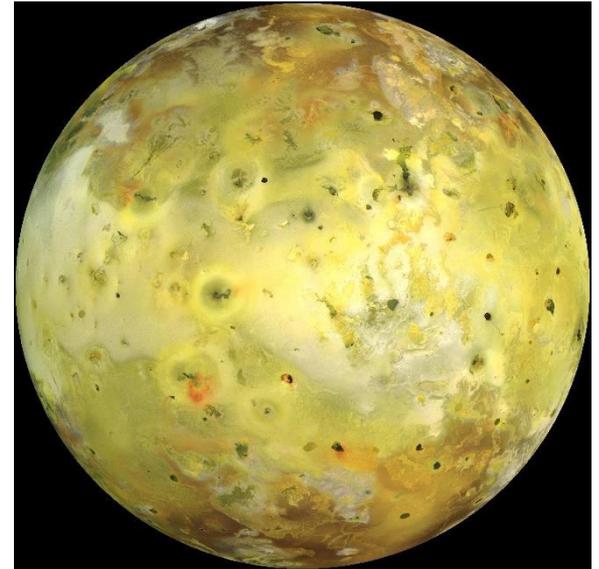
$$\frac{T_1^2(M_1 + m_1)}{T_2^2(M_2 + m_2)} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

$$\frac{T_1^2(M_1 + m_1)}{a_1^3} = \frac{4\pi^2}{G}$$



Задача на уточненный третий закон Кеплера

- Найдите массу планеты Юпитер в массах Земли, если спутник Юпитера Ио делает один оборот вокруг Юпитера 1,77 дня на расстоянии 422 тысячи км от Юпитера. Период обращения Луны вокруг Земли 27,3 дня, расстояние – 384 тысячи км. Считать орбиты Луны и Ио круговыми.



$$\frac{T_1^2(M_1 + m_1)}{T_2^2(M_2 + m_2)} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

$$\frac{T_{\text{Ио}}^2(M_{\text{Ю}} + m_{\text{Ио}})}{T_{\text{Луны}}^2(M_{\text{З}} + m_{\text{Луны}})} = \frac{a_{\text{Ио}}^3}{a_{\text{Луны}}^3}$$

$$\frac{T_{\text{Ио}}^2}{T_{\text{Луны}}^2} = \frac{a_{\text{Ио}}^3(M_{\text{З}} + m_{\text{Луны}})}{a_{\text{Луны}}^3(M_{\text{Ю}} + m_{\text{Ио}})}$$

$$\frac{M_{\text{Ю}}}{M_{\text{З}}} = \frac{T_{\text{Луны}}^2 a_{\text{Ио}}^3}{T_{\text{Ио}}^2 a_{\text{Луны}}^3} = \frac{27,3^2 422000^3}{1,77^2 384000^3} \approx 330$$

Гомановский эллипс

- В первом приближении орбиты планет круговые

$$a_1 \quad a_2$$

- Скорости движения планет по орбитам

$$V_1 = \sqrt{\frac{GM_{\oplus}}{a_1}}$$

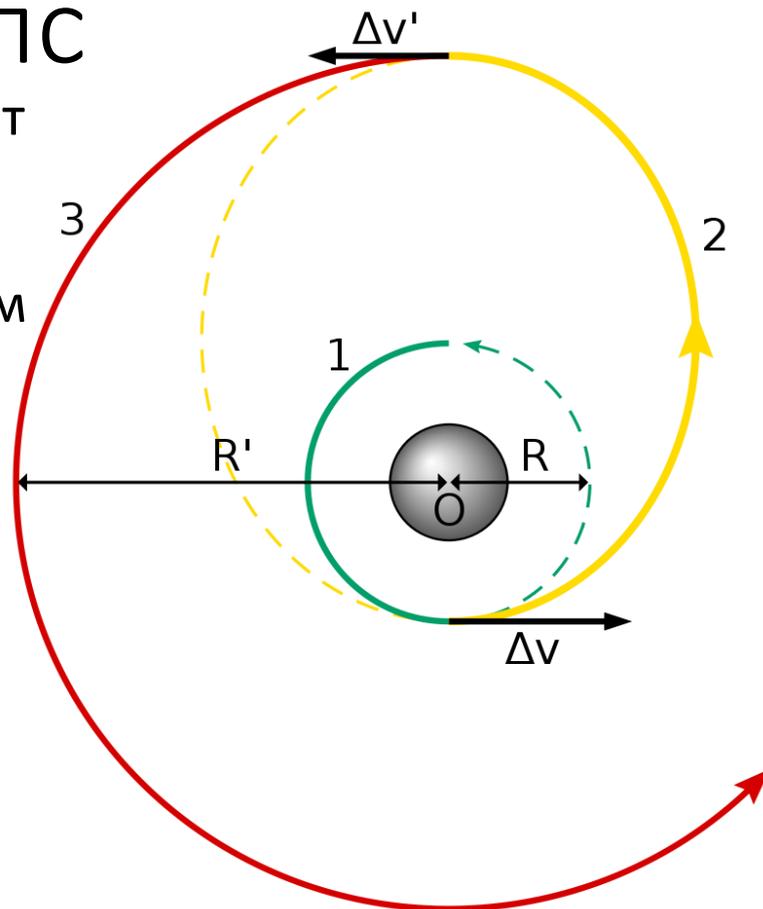
$$V_2 = \sqrt{\frac{GM_{\oplus}}{a_2}}$$

- Параметры гомановского эллипса

$$a_{\Gamma} = \frac{a_1 + a_2}{2} \Leftrightarrow \frac{T_{\Gamma}^2}{T_{\oplus}^2} = \frac{a_{\Gamma}^3}{a_{\oplus}^3}$$

- Эксцентриситет

$$e = \frac{a_2 - a_1}{a_1 + a_2}$$



Скорость в перигелии орбиты этого Эллипса

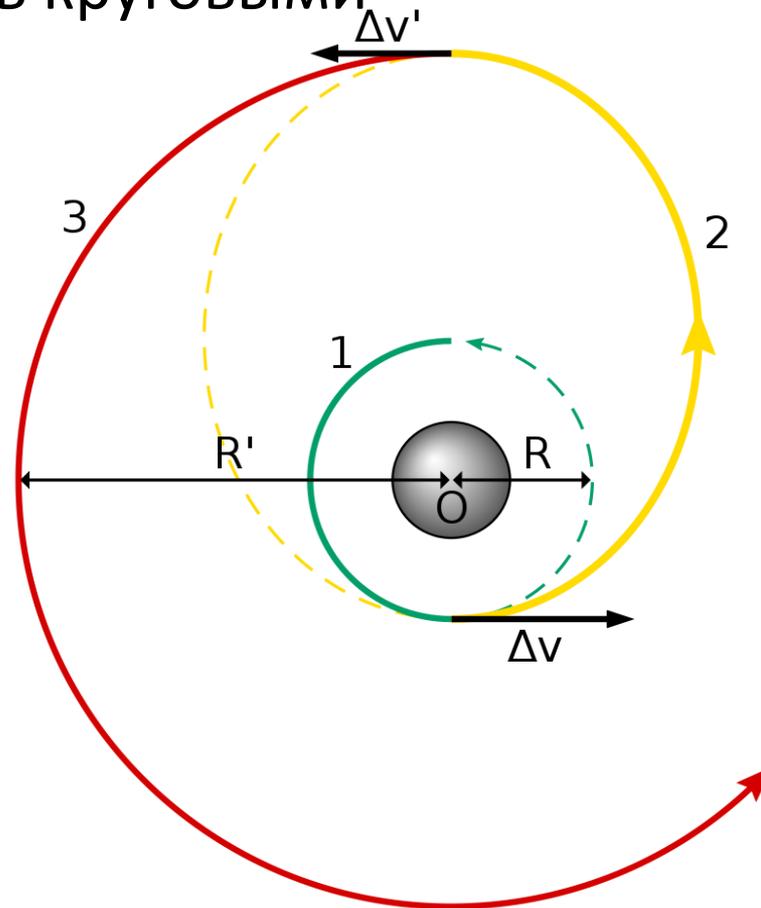
$$V_q = V_{\text{cp}} \cdot \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} = \sqrt{\frac{GM}{a_{\Gamma}}} \sqrt{\frac{1+e}{1-e}}$$

Скорость в афелии орбиты этого эллипса

$$V_Q = V_{\text{cp}} \cdot \sqrt{\frac{1-e}{1+e}} = \sqrt{\frac{GM}{a_{\Gamma}}} \sqrt{\frac{1-e}{1+e}}$$

Задача на ГОМАНОВСКИЙ ЭЛЛИПС

- Определите время необходимое для полета с Земли на Марс, а так же значения скоростей необходимое для маневров при движении космического аппарата? Большая полуось орбиты Марса 1,5 а.е.. Большая полуось орбиты Земли 1 а.е.. Период обращения Земли 1 год.. Орбиты планет Считать круговыми



ССЫЛКИ

- Группа задач Астрономических олимпиад в контакте в документах есть задачи олимпиад разных уровней с решениями в разделе Ресурсы - <https://vk.com/astroolympiads>
- Сайт штаба сборной РФ по астрономии и астрофизике с архивом задач - «Астрономическое образование» - <http://astroedu.ru/>
- Авторский сайт преподавателя астрономии школы № 179 г. Москвы к.п.н. Шатовской Натальи Евгеньевны – <http://www.myastronomy.ru>
- Астрономическая картинка дня - <https://apod.nasa.gov/apod/>
- Фотоальбом НАСА - <https://photojournal.jpl.nasa.gov/>
- Проект карта Вселенной на разных масштабах - <http://www.atlasoftheuniverse.com/>
- Виртуальный планетарий- <https://celestiaproject.net/ru/>
- Виртуальный планетарий - <http://www.stellarium.org/>

A vibrant, multi-colored nebula with orange, yellow, and blue hues, set against a starry background. The nebula's structure is complex, with bright, glowing regions and darker, shadowed areas. The colors transition from warm oranges and yellows on the left to cooler blues and purples on the right. Numerous stars of varying brightness are scattered throughout the scene, some appearing as sharp points of light and others as soft, out-of-focus glows.

Спасибо за внимание