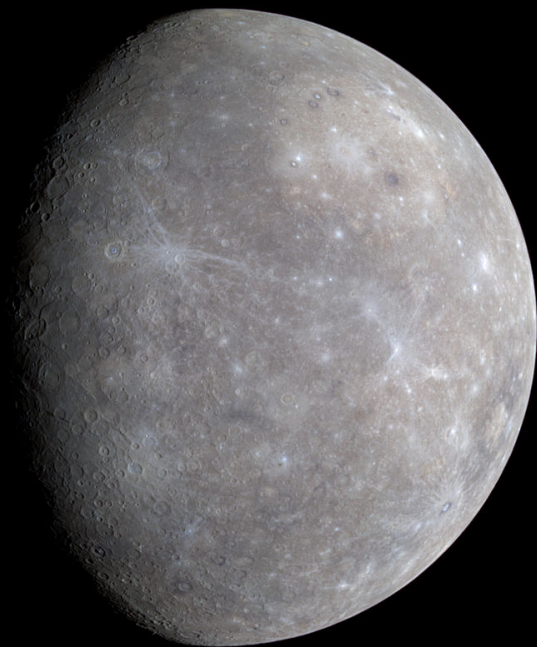


Земля, Луна, Меркурий

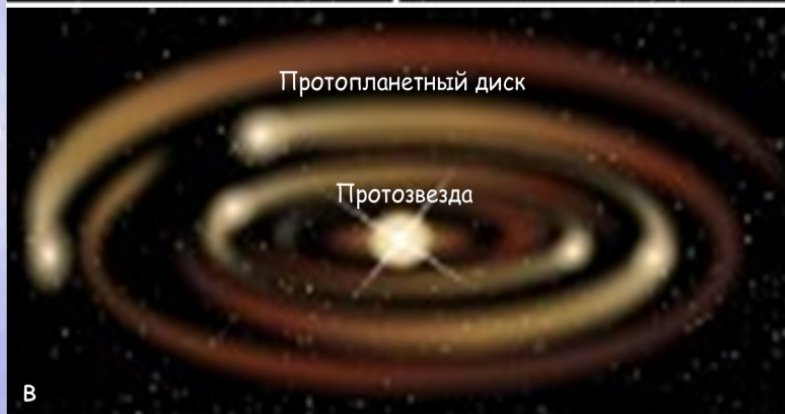
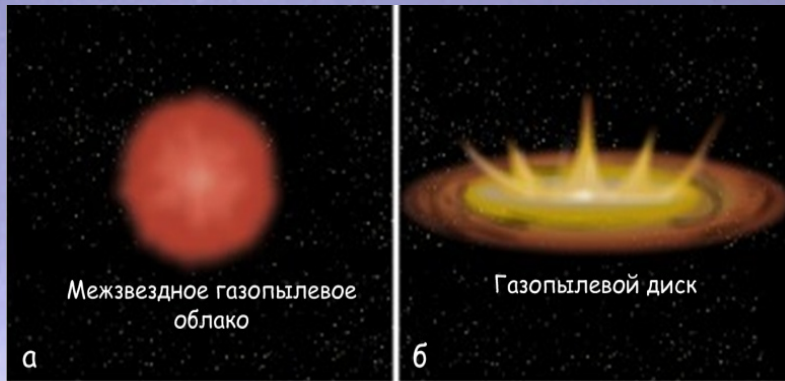


ЗЕМЛЯ



Размер:	12 750 км (диам)
Масса:	$6 \cdot 10^{24}$ кг ($3 \cdot 10^{-6} M_c$)
Ускор. своб. пад.:	9.8 м/с ²
Орбита:	~1 а.е. (150 млн. км)
Давление:	1 атм (10^5 Па)
Температура:	от -90 до +55 С
Атмосфера:	N ₂ (78%) O ₂ (21%) Ar (0.9%) H ₂ O (0-1%)

Происхождение Земли в Солнечной системе (4,5 млрд. лет назад)



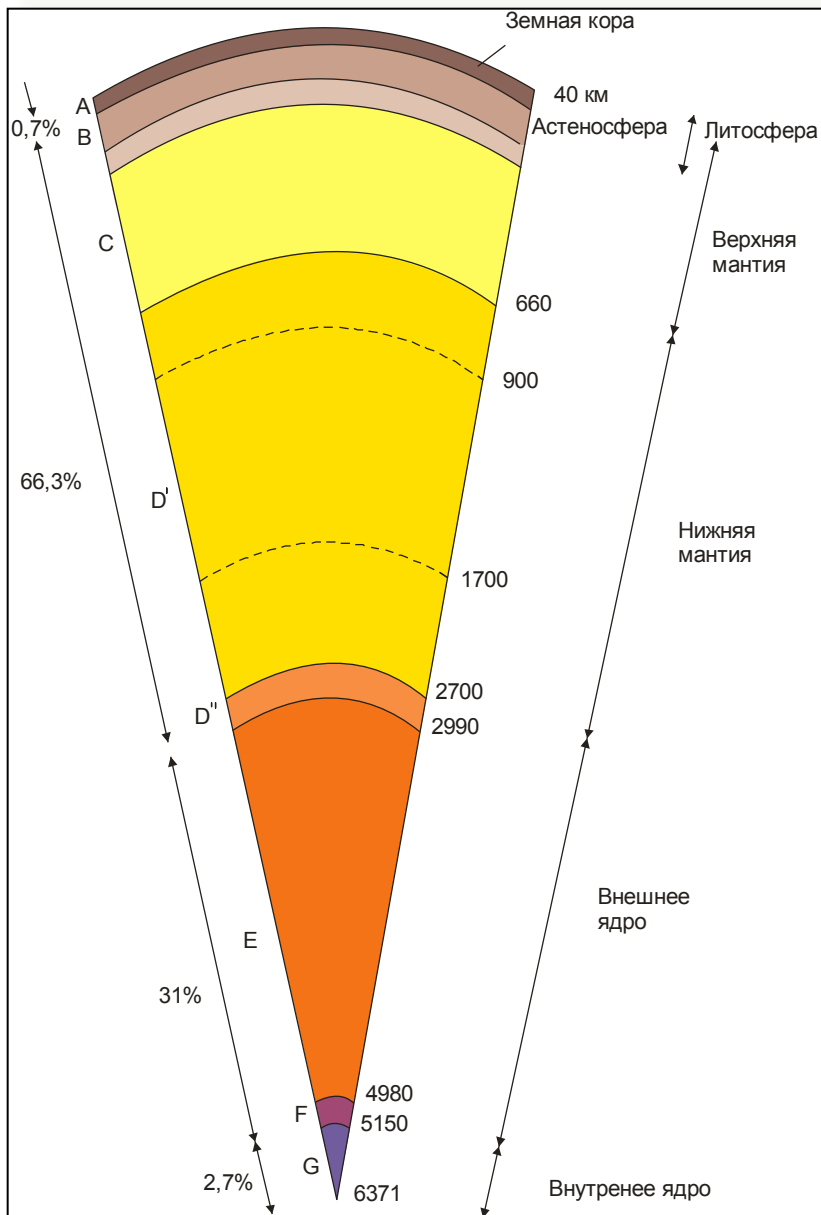
- 1543 год: гелиоцентрическая система Коперника
- 1609-1619: законы Кеплера
- **1644: предположение Декарта о газопылевом облаке в начале формирования планет**

Состав газопылевого облака:

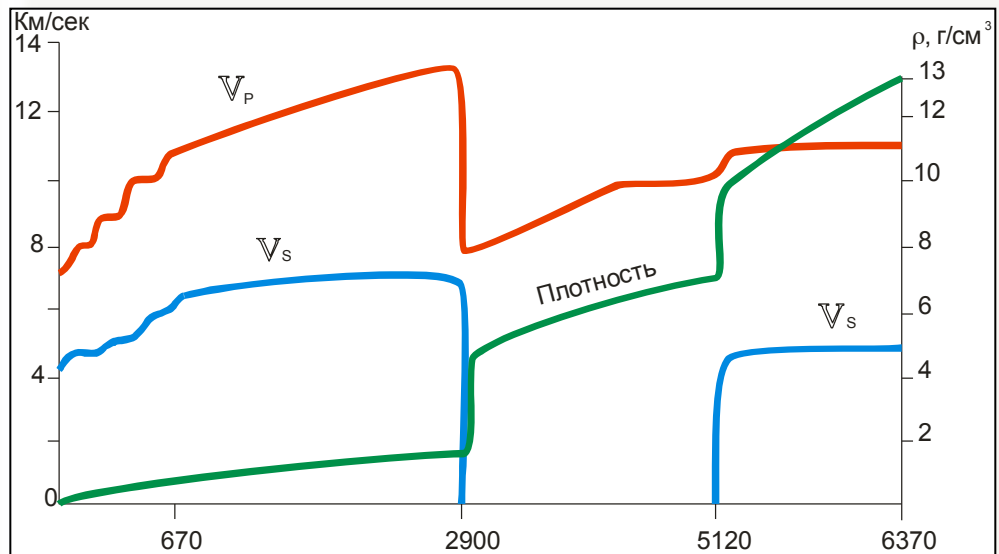
- газы (водород, гелий),
- льды (твердые при $T < 100 \text{ K}$)
- камни (испаряются при $N > 1000 \text{ K}$)

Типы атмосфер в Солнечной системе:

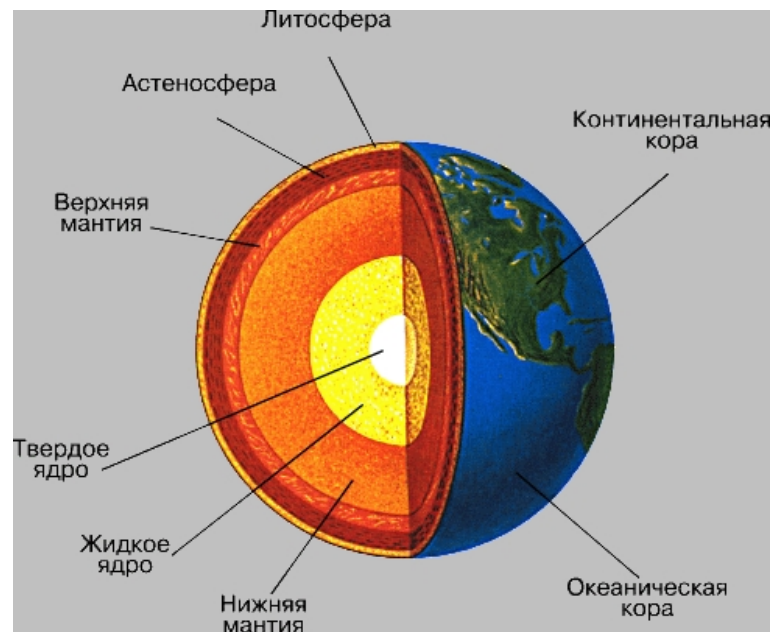
- 1) H_2/He атмосферы: Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун
- 2) CO_2 атмосферы: Венера и Марс
- 3) N_2/CH_4 атмосферы: Титан, Тритон, Плутон
- 4) N_2/O_2 атмосферы: ЗЕМЛЯ (жизнь!)



Внутреннее строение Земли



Распределение скоростей сейсмических волн и плотность вещества внутри Земли. Наиболее существенные скачки скоростей происходят на глубинах 2900 и 5120 км.



Вещественный состав оболочек Земли

Химический состав

Главные элементы Земли: Fe (38,8 1%), O (27,17%), Si (13,84%), Mg(11,25%), S (2,74%), Ni (2,7%), Ca (1,507%) и Al (1,07%), остальные

Земная кора: SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , FeO , MgO и другие оксиды.

Мантия: SiO_2 , MgO , FeO , Al_2O_3 , CaO и другие оксиды.

Внешнее ядро: Fe + Ni (84 – 92%) + 10-20% S (возможно Si).

Внутреннее ядро: Fe + Ni.

Минеральный состав

Земная кора: полевые шпаты, кварц, слюды и глинистые минералы >90%, пироксены и амфиболы ~5%, остальные ~5%

Мантия: существенно силикатная, оливин и пироксены, в незначительном количестве – полевые шпаты и гранат.

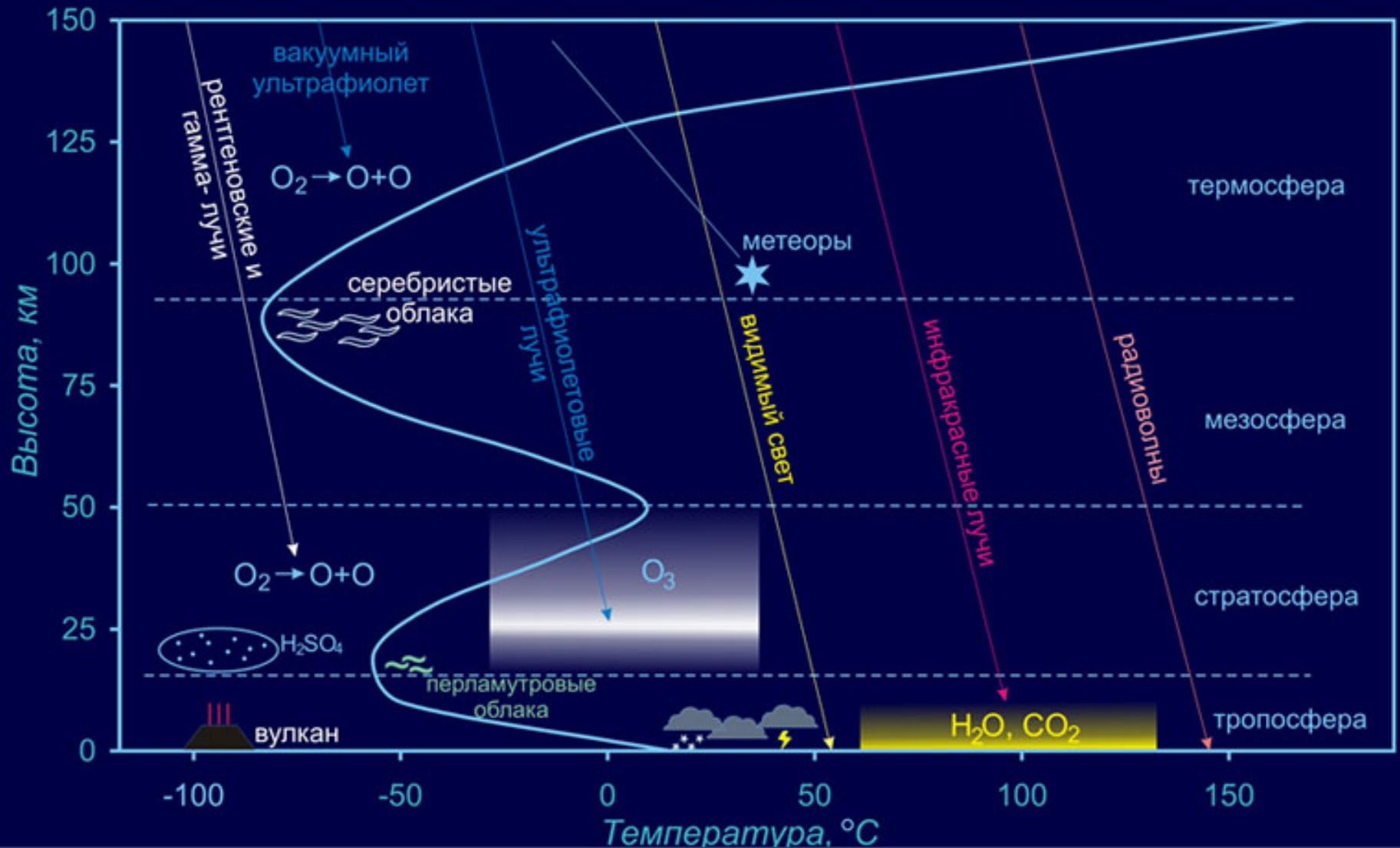
Плиты Земли



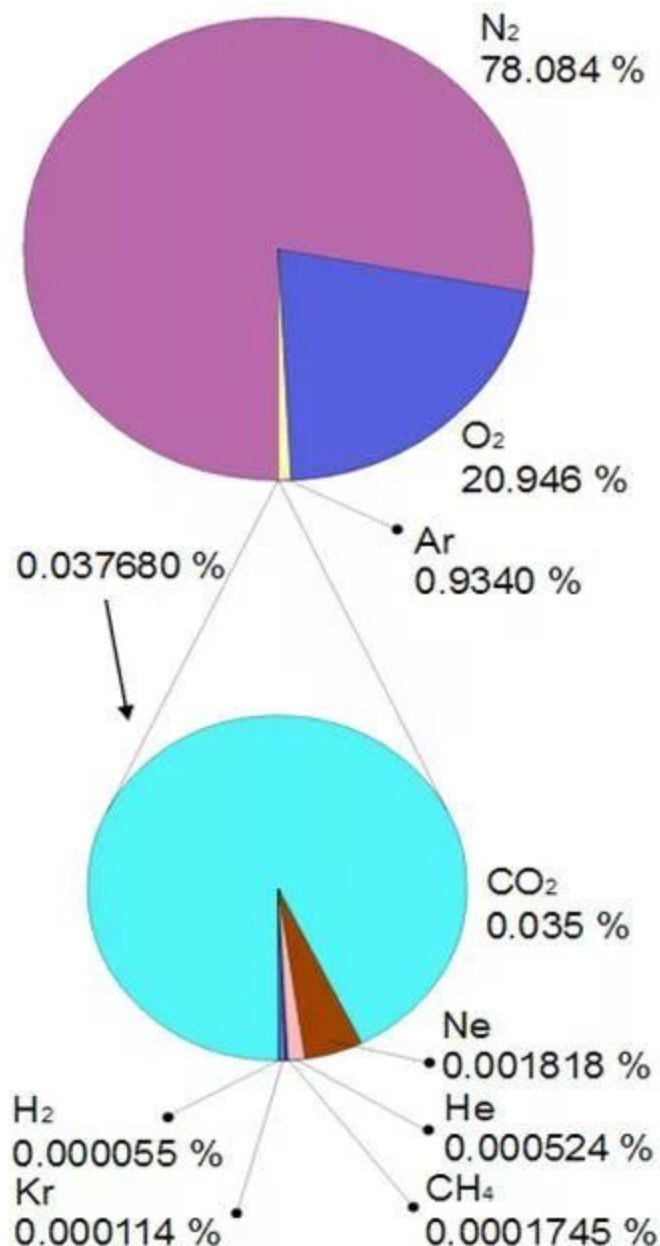
Земная кора и верхняя часть мантии состоит из отдельных частей – плит. Плиты очень медленно движутся. В результате материки перемещаются по поверхности Земли.

Атмосфера Земли

Спутник-1 (215-940 км), Восток-1 (175-300 км), МКС (340-430 км), Луна (400 000 км)



Химический состав атмосферы Земли

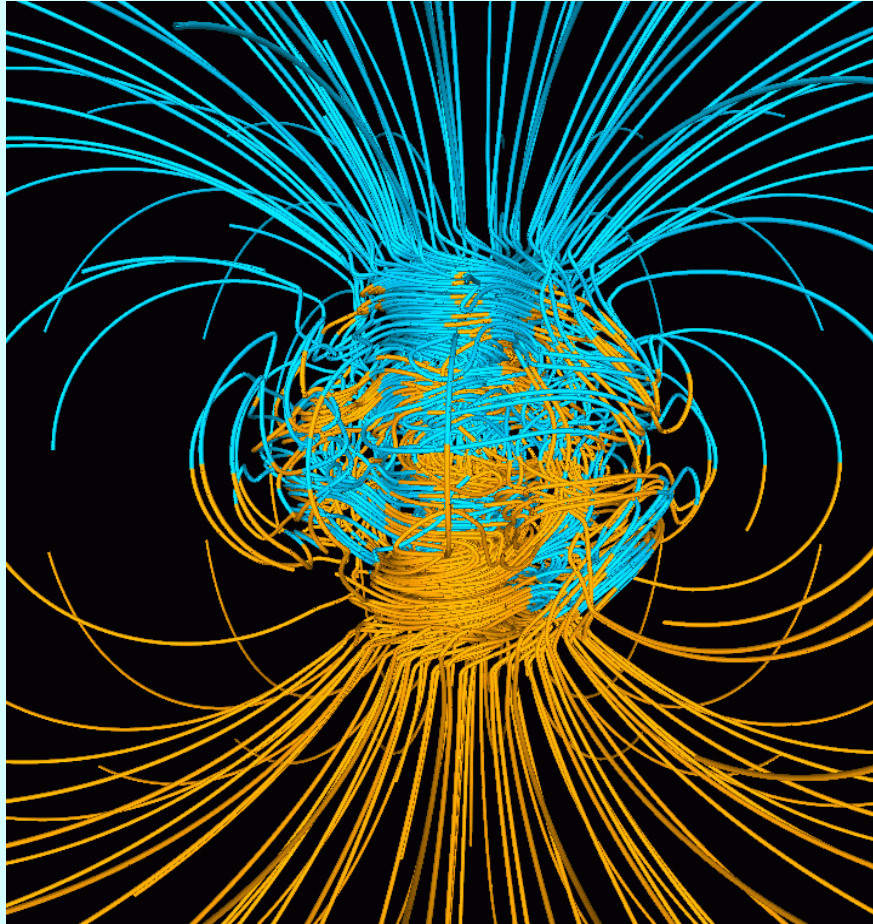


Состав сухого воздуха

Газ	Содержание по объёму, %	Содержание по массе, %
Азот	78,084	75,50
Кислород	20,946	23,10
Аргон	0,932	1,286
Вода	0,5-4	—
Углекислый газ	0,0387	0,059
Неон	$1,818 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$
Гелий	$4,6 \cdot 10^{-4}$	$7,2 \cdot 10^{-5}$
Метан	$1,7 \cdot 10^{-4}$	—
Криптон	$1,14 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$
Водород	$5 \cdot 10^{-5}$	$7,6 \cdot 10^{-5}$
Ксенон	$8,7 \cdot 10^{-6}$	—
Закись азота	$5 \cdot 10^{-5}$	$7,7 \cdot 10^{-5}$

III. Магнитное (геомагнитное) поле Земли

Магнитное поле Земли (геомагнитное поле) складывается из **главного, аномального и внешнего геомагнитных полей**



Силовые линии дипольного магнитного поля Земли

Главное, или основное геомагнитное поле генерируется внутриземными источниками.

Аномальное поле, создаваемое намагниченными горными породами.

Внешнее, или переменное, геомагнитное поле, связано с солнечно-земными взаимодействиями.

Напряженность дипольного магнитного поля Земли \sim **0,5 эрстед**. Магнитному полю Земли лучше всего соответствует дипольная модель однородно намагниченного шара

Геомагнитные полюсы – точки пересечения магнитной оси с земной поверхностью, в которых магнитное наклонение = 90°



S – в Северной Гренландии.

N – в Антарктиде.

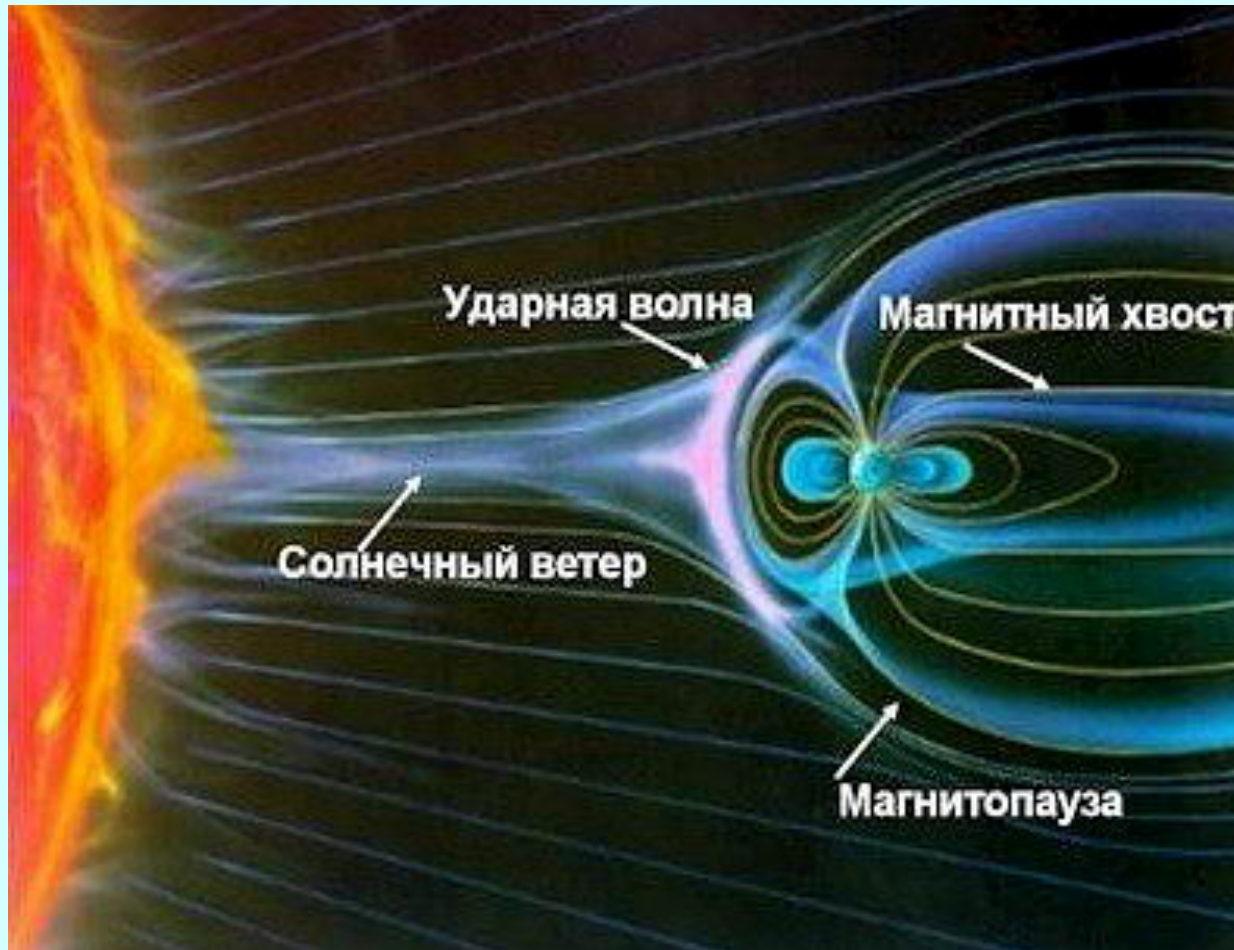
Полюсы медленно мигрируют. **S** – в сторону Сибири.

Угол между северным географическим и условно северным магнитным полюсами сейчас составляет $7,3^\circ$.

Магнитосфера -

Область геомагнитного поля, обтекаемого солнечным ветром, ее граница с дневной стороны проходит на расстоянии 70-80 тыс. км от Земли, границы хвоста неизвестны.

Граница магнитосферы Земли, на которой давление магнитного поля равно давлению окружающей магнитосферу плазмы называется **магнитопауза**.



Геомагнитное поле несет важную **экологическую функцию**, защищая Землю и все живое от губительного потока ионизированного плазменного вещества.

Области магнитосферы, представляющие собой геомагнитные ловушки, удерживающие частицы в ограниченном объеме, образуют **радиационные пояса Земли**.

Полярные сияния в Апатитах



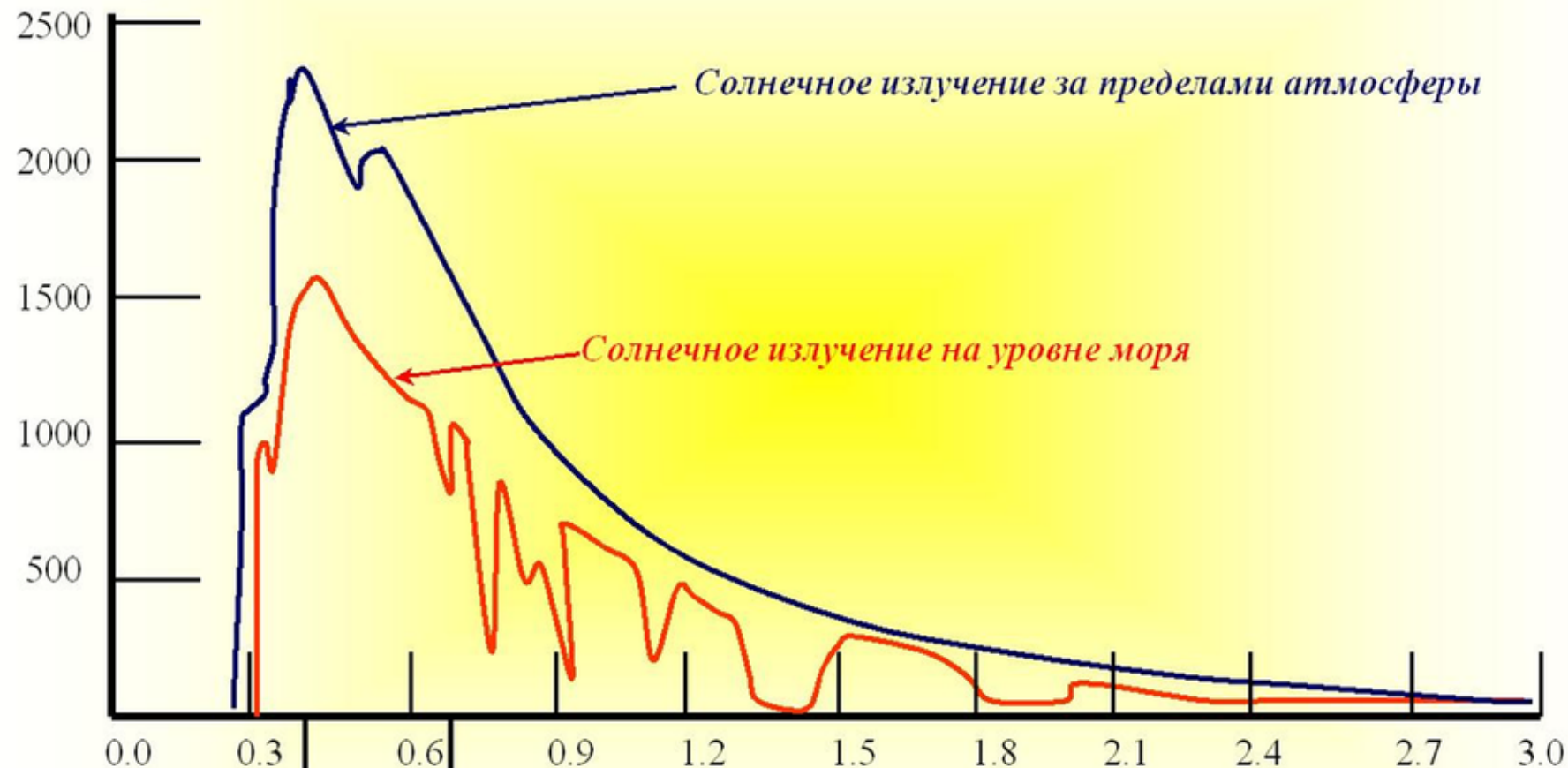
Солнечная радиация и радиационный баланс



Земля получает половину миллиардной доли излучения Солнца.

Спектр солнечного излучения

Освещенность
 $Wm^{-2}\mu^{-1}$

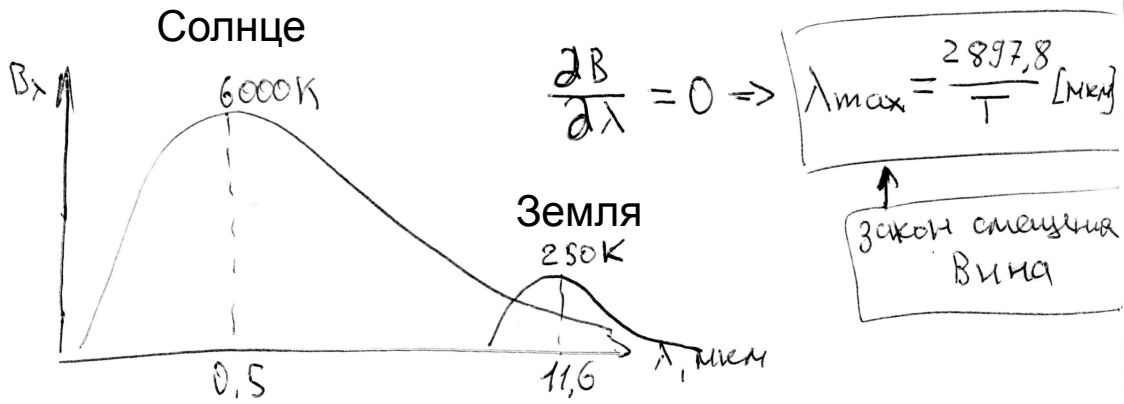
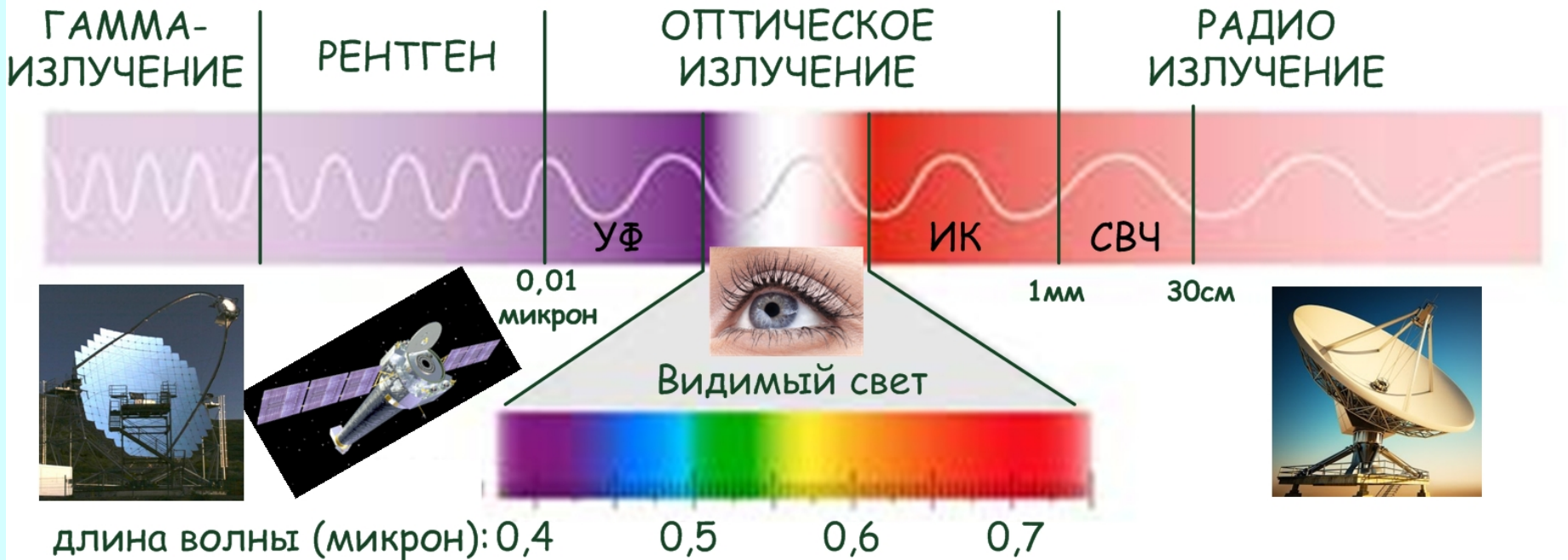


Ультрафиолетовый

Видимый

Инфракрасный

Длина волны, мкм



$$\frac{\partial B}{\partial \lambda} = 0 \Rightarrow \lambda_{\text{max}} = \frac{2897,8}{T} [\text{мкм}]$$

↑
закон смещения
Вина

$\lambda_{\text{max}}^{\text{Sun}} \approx 0,5 \text{ мкм}, \lambda_{\text{max}}^{\text{Earth}} \approx 11,6 \text{ мкм}$

$B_{\lambda}(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5 \left(\exp\left[\frac{hc}{\lambda k_B T}\right] - 1 \right)}$ - формула Планка

Спектр излучения «абсолютно черного тела» (АЧТ)

Луна



Размер:	~3400 км (диам)
Масса:	$7 \cdot 10^{22}$ кг (1/81 M_3)
Ускор. своб. пад.:	1.6 м/с ²
Орбита:	360-405 тыс. км
Температура:	от -170 до +100 С
Альбедо:	~10%

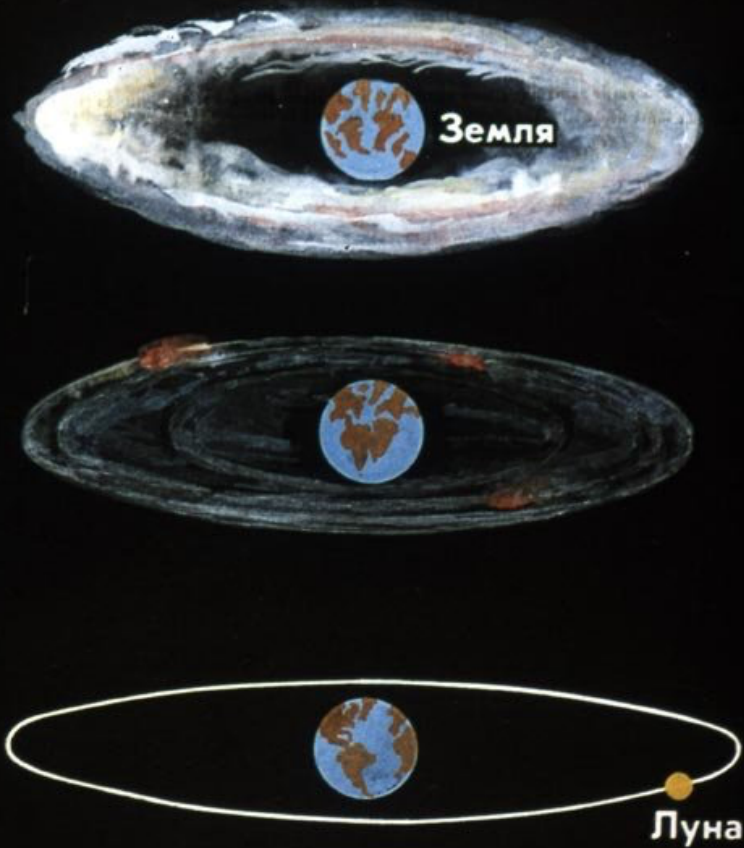
Состав грунта (реголита):



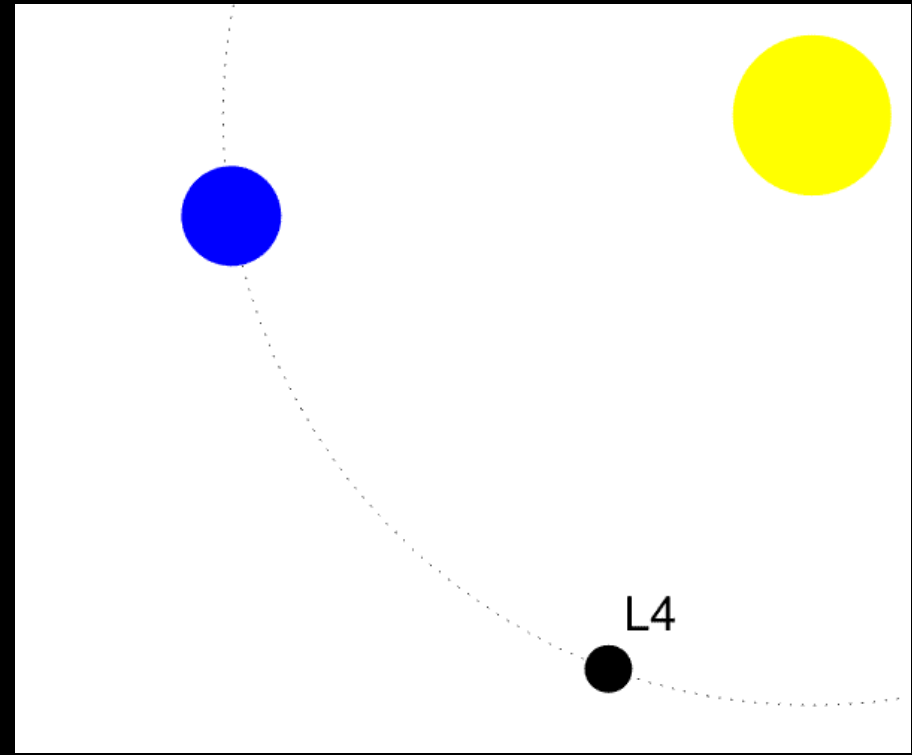
кремнезем (кварц) SiO_2 (21%)
гематит Fe_2O_3 (13.1%)
негашеная известь CaO (8%)
глинозем Al_2O_3 (7,9%)
периклаз MgO (6,9%)

Происхождение Луны

1. Теория совместной аккреции
(из общей протопланетной туманности)



2. Теория столкновения (мегаимпакта):
(столкновение с протопланетой Тейя)



Основные фазы Луны

(сменяют друг друга с периодом 29-30 дней)



Новолуние



Молодая
Луна



Первая
четверть



Прибывающая
Луна



Полнолуние



Убывающая
Луна

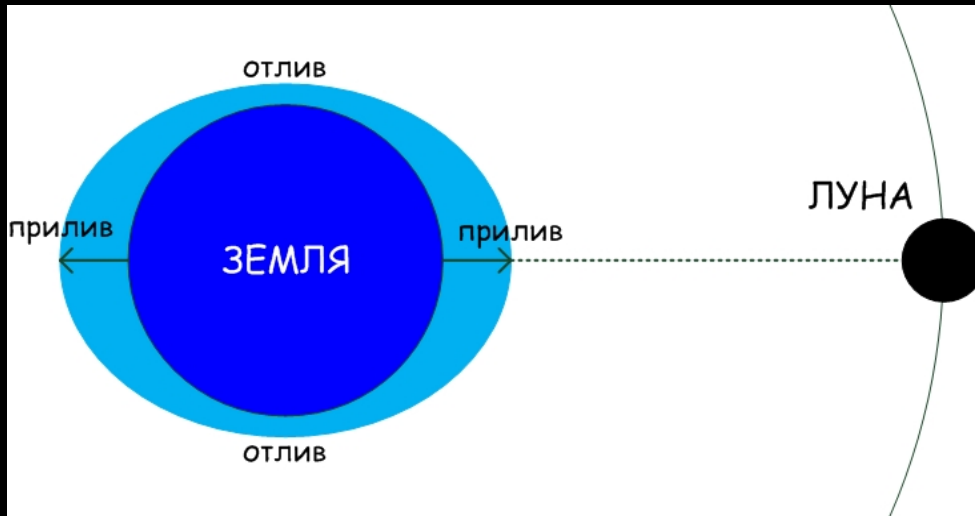


Последняя
четверть



Старая
Луна

Приливное действие Луны



$$M_{\text{луны}} = 1/81 M_{\text{земли}}$$

Большое значение для спутников
в Солн. системе



Затмение Солнца Луной

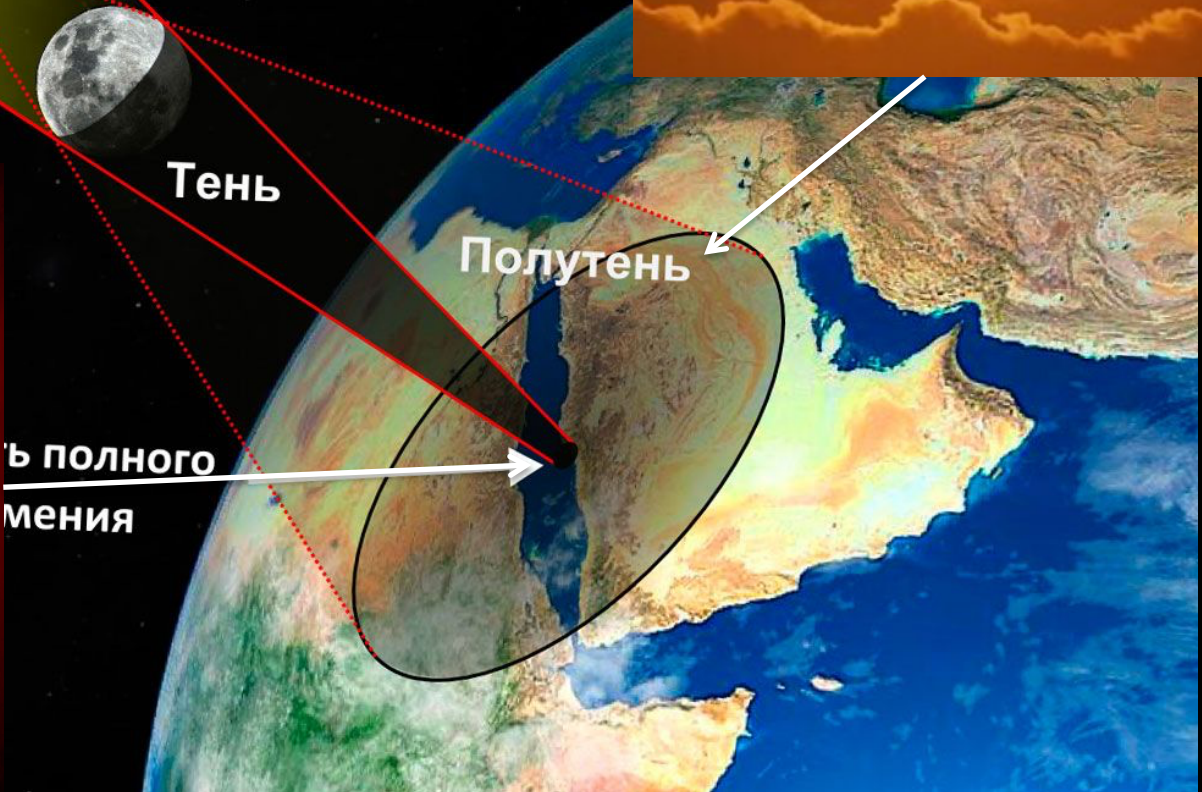
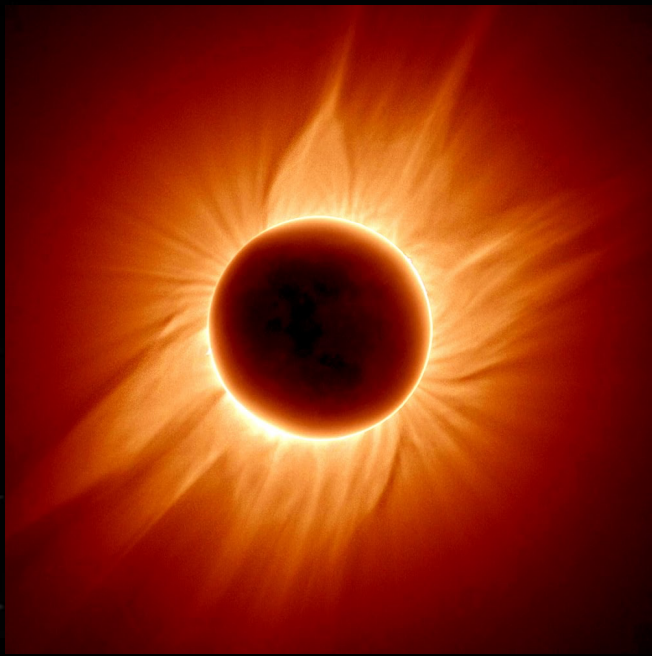
Солнце

Луна

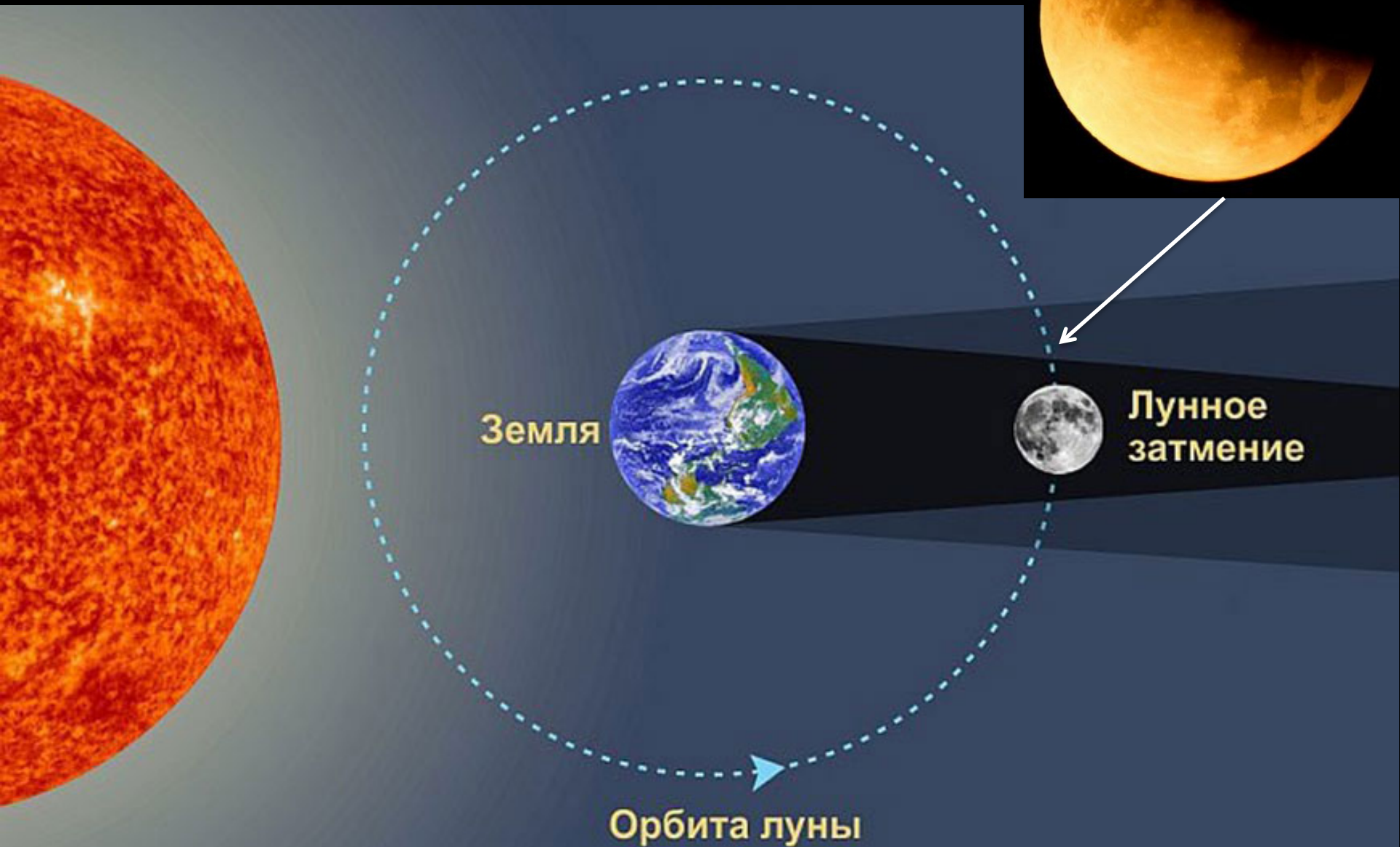
Тень

Полутень

Зона полного затмения



Лунное затмение



Обратная сторона Луны

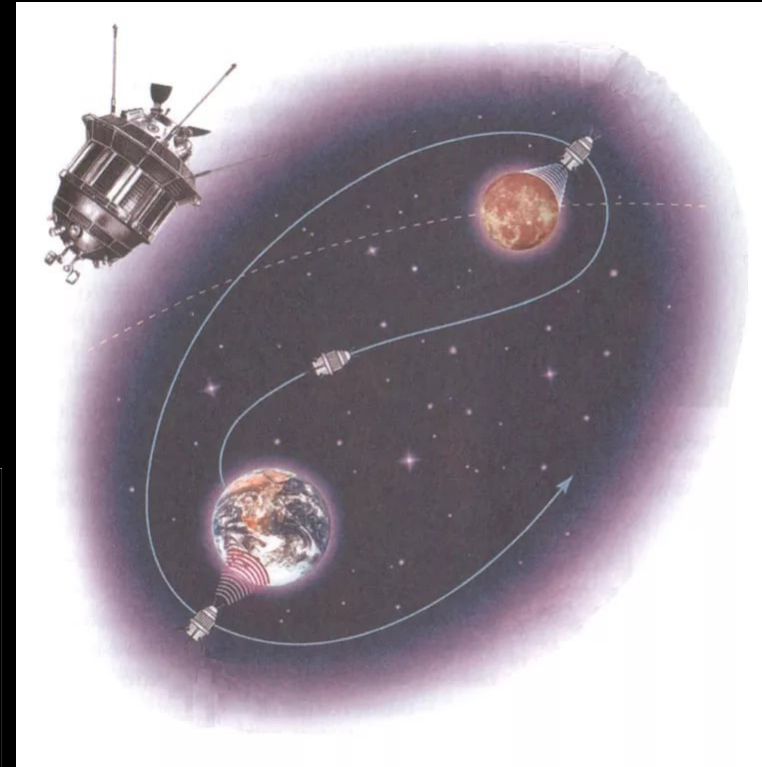
(период вращения = периоду обращения) => с Земли всегда видна одна сторона

7 октября 1959г. – «Луна-3» – первые съемки
обратной стороны Луны

Видимая
сторона



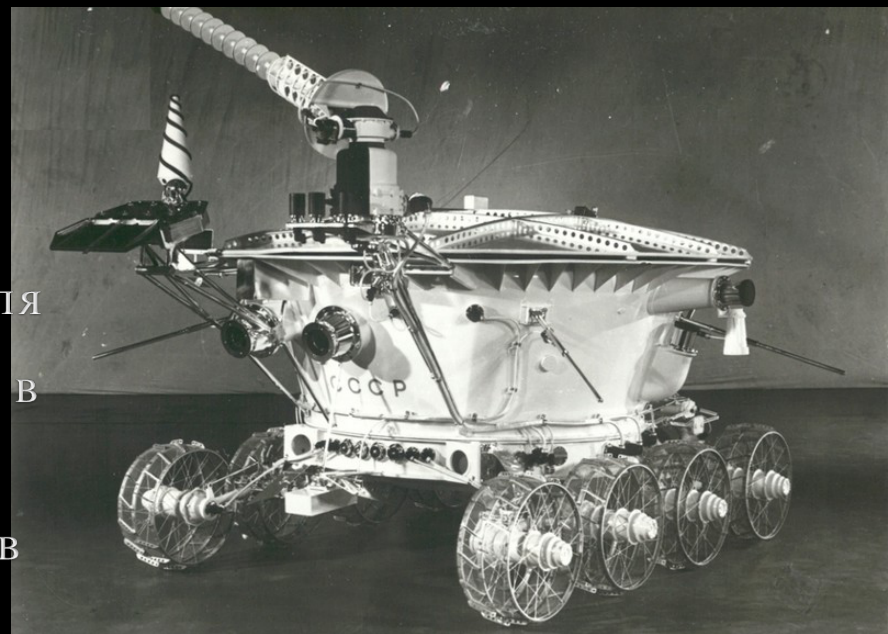
Обратная
сторона



*Видимая и обратная стороны Луны. Снимки, полученные
аппаратом Lunar Reconnaissance Orbiter в 2009 году*

Освоение Луны СССР (1959-1973 г.)

- "Лунник-1" прошел около Луны на расстоянии 5000 км.
- "Лунник-2" потерпел катастрофу около кратера Архимед
- "Лунник-3" передал на Землю первые изображения обратной стороны Луны.
- "Луна-9" в январе 1966г совершила первую мягкую посадку на Луне в океане Бурь.
- "Луна-10" в марте 1966г стала первым орбитальным спутником Луны.
- «Луна-24» в августе 1976г доставил на Землю образцы лунного грунта.
- "Луна-17 и -21" доставили на поверхность Луны луноход - подвижное транспортное средство для перемещений по ее поверхности.
- "Луноход-1" был доставлен "Луной-17" в западную часть моря Дождей 17 ноября 1970г и использовался в течение 10 месяцев.
- "Луноход-2" был высажен с "Луны-21" в восточной части моря Ясности 16 января 1973г, где работал в течение четырех месяцев. Общее пройденное расстояние составило 10,5 и 37 км соответственно.



Луноход-1
(ПЕРВЫЙ В МИРЕ ПЛАНЕТОХОД)

ний Луны стала реализация грандиозной программы «Аполлон». 20 июля 1969 г. состоялась посадка на Луну пилотируемого модуля космического корабля «Аполлон-11»: человек впервые ступил на поверхность иного небесного тела! С 1968 по 1972 гг. на Луне успешно побывало шесть экспедиций, и лишь одна оказалась неудачной («Аполлон-13»), хотя и ее экипаж благополучно вернулся на Землю (табл. 3.2, рис. 3.10). В общей сложности было доставлено 2196 образцов лунного грунта общей массой 382 кг.

Таблица 3.2. Пилотируемые полеты по программе «Аполлон» (NASA, США)

Корабль и цель, даты запуска и возвращения	Командир, пилот лунной кабины, пилот основного блока	Краткое описание экспедиции
«Аполлон-7» Вокруг Земли 11–21 октября 1968	Уолтер Ширра, Уолтер Каннингем, Донн Эйзел	Совершил 163 витка вокруг Земли. Маневрировал на орбите и сближался с последней ступенью ракеты-носителя.
«Аполлон-8» Полет к Луне 21–27 декабря 1968	Фрэнк Борман, Уильям Андерс, Джеймс Ловелл	Первый пилотируемый полет по маршруту Земля–Луна–Земля. Совершил 10 оборотов вокруг Луны.
«Аполлон-9» Вокруг Земли 3–13 марта 1969	Джеймс Макдивитт, Рассел Швейкарт, Дейвид Скотт	Перестроение отсеков на околоземной орбите. Автономный полет лунного модуля с двумя астронавтами. Выход в космос в лунном скафандре.
«Аполлон-10» Вокруг Луны 18–26 мая 1969	Томас Стаффорд, Юджин Сернан, Джон Янг	Совершен 31 оборот вокруг Луны. Отделение лунного модуля с имитацией посадки, но без касания поверхности Луны. Первая цветная телепередача из космоса
«Аполлон-11» Посадка на Луну 16–24 июля 1969	Нил Армстронг, Эдвин Олдрин, Майкл Коллинз	Первая высадка на Луну 20 июля 1969 в Море Спокойствия. Пробыли на Луне 22 ч, совершив один выход на поверхность длительностью 2,5 ч. Удалялись на 30 м. Доставили 22 кг грунта.

Таблица 3.2 (продолжение)

Корабль и цель, даты запуска и возвращения	Командир, пилот лунной кабины, пилот основного блока	Краткое описание экспедиции
«Аполлон-12» Посадка на Луну 14–24 ноября 1969	Чарлз Конрад, Алан Бин, Ричард Гордон	Посадка в Океане Бурь, рядом с «Сервейером-3». Пробыли на Луне 31,5 ч, вне корабля 7,8 ч, удаляясь на 450 м. Установили сейсмометры и др. приборы. Доставили 34 кг грунта.
«Аполлон-13» Планировалась посадка на Луну 11–17 апреля 1970	Джеймс Ловелл, Фред Хейс, Джон Суиджерт	В связи с аварией на корабле (взрыв баллона с кислородом для топливных элементов электропитания) посадку на Луну отменили. Совершив облет Луны, вернулся на Землю.
«Аполлон-14» Посадка на Луну 31 января– 9 февр. 1971	Алан Шепард, Эдгар Митчелл, Стюарт Руса	Посадка у кратера Фра Мауро. Пробыв 33,5 ч, совершили два выхода (9,5 ч). Использовали ручную тележку. Доставили 42 кг грунта.
«Аполлон-15» Посадка на Луну 26 июля– 7 августа 1971	Дейвид Скотт, Джеймс Ирвин, Алфред Уорден	Посадка в районе Хэдли-Апеннинь. За 67 ч три выхода (18,5 ч). Проехали 27 км на ровере, удаляясь на 5 км. Доставили 77 кг грунта, поднятого ручным буром с глубины до 2,7 м.
«Аполлон-16» Посадка на Луну 16–27 апреля 1972	Джон Янг, Чарлз Дьюк, Томас Маттингли	Первая высадка в высокогорном районе, близ кратера Декарт. За 71 ч три выхода (20 ч). Проехали 27 км. Запустили спутник Луны. Доставили 96 кг грунта с глубины до 3 м.
«Аполлон-17» Посадка на Луну 7–19 декабря 1972	Юджин Сернан, Харрисон Шмитт, Рональд Эванс	Сели в долине, к югу от кратера Литров и гор Тавр. За 75 ч три выхода (22 ч). Проехали 36 км со скоростью до 18 км/ч, удаляясь на 7 км. Доставили 111 кг грунта. Шмитт — первый ученый на Луне (геолог).

Программа «Аполлон» США (1968-1972 гг.)

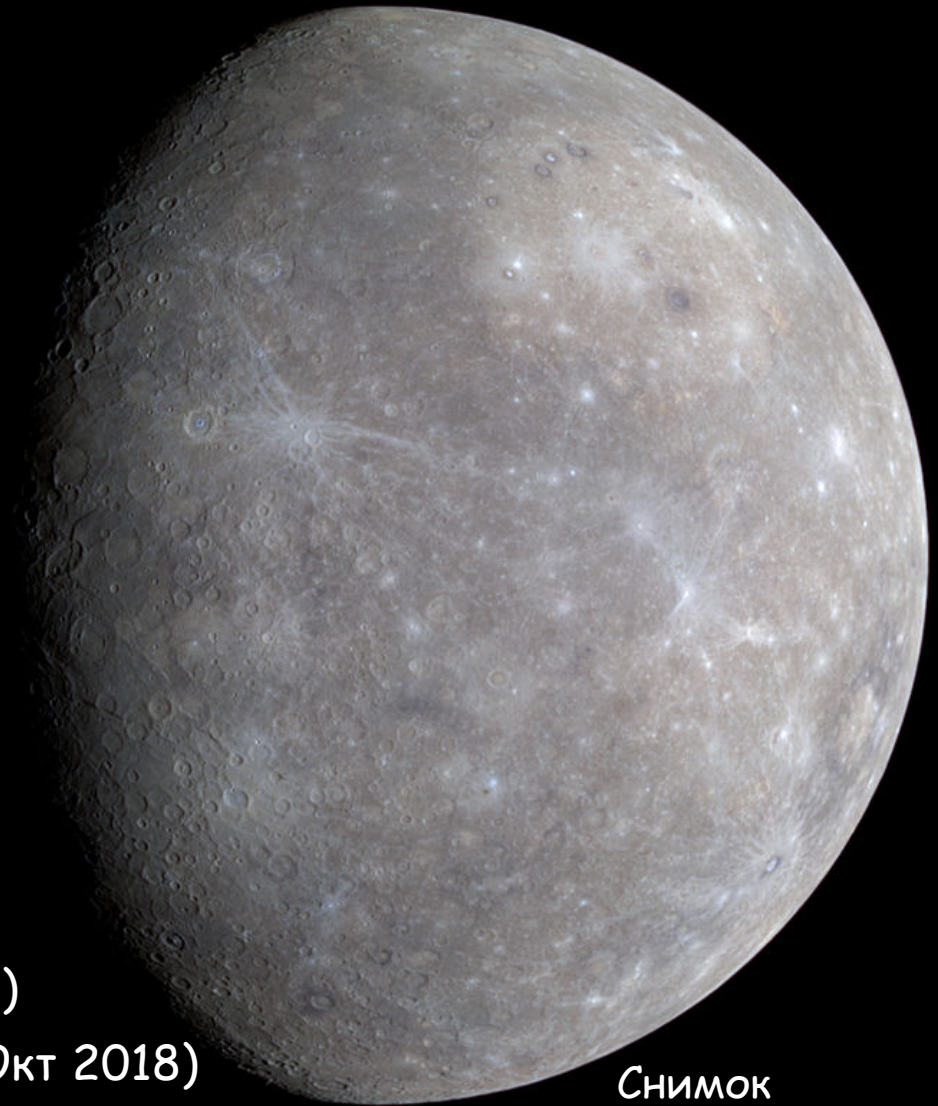
Советскую программу пилотируемых полетов к Луне реализовать не удалось: достаточно мощная ракета-носитель не была создана в срок. Поэтому советские специалисты сосредоточились

МЕРКУРИЙ

Размер:	0.38 Земли
Масса:	0.06 Земли
Ускор. своб. пад.:	3.7 м/с ²
Орбита:	~0.4 а.е.
Пер. обращения	88 зем. суток
Пер. вращения	59 зем. суток
Длит. суток	176 зем. суток
Давление:	~10 ⁻¹⁵ атм
Температура:	от -170 до 430 С
Атмосфера:	O ₂ (42%) Na (29%) H ₂ (22%) He (6%)

Космические аппараты:
«Маринер-10» (1974-1975)
«Мессенджер» (2008-2015)
«Бепи Колombo» (запуск Окт 2018)

Лететь до планеты: ~7 лет



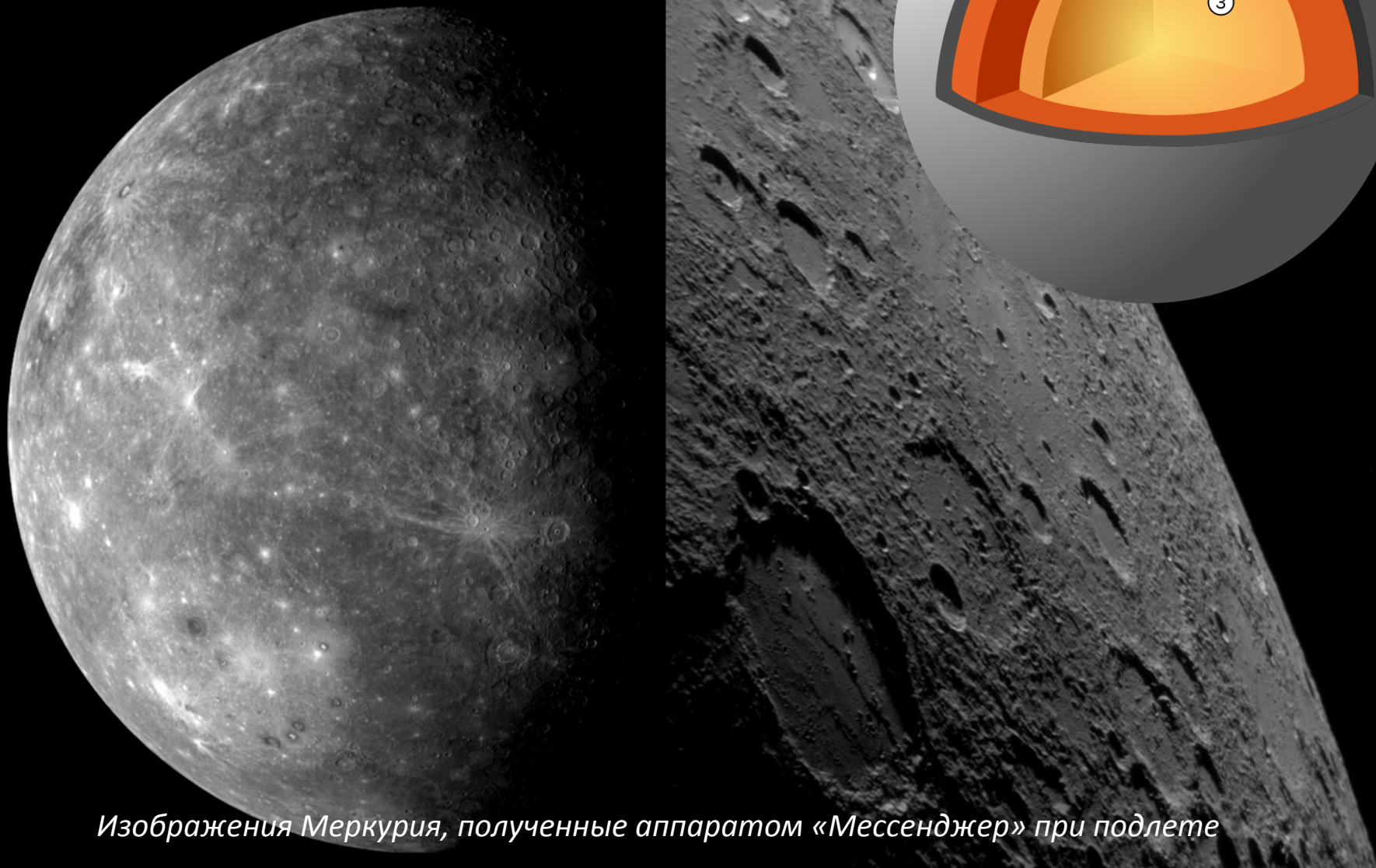
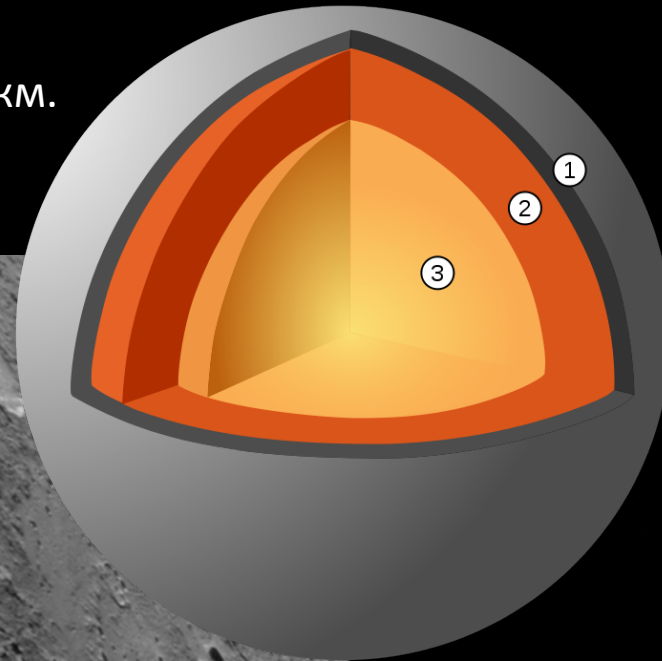
Снимок
КА «Мессенджер»

Строение Меркурия. Схема:

1. Кора, толщина — 100—300 км.

2. Мантия, толщина — 600 км.

3. Ядро, радиус — 1800 км.



Изображения Меркурия, полученные аппаратом «Мессенджер» при подлете

Состав миссии «Бепи Колombo» к Меркурию



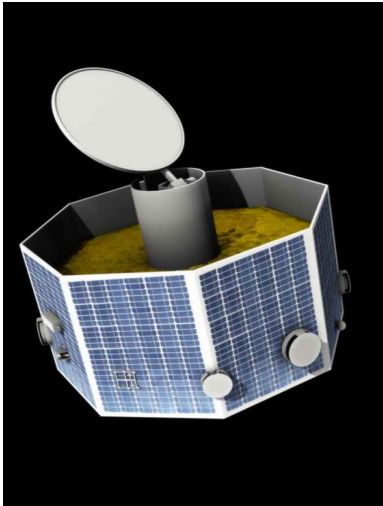
Миссия названа в честь итальянского математика, профессора теоретической механики Университета в Падуе **Джузеппе (Бепи) Колombo** (Giuseppe Colombo, 1920 – 1984), который разработал теорию гравитационного манёвра.





Mercury Magnetospheric Orbiter (ММО)

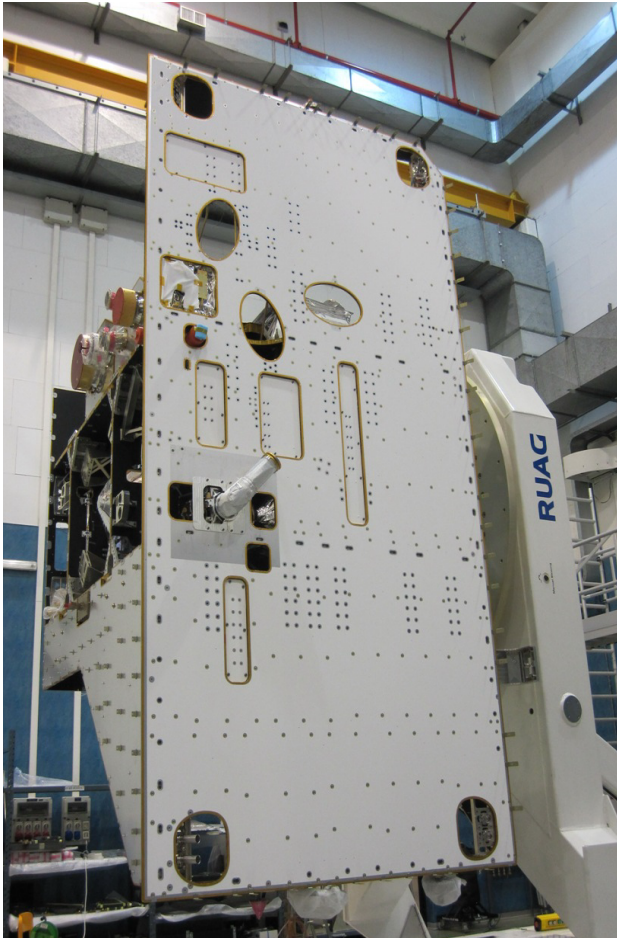
8 июня 2018 года ММО получил новое название Мю. Он несет пять групп научных приборов.



- Mercury Plasma Particle Experiment (MPPE), studies the plasma & neutral particles from the planet, magnetosphere, and interplanetary [solar wind](#). It will employ these instruments:
 - Mercury Electron Analyzers (MEA1 and MEA2)
 - Mercury Ion Analyzer (MIA)
 - Mass Spectrum Analyzer (MSA)
 - High-Energy Particle instrument for electrons (HEP-ele)
 - High-Energy Particle instrument for Ions (HEP-ion)
 - Energetic Neutrals Analyzer (ENA)
- Mercury [Magnetometer](#) (ММО-MGF), studies [Mercury's magnetic field](#), magnetosphere, and interplanetary [solar wind](#)
- Plasma Wave Investigation (PWI), studies the electric field, electromagnetic waves, and radio waves from the magnetosphere and solar wind
- Mercury Sodium Atmosphere Spectral Imager (**MSASI**), studies the thin sodium [atmosphere of Mercury](#), разработан с участием России.
- Mercury Dust Monitor (MDM), studies dust from the planet and interplanetary space

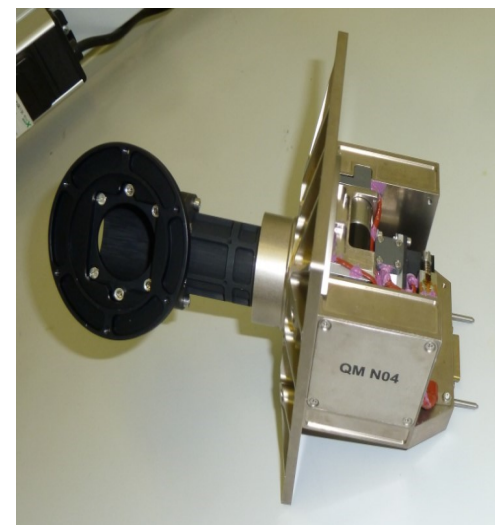
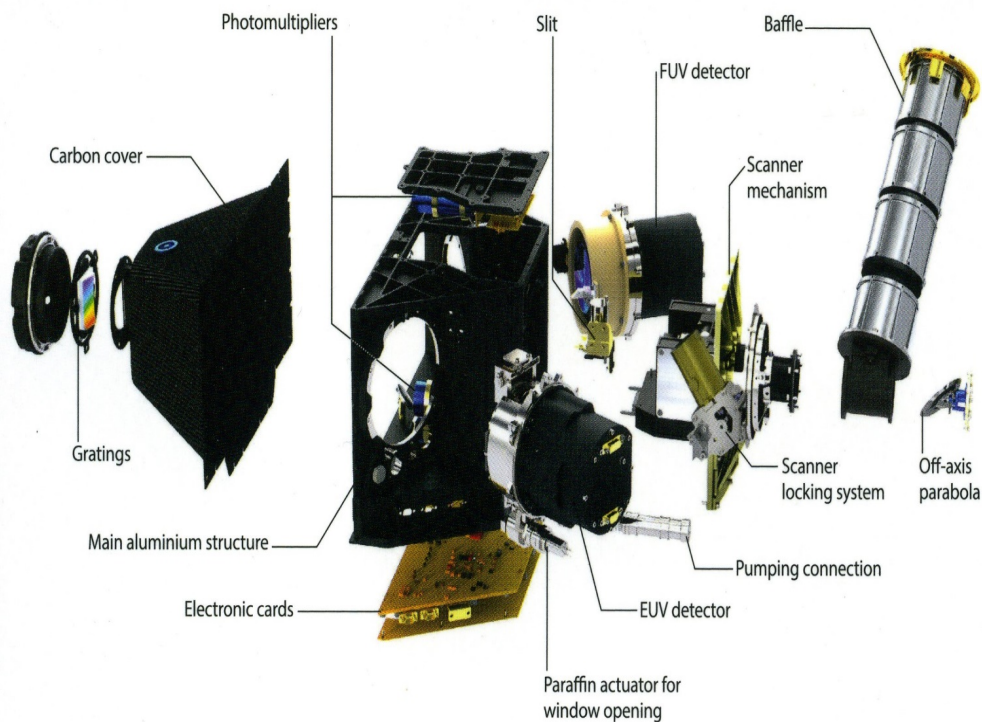


Mercury Planetary Orbiter (MPO)



- BepiColombo [Laser Altimeter](#) (BELA), разработка Швейцарии и Германии
- Italian Spring [Accelerometer](#) (ISA), разработка Италии
- Mercury [Magnetometer](#) (MERMAG), разработка Германии и Англии
- Mercury Radiometer and [Thermal Infrared Spectrometer](#) (MERTIS), разработка Германии
- Mercury [Gamma-ray and Neutron Spectrometer](#) (MGNS), разработка России
- Mercury [Imaging X-ray Spectrometer](#) (MIXS), разработка Англии и Финляндии
- Mercury Orbiter [Radio-science](#) Experiment (MORE), разработка Италии и США
- Probing of Hermean [Exosphere](#) by [Ultraviolet Spectroscopy](#) (PHEBUS), разработка Франции, России и Японии
- Search for Exosphere Refilling and Emitted Neutral Abundances (SERENA), a neutral and ionised particle analyser (PICAM), разработка Италии, Швеции, Австрии, Франции, России и США
- Spectrometers and Imagers for MPO BepiColombo Integrated Observatory System (SIMBIO-SYS), high resolution stereo cameras and a visual and [near infrared spectrometer](#), разработка Италии, Франции и Швейцарии
- Solar Intensity [X-ray and Particle Spectrometer](#) (SIXS), разработка Финляндии и Англии

Ультрафиолетовый спектрометр ФЕБУС



Спектральный диапазон 30-330 нм

- канал жесткого ультрафиолета (EUV) 30-150 нм

- канал мягкого ультрафиолета (FUV) 105-330 нм

Спектральное разрешение 1-1,5 нм

Вертикальное разрешение 20 км

Разрешение по широте 20 град

Диапазон сканирования 0-1500 км

Круиз миссии «Бепи Колombo» к Меркурию



Oct 2018 – Launch

Flybys

13 Apr 2020 – Earth

16 Oct 2020 – Venus

11 Aug 2021 – Venus

02 Oct 2021 – Mercury

23 Jun 2022 – Mercury

20 Jun 2023 – Mercury

05 Sep 2024 – Mercury

02 Dec 2024 – Mercury

09 Jan 2025 – Mercury

05 Dec 2025 – Arrival