Современные проблемы анализа и синтеза космических систем

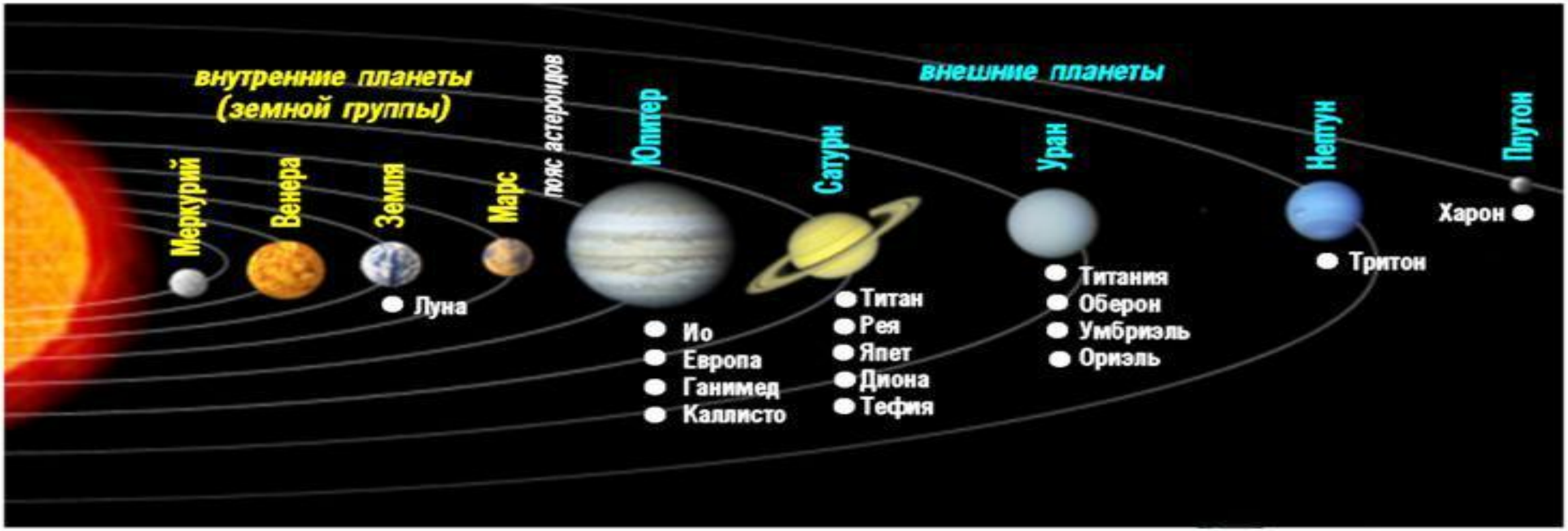
Тема 9.
Анализ и проектирование миссий в дальний космос

дтн, снс Клюшников В.Ю.
(ЦНИИ машиностроения)

Солнечная система

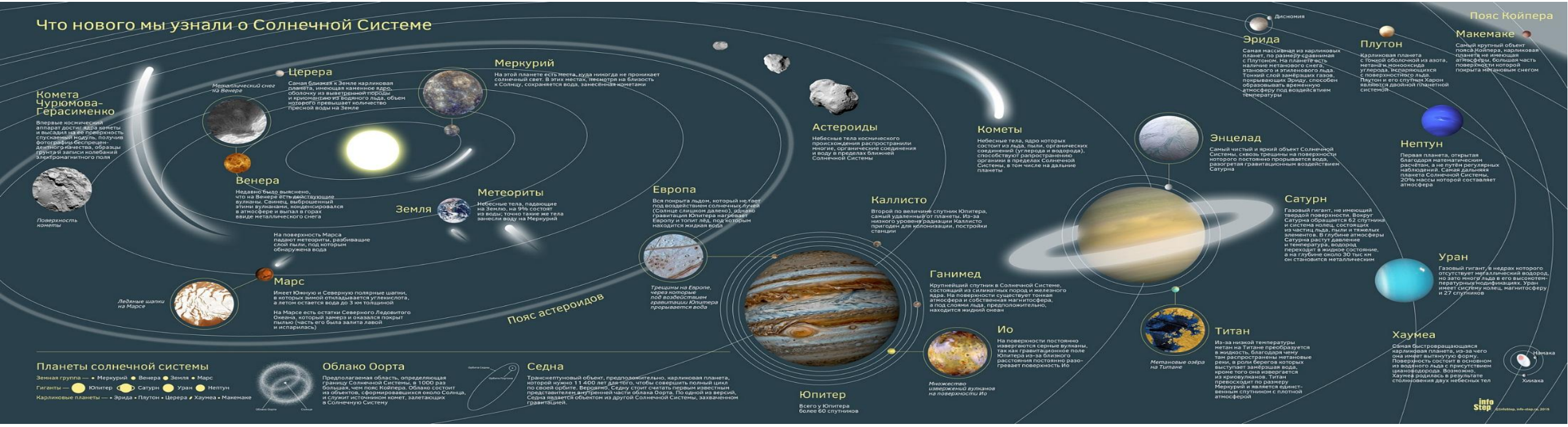
До 2006 года в состав Солнечной системы включали:

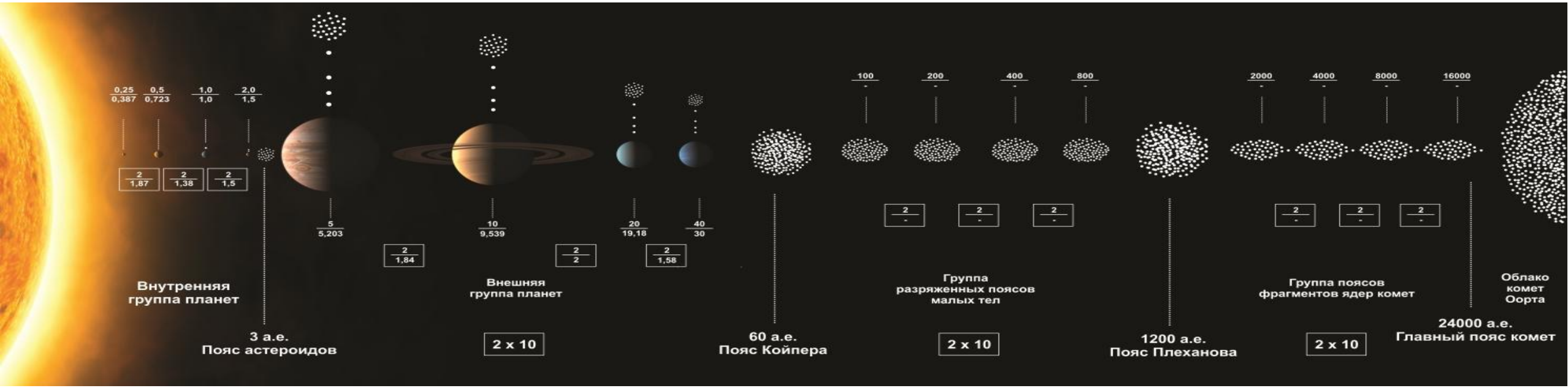
- 9 крупных планет, 7 из которых имеют спутники;
- спутники планет (всего – 67);
- астероиды (более 2000, самый крупный – Церера с радиусом 480 км);
- кометы



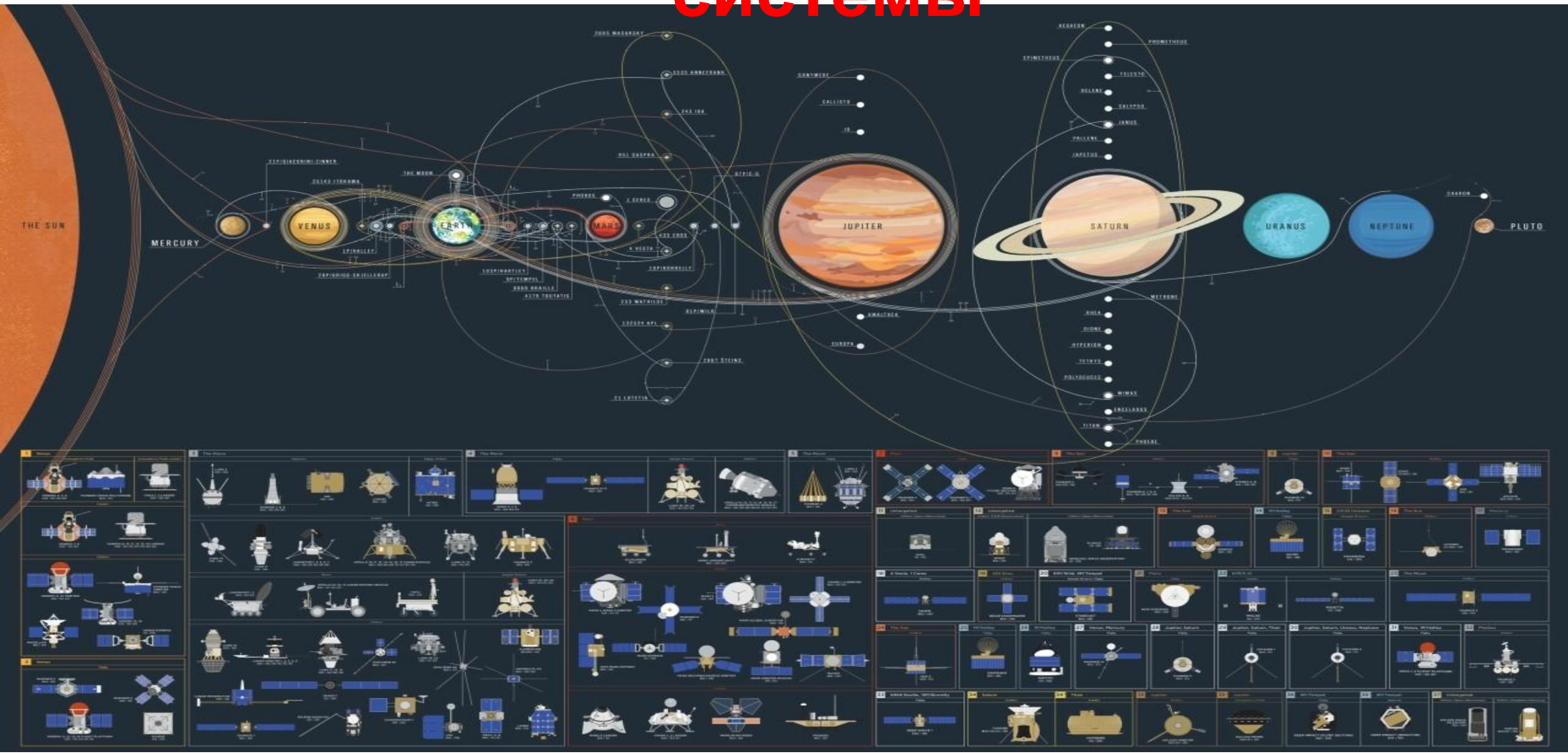
Расстояния в Солнечной системе

Что мы знаем о Солнечной системе ?

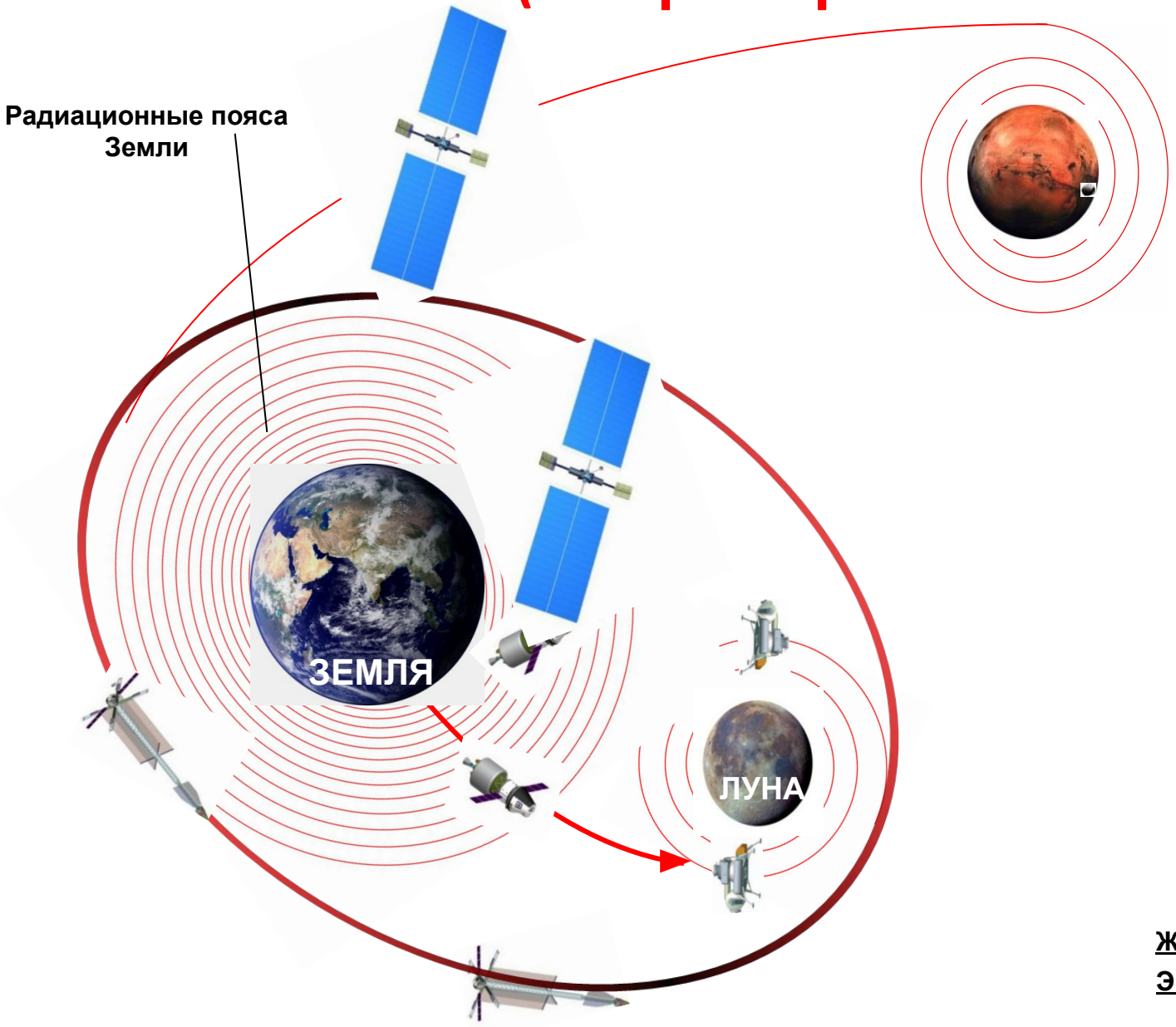




Планы исследования солнечной системы



Принципы межпланетных пилотируемых полетов (на примере полетов к Луне)



К Луне экипаж доставляется на кораблях с ЖРД:

Удельный импульс~ 4,0… 4,5 км/с
Тяга – десятки-сотни тонн
Время доставки на высокие орбиты (40…400 тыс.км) - до 4-х суток

Грузы на буксирах с ЭРДУ:

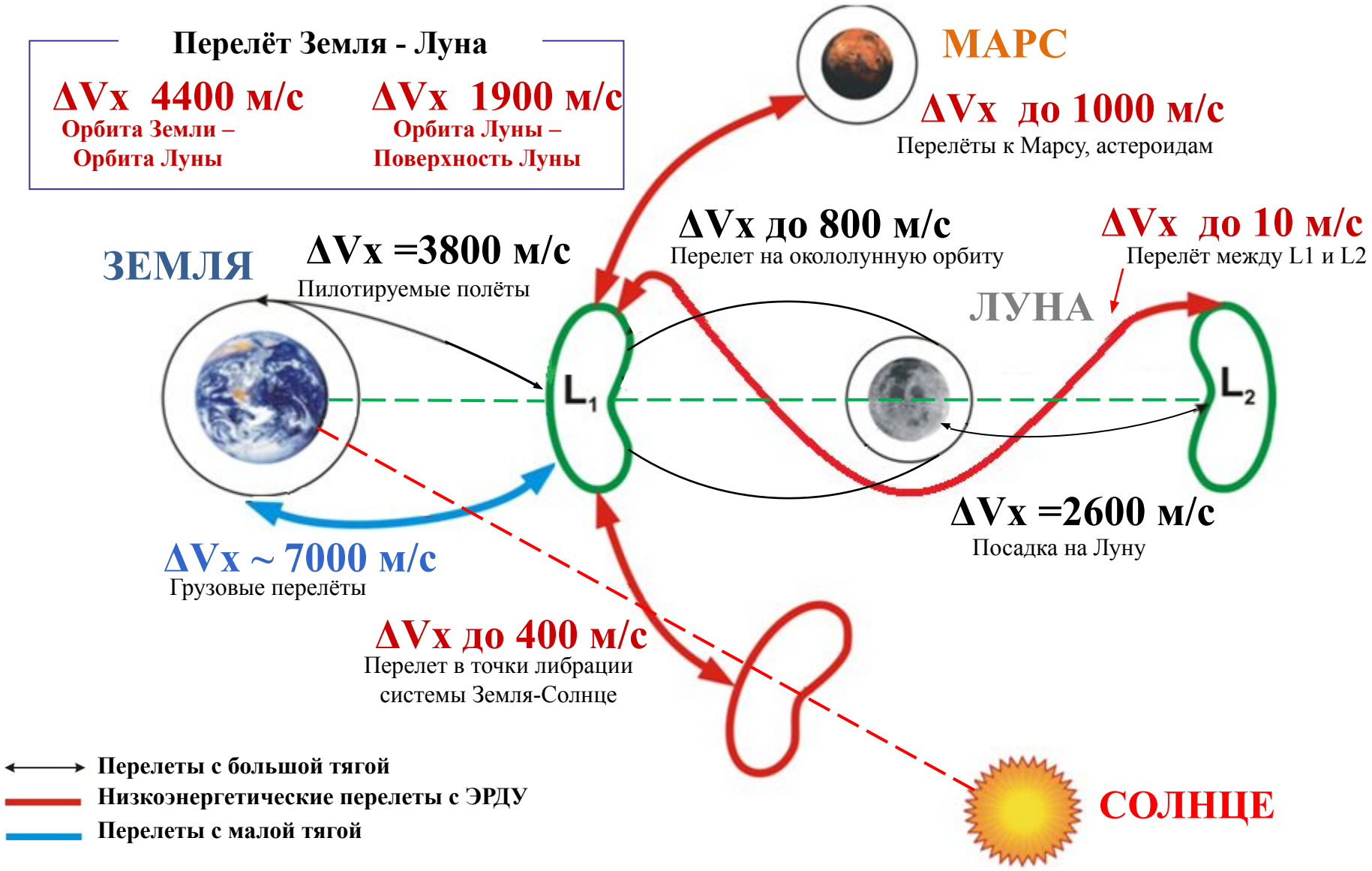
Удельный импульс~ 50…100 км/с
Тяга – единицы грамм
Время доставки на высокие орбиты (40…400 тыс.км) - до нескольких лет

На орбиту базирования МЭК экипаж доставляется на кораблях с ЖРД, далее полет МЭК с экипажем к Марсу происходит с помощью буксира с ЭРДУ.

ЖРД – жидкостной ракетный двигатель

ЭРДУ – электрореактивная двигательная установка

Транспортные операции в космосе



Классификация схем межпланетных перелётов

- Сложность маршрута
  - Полёт к одной планете (небесному телу)
  - Полёт к нескольким планетам (небесным телам)
- Целевое назначение
  - Пролётная схема
  - Десантная схема (посадка СА на поверхность)
  - Орбитальная схема (выход КА на орбиту)
  - Комбинированная схема
- Возвращение к Земле
  - С возвращением
  - Без возвращения

Основные этапы межпланетных экспедиций

- Выведение КА на межпланетную траекторию с помощью РН и РБ, отделение КА
- Межпланетный перелёт от Земли к планете назначения (включая гравитационные манёвры)
- Отделение СА с подлётной траектории и его вход в атмосферу и посадка (при наличии)
- Выход на орбиту искусственного спутника вокруг планеты (ИСП)
- Маневрирование на орбите искусственного спутника
- Отделение СА с орбиты ИСП и его вход в атмосферу и посадка

Методика проектирования межпланетных траекторий

1. Расчёт гелиоцентрического этапа:
   – Определение дат старта и прилёта, а также траектории перелёта,
   – Определение векторов асимптотических скоростей для расчёта припланетных участков.
2. Расчёт припланетных участков
   – Определение характеристических скоростей манёвров межорбитальных переходов.

Гравитационные сферы в ограниченной задаче трёх тел

1. Сфера притяжения (S = F) $\frac{R_{Пр}}{a} = \frac{\sqrt{(m/M)}}{1-(m/M)}$

2. Сфера действия (dS/F = dF/S) $\frac{R_{д}}{a} = \sqrt[5]{(m/M)^2}$

3. Сфера влияния (Кислика) (dE-> min) $\frac{R_{вл}}{a} = 1.15\sqrt[3]{(m/M)}$

4. Сфера Хилла $\frac{R_H}{a} \cong \sqrt[3]{\frac{(m/M)}{3}} - \frac{1}{3}\sqrt[3]{\frac{(m/M)^2}{3}} - \frac{1}{3}\frac{(m/M)}{9} + \cdots$

a – расстояние между телами, R – радиус гравитационной сферы планеты, m – масса меньшего тела (Земли), M – масса большего тела (Солнца), S – ускорение от большего тела (Солнца) , F – ускорение от меньшего тела (Земли)

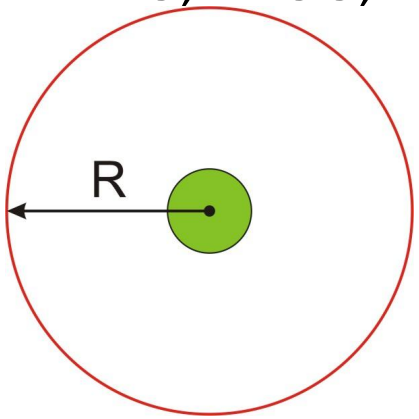
Размеры гравитационных сферы некоторых систем небесных тел

Меньшее тело	Сфера Притяжения, км	Сфера действия, км	Сфера Хилла, км	Сфера влияния, км
		Солнце		
Юпитер	24 042 918	48 199 965	53 151 738	88 128 748
Земля	259 266	924 660	1 496 580	2 482 208
Комета Чурюмова - Герасименко	0.417	22.387	220.906	366.392
Астероид Апофис	0.021	1.934	27.317	45.307
		Юпитер		
Ганимед	7 341	19 886	26 792	44 436
Европа	3 374	9 725	13 656	22 650
		Земля		
Луна	43 163	66 183	88 733	102 043
		Марс		
Фобос	1.206	7.237	16.569	27.481
Деймос	1.112	8.143	21.298	35.324

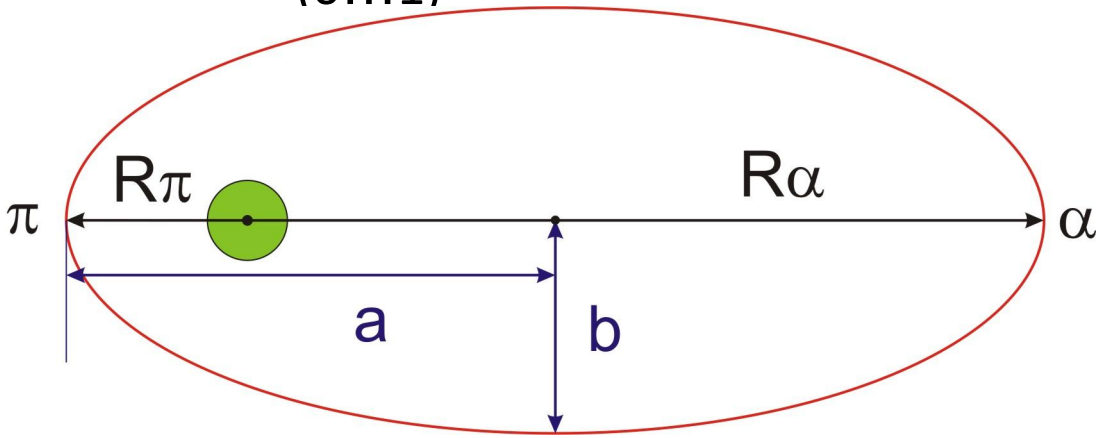
Типы орбит

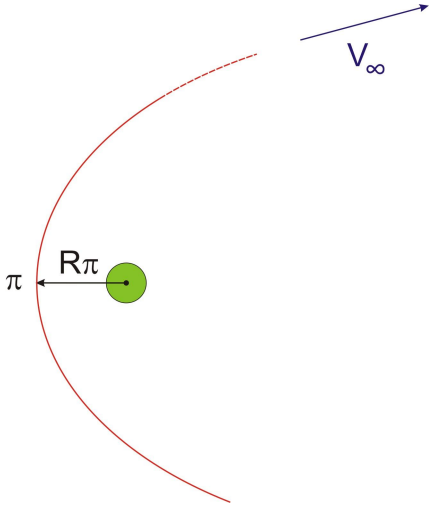
Эксцентриситет орбиты – мера её «некруглости»

Круговая, e = 0
МКС, ГНСС,



Эллиптическая, e = (0…1)

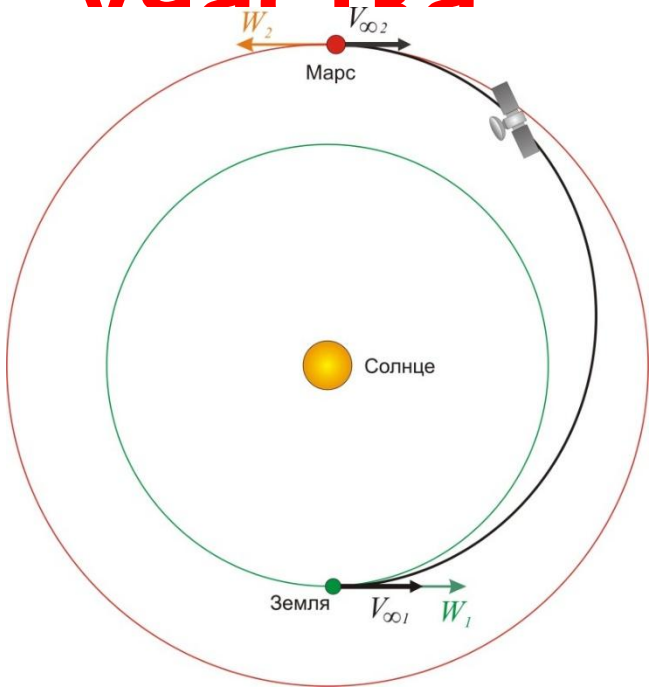




Параболическая, e = 1, V∞ > 0

Гиперболическая, e > 1, V_∞ > 0
Отлётные траектории к Марсу, Венере и т.д.

Расчёт гелиоцентрического участка



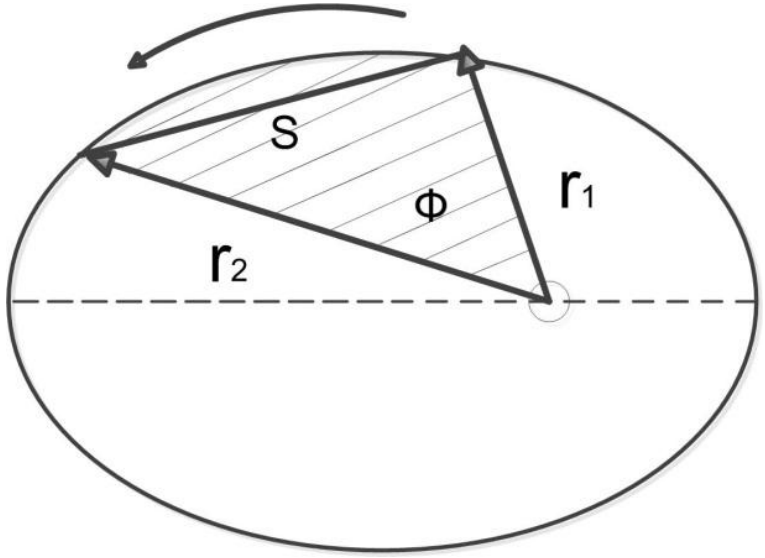
Асимптотическая скорость отлёта от Земли определяется как разность векторов скоростей КА и Земли относительно Солнца в момент старта.

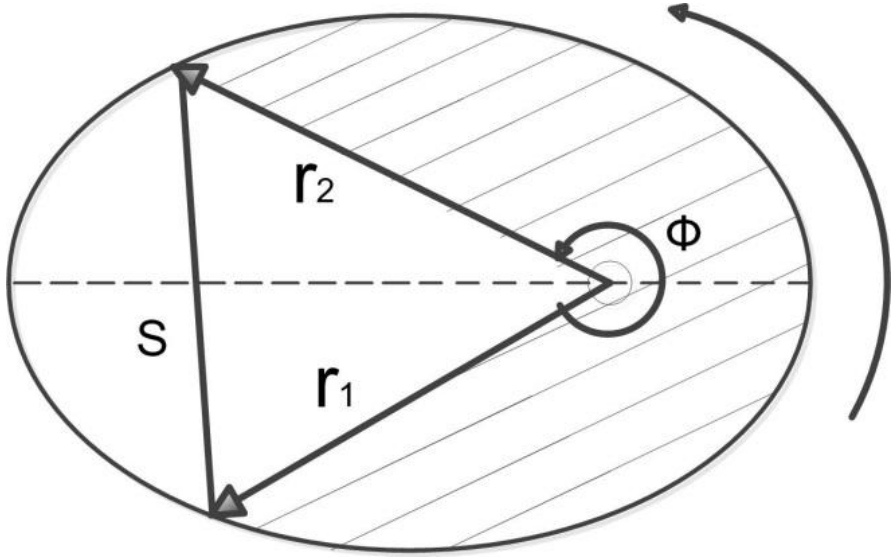
$$V_{\infty 1} = V_1 - W_1,$$

Асимптотическая скорость прилёта к Марсу определяется как разность векторов скоростей КА и Марса относительно Солнца в момент прилёта.

$$V_{\infty 2} = V_2 - W_2,$$

Метод Ламберта





Перелёт менее полувитка

$$\Phi = \arccos \frac{(r_1, r_2)}{r_1 \cdot r_2}$$

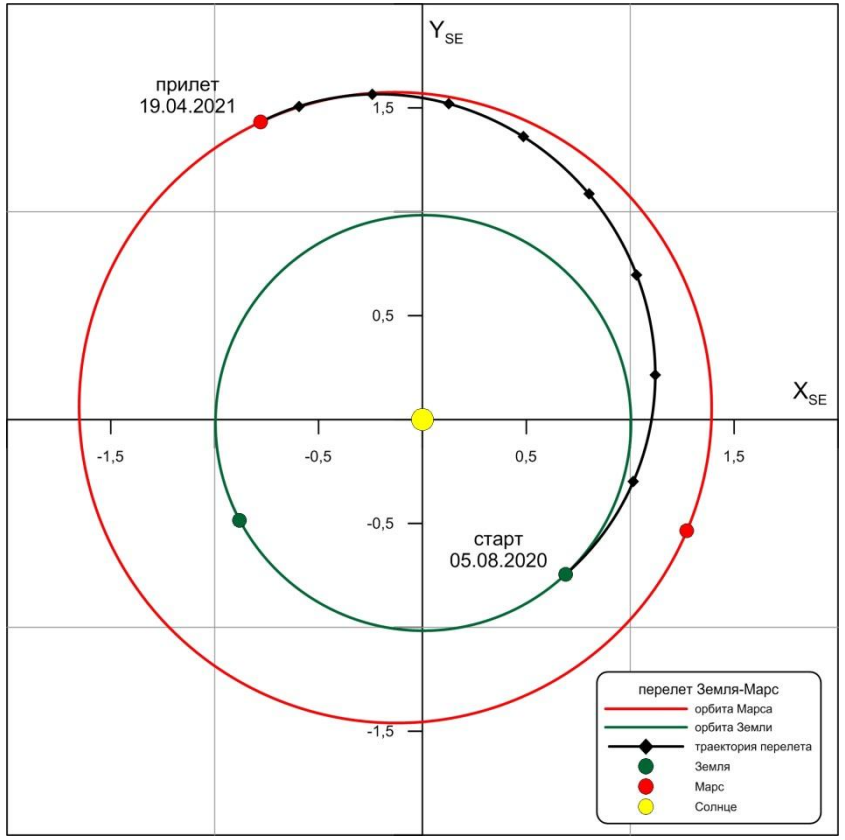
Перелёт более полувитка

$$\Phi = 2\pi - \arccos \frac{(r_1, r_2)}{r_1 \cdot r_2}$$

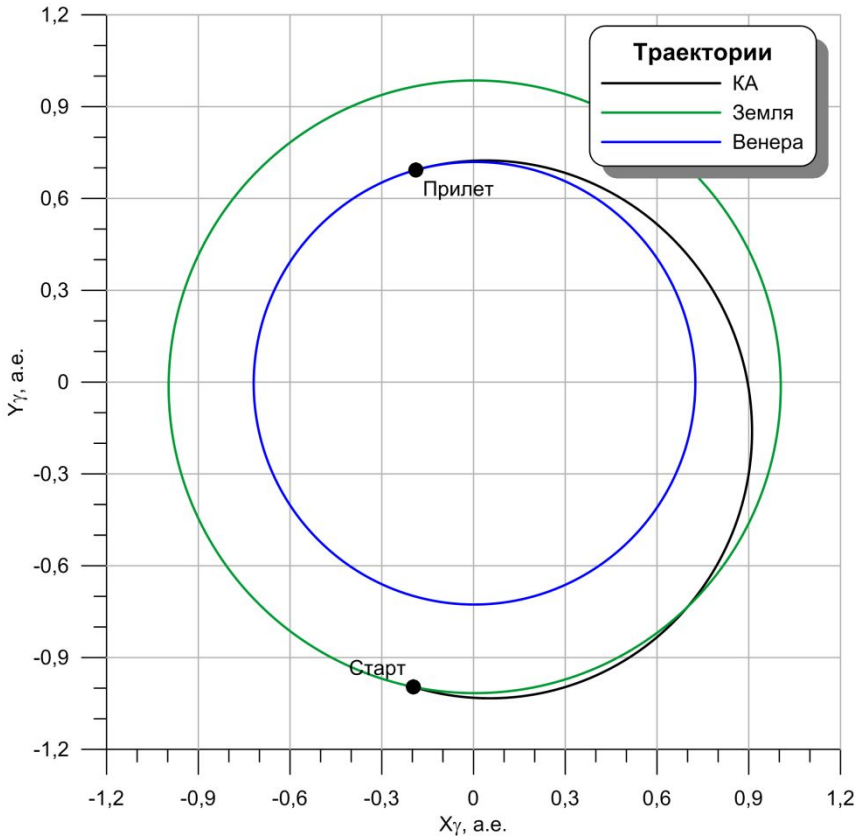
Время перелёта рассчитывается по формуле

$$\tau = \frac{a^{3/2}}{\sqrt{\mu}} \cdot [\pi + sign(\tau_m - \tau) \times (\varepsilon - \sin\varepsilon - \pi) - sign(\sin\Phi) \times (\delta - \sin\delta) + 2\pi]$$

Примеры схем прямых межпланетных перелётов

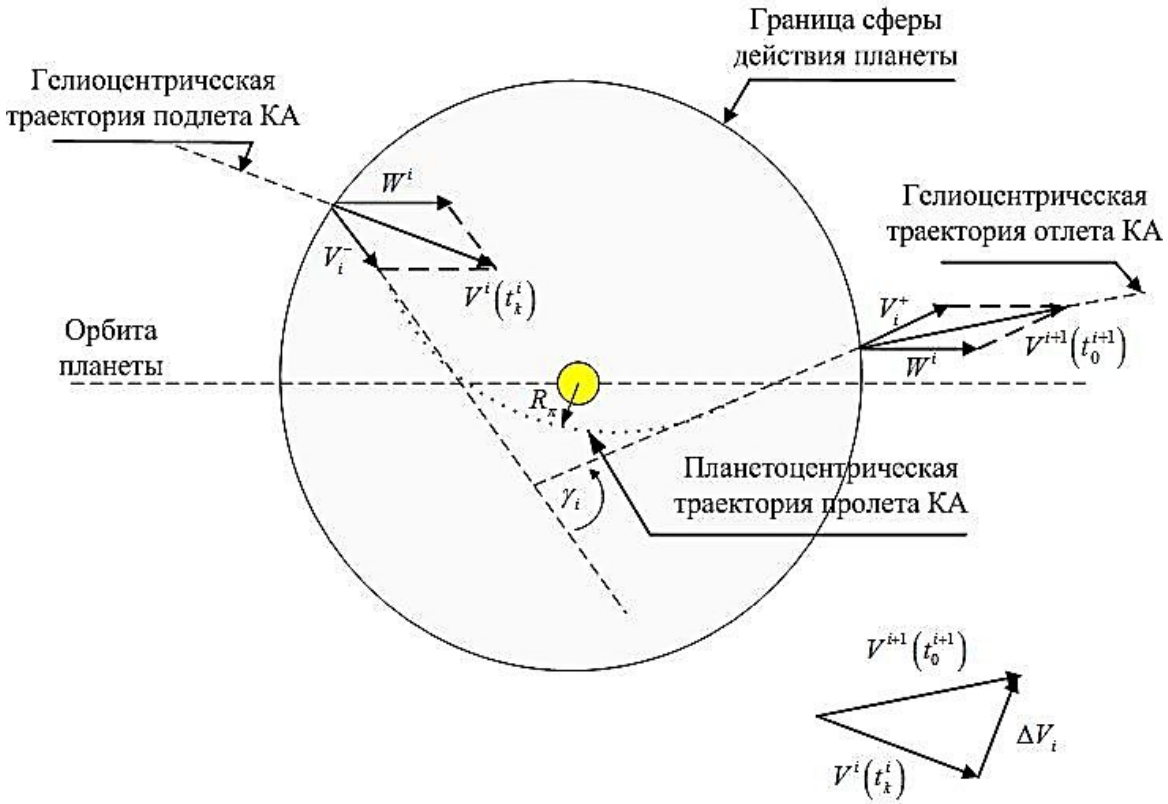


Совместный российско-европейский проект «ЭкзоМарс»



Совместный российско-американский проект «Венера-Д»

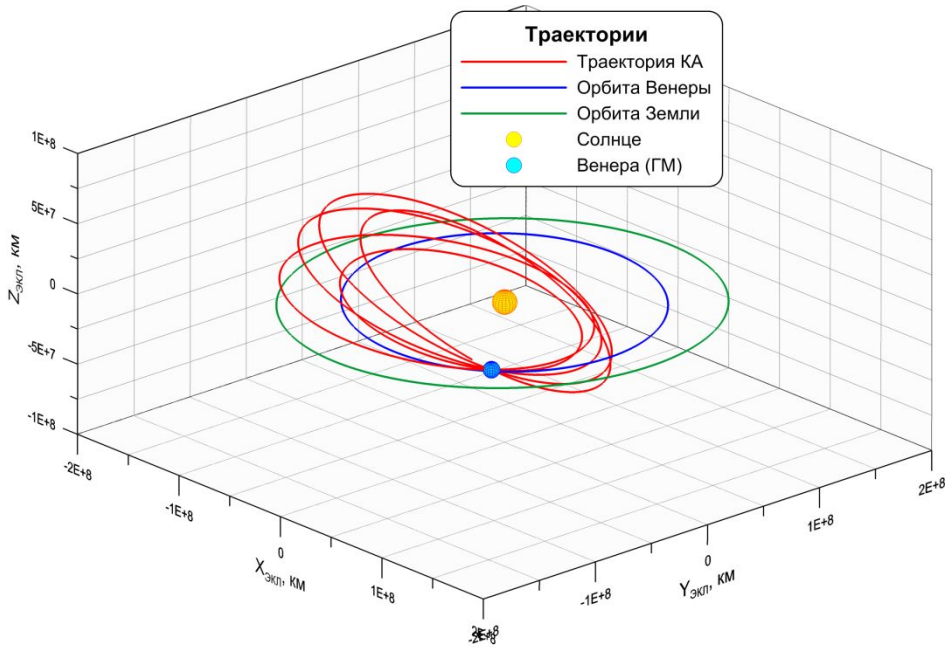
Расчет гравитационного манёвра



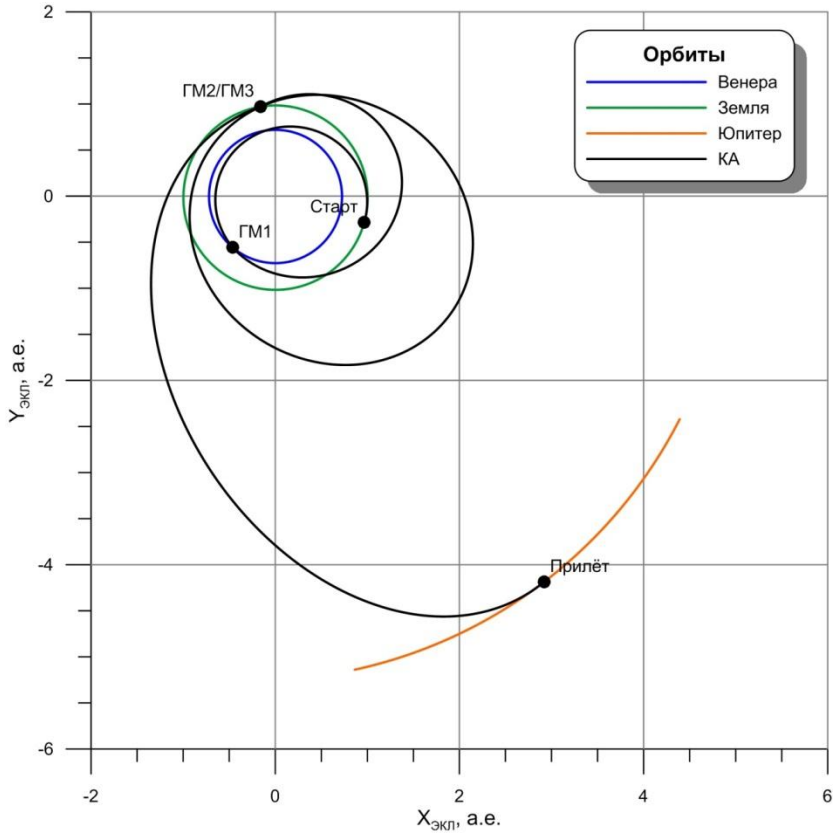
Гравитационный манёвр представляет собой полёт КА в сфере действия планеты по гиперболической пролётной траектории с возможным включением двигательной установки. При пассивном гравитационном манёвре модуль асимптотической скорости остаётся неизменным, а вектор поворачивается на угол

$$\gamma^i = 2\arcsin\frac{1}{e},\ e = 1 + \frac{r_\pi \cdot V_\infty^2}{\mu_П},$$

Примеры межпланетных траекторий с гравитационными манёврами



Исследование Солнца с небольших расстояний – проект «Интергелиозонд»



Проведение дистанционных и контактных исследований системы Юпитера – проект «Лаплас-П»

Оптимизация гелиоцентрического участка полёта

- Обычно оптимизацию проводят по критерию суммарной характеристической скорости или суммы асимптотических скоростей старта и прилёта

- Прямой перелёт

$$\Delta V_{\Sigma}(t_1, t_2) = \Delta V_{\text{ИСЗ}}(V_{\infty 1}) + \Delta V_{\text{ИСП}}(V_{\infty 2}) \rightarrow min$$

- Перелёт с гравитационным маневром

$$\Delta V_{\Sigma}(t_1, t_2, t_3) = \Delta V_{\text{ИСЗ}}(V_{\infty 1}) + \Delta V_{\text{ГМ}}(V_{\infty 2-}, V_{\infty 2+}) + \Delta V_{\text{ИСП}}(V_{\infty 3}) \rightarrow min$$

Расчёт припланетных участков

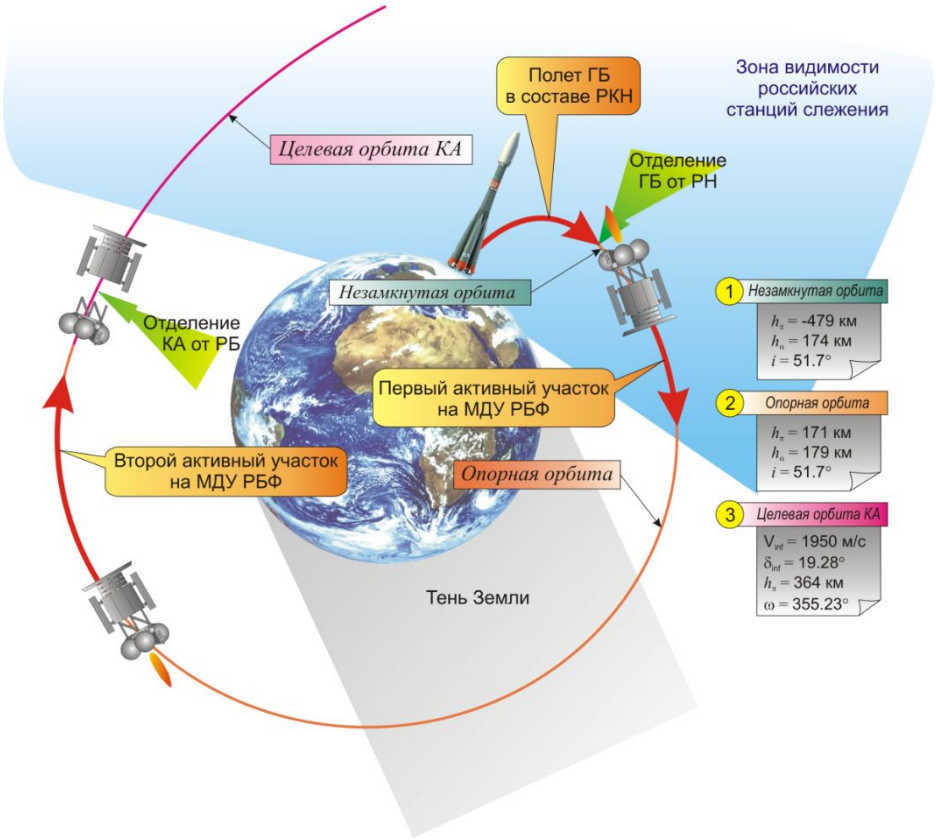
Характеристическая скорость разгона КА с опорной круговой орбиты ИСЗ на отлётную гиперболическую

$$\Delta V_{ИСЗ} = V_{\pi Г} - V_K = \sqrt{(V_1^{\infty})^2 + \frac{2\mu_1}{r_{ИСЗ}}} - \sqrt{\frac{\mu_1}{r_{ИСЗ}}}$$

Характеристическая скорость выхода КА на эллиптическую орбиту искусственного спутника планеты

$$\Delta V_{ИСП} = \sqrt{\frac{2\mu_П}{r_\pi} + V_\infty^2} - \sqrt{\frac{2\mu_П r_\alpha}{r_\pi(r_\pi + r_\alpha)}}$$

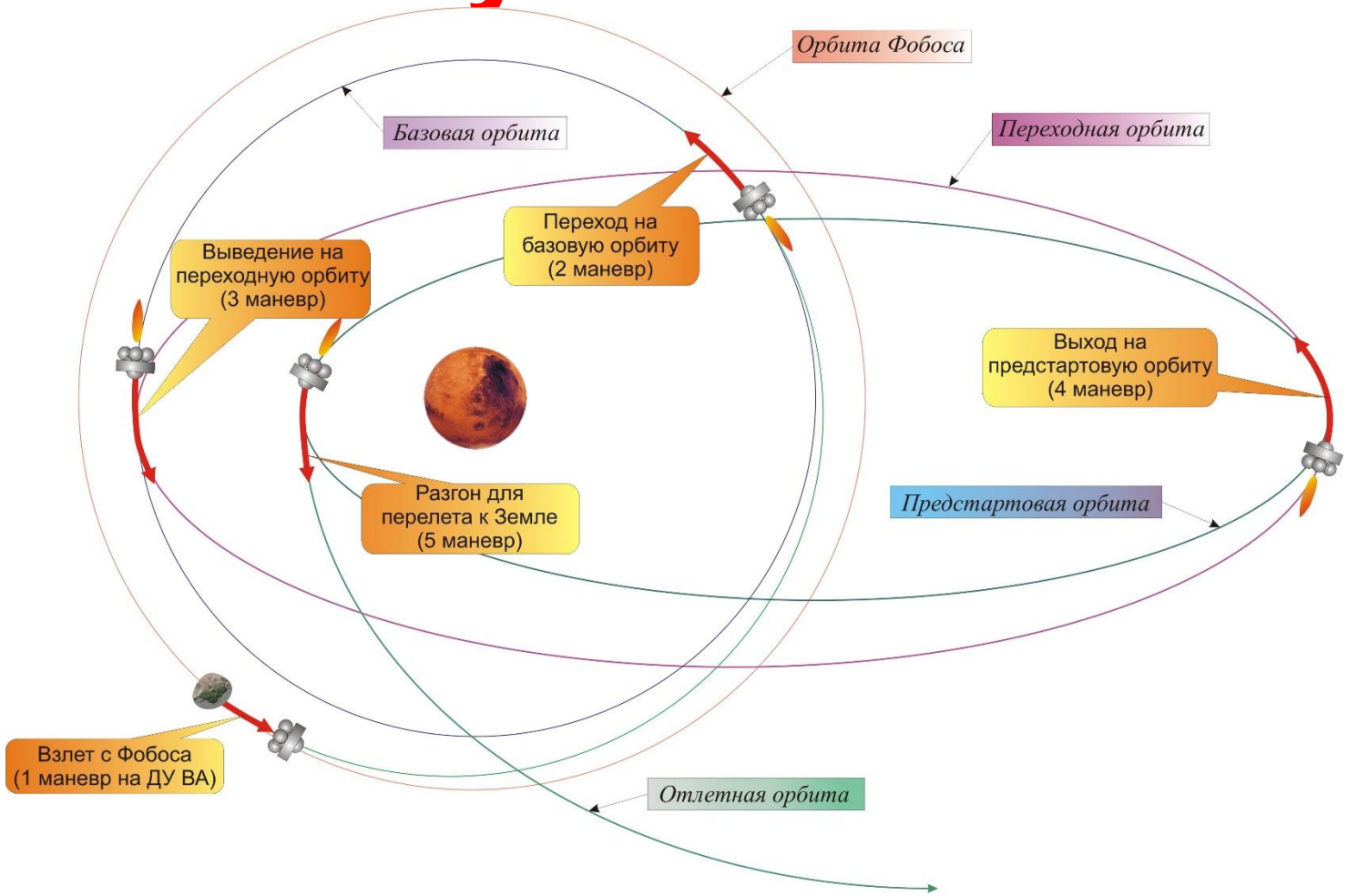
Выведение КА на межпланетную траекторию



Типовая схема выведения КА на межпланетную траекторию включает в себя следующие элементы:

1) <u>Старт и полёт ГБ в составе РКН</u>, завершающийся выведением на незамкнутую орбиту, отделение ГБ от РН;
2) <u>Первый активный участок</u> на МД РБ («доразгон») переводящий ГБ на опорную круговую орбиту.
3) <u>Пассивный полёт</u> ГБ по опорной орбите в течение примерно 1…1.5 часа;
4) <u>Второй активный участок</u> на МД РБ, по окончании которого ГБ выходит на орбиту отделения КА.
5) <u>Отделение КА</u> от РБ.

Пример припланетного участка



Проект «Фобос-грунт», околомарсианский этап полёта ВА

Оценка массы КА по этапам полёта и необходимого запаса топлива

1. Конечная масса ГБ после реализации манёвра разгона с опорной орбиты ИСЗ на межпланетную траекторию рассчитывается согласно формуле Циолковского:

$$M_K^{ГБ} = M_0^{ГБ} \cdot e^{-\frac{\Delta V_{ИСЗ}}{c}}, \quad c = P_{уд}^{РБ} \cdot g_0,$$

2. Масса топлива на реализацию отлетного манёвра представляет собой разность масс ГБ до и после проведения включения ДУ РБ, при этом она не должна превышать предельную заправку топливом баков ДУ РБ:

$$M_T^{РБ} = M_0^{ГБ} - M_K^{ГБ} \ (M_T^{РБ} < M_{T\,max}^{РБ}).$$

3. После отработки импульса выведения РБ отделяется, и масса КА становится равной:

$$M_0^{КА} = M_K^{ГБ} - M_K^{РБ},$$

4. Масса КА в ходе дальнейшего полета рассчитывается так же согласно формуле Циолковского, только вместо $\Delta V_{ИСЗ}$ нужно подставить характеристическую скорость данного маневра, а вместо удельного импульса ДУ РБ – аналогичную характеристику ДУ КА:

$$M_{Ki}^{КА} = M_{0i}^{КА} \cdot e^{-\frac{\Delta V_i}{P_{уд}^{КА} \cdot g}}.$$

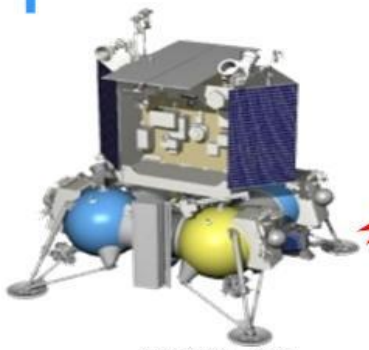
От исследования к освоению Луны

1976

ЛУНА-24

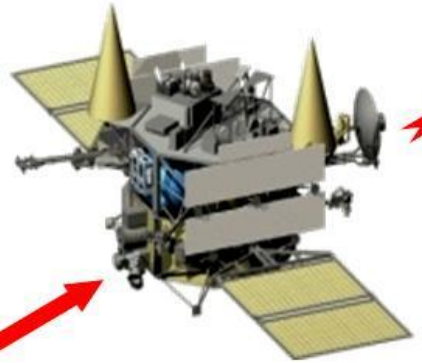
Проекты включены в ФКП

10.2018 – 01.2019



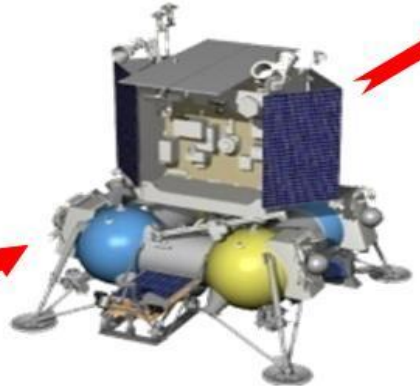
ЛУНА-25
(Луна-Глоб)
Технология полярной посадки, начало изучения Южного полюса Луны

2020 – 2021



ЛУНА-26
(Луна-Ресурс-ОА)
Глобальный обзор и разведка лунных ресурсов

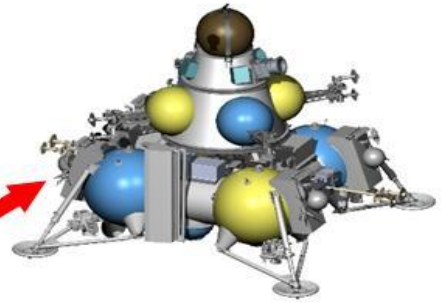
2020 – 2021



ЛУНА-27
(Луна-Ресурс-ПА)
Технология высокоточной безопасной посадки, изучение реголита и экзосферы на Южном полюсе Луны

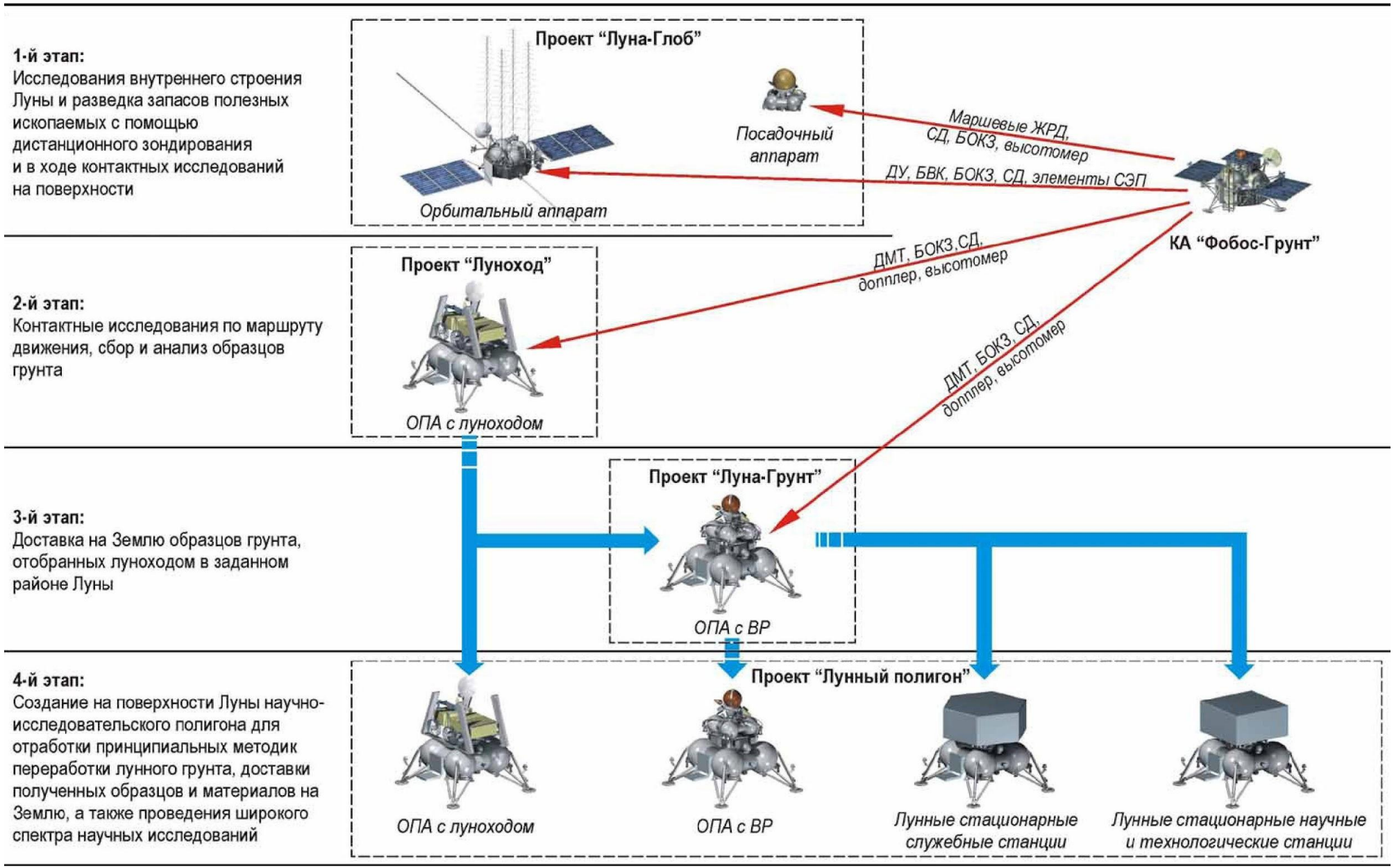
2025+

Проект предложен для включения в ФКП

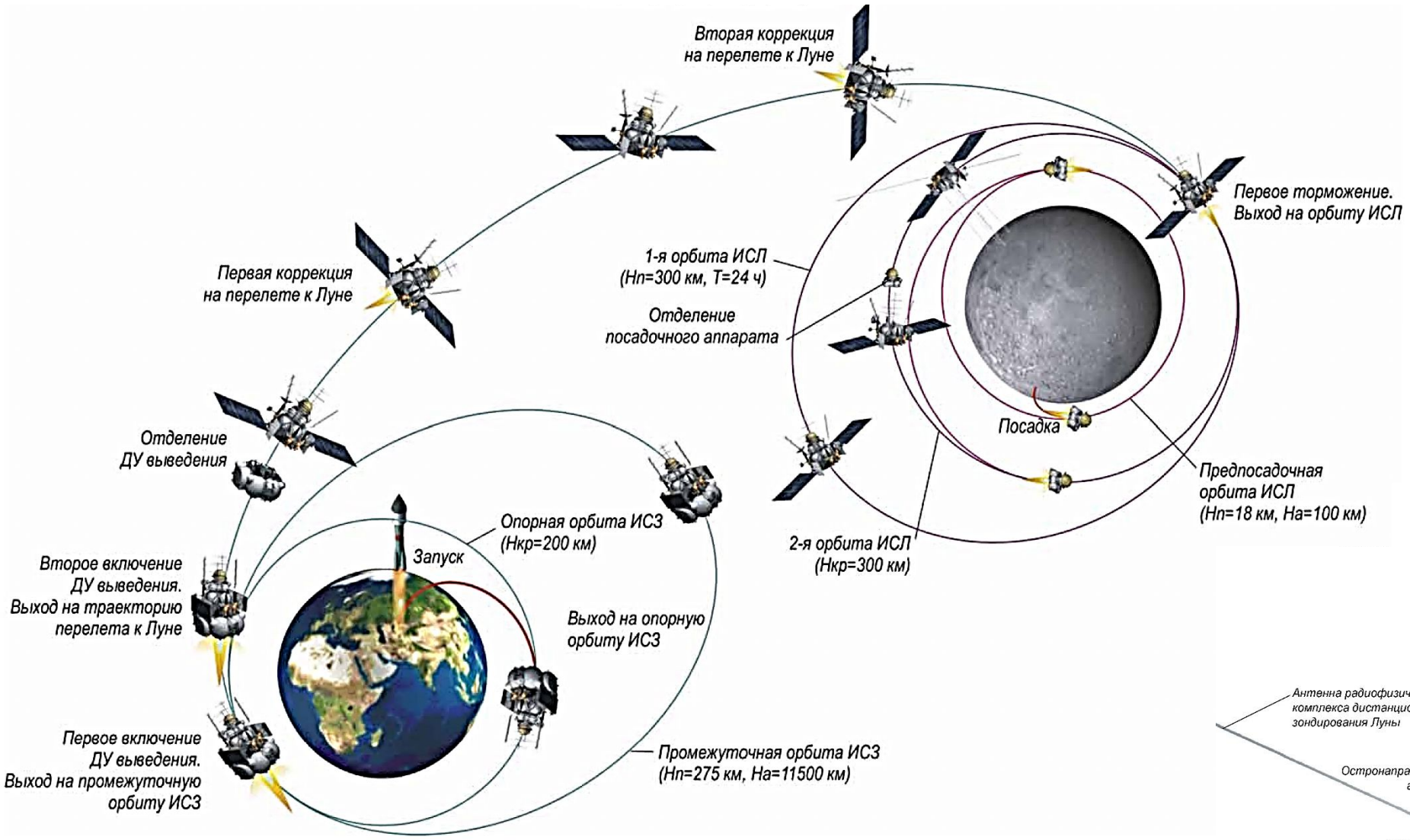


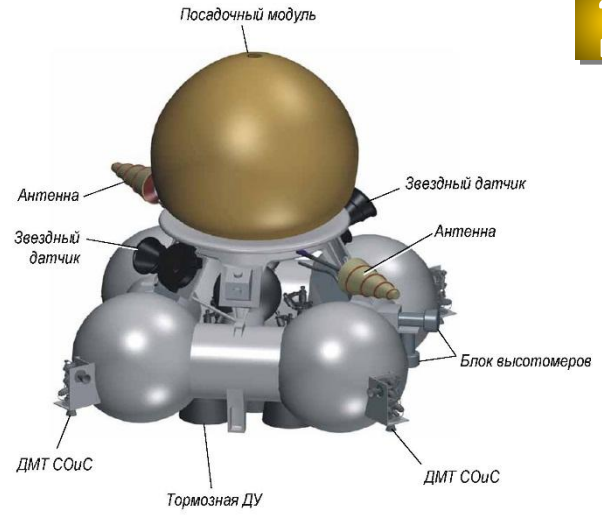
ЛУНА-28
(Луна-Ресурс 2)
Возврат Лунного Полярного Грунта (ВЛПГ)

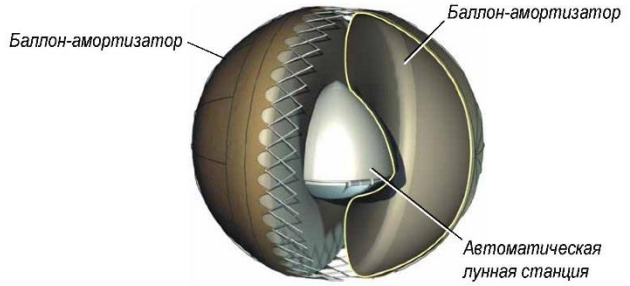
Программа исследования луны робототехническими комплексами

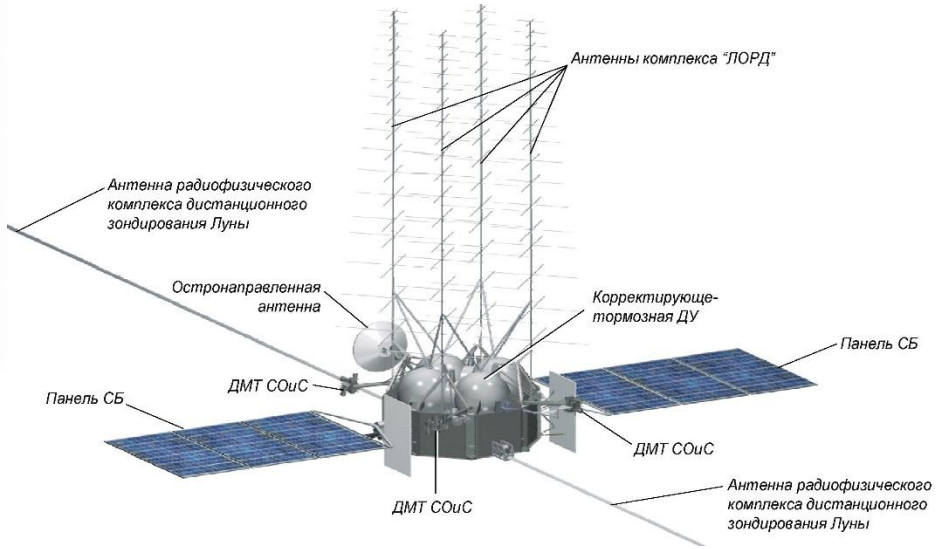


Проект «Луна – ГЛОБ»

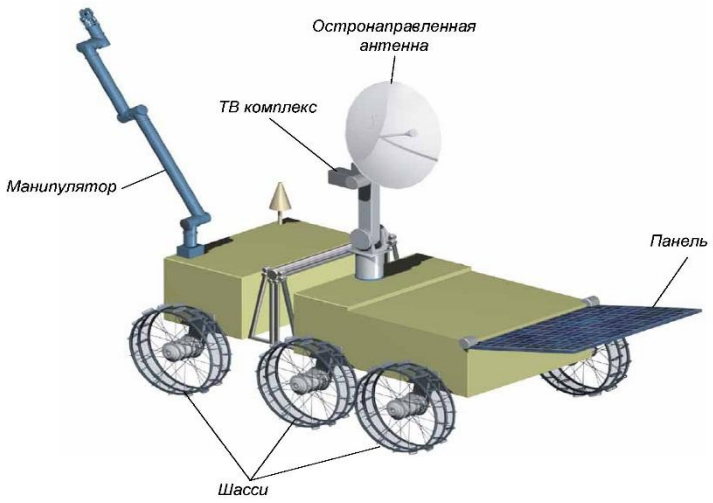


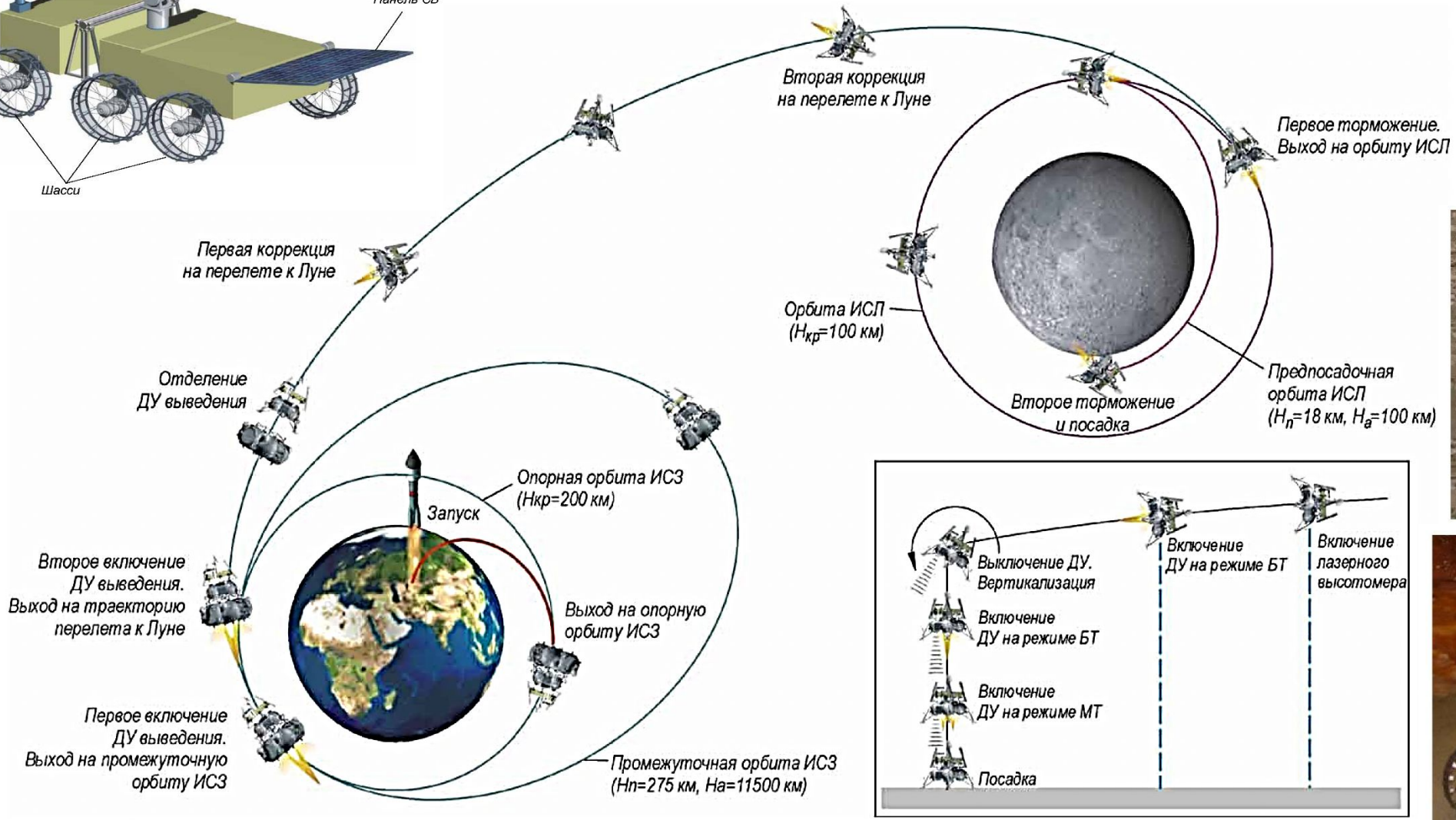


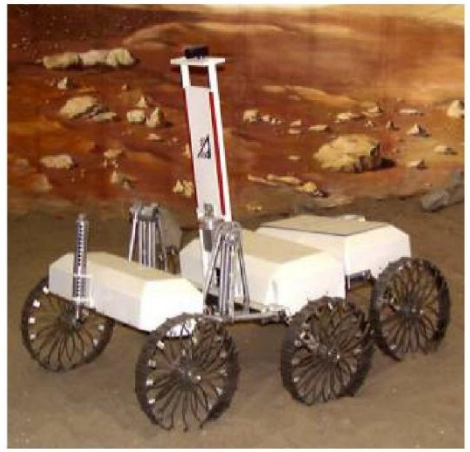




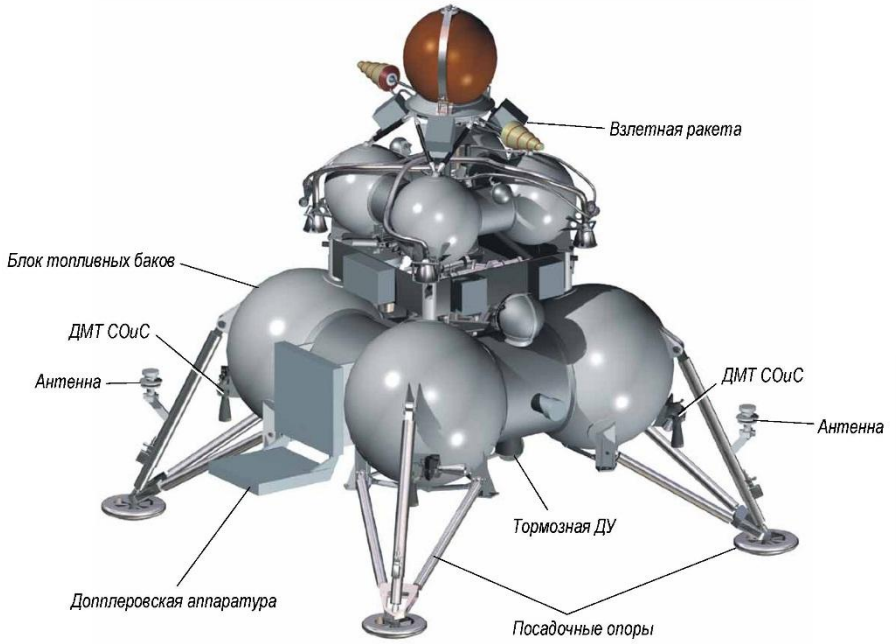
Проект «Луноход»

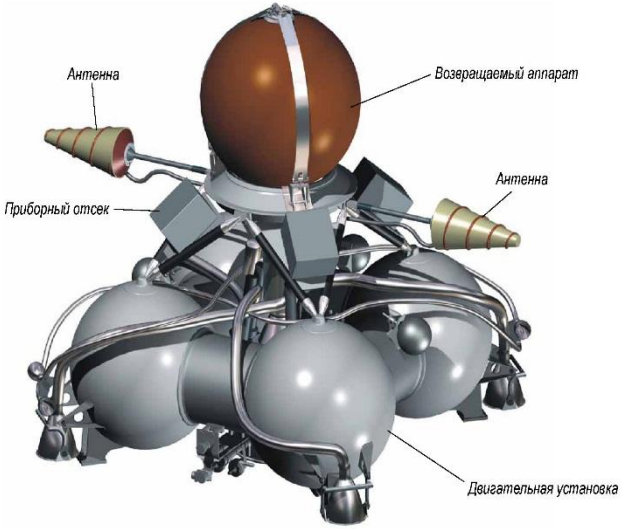


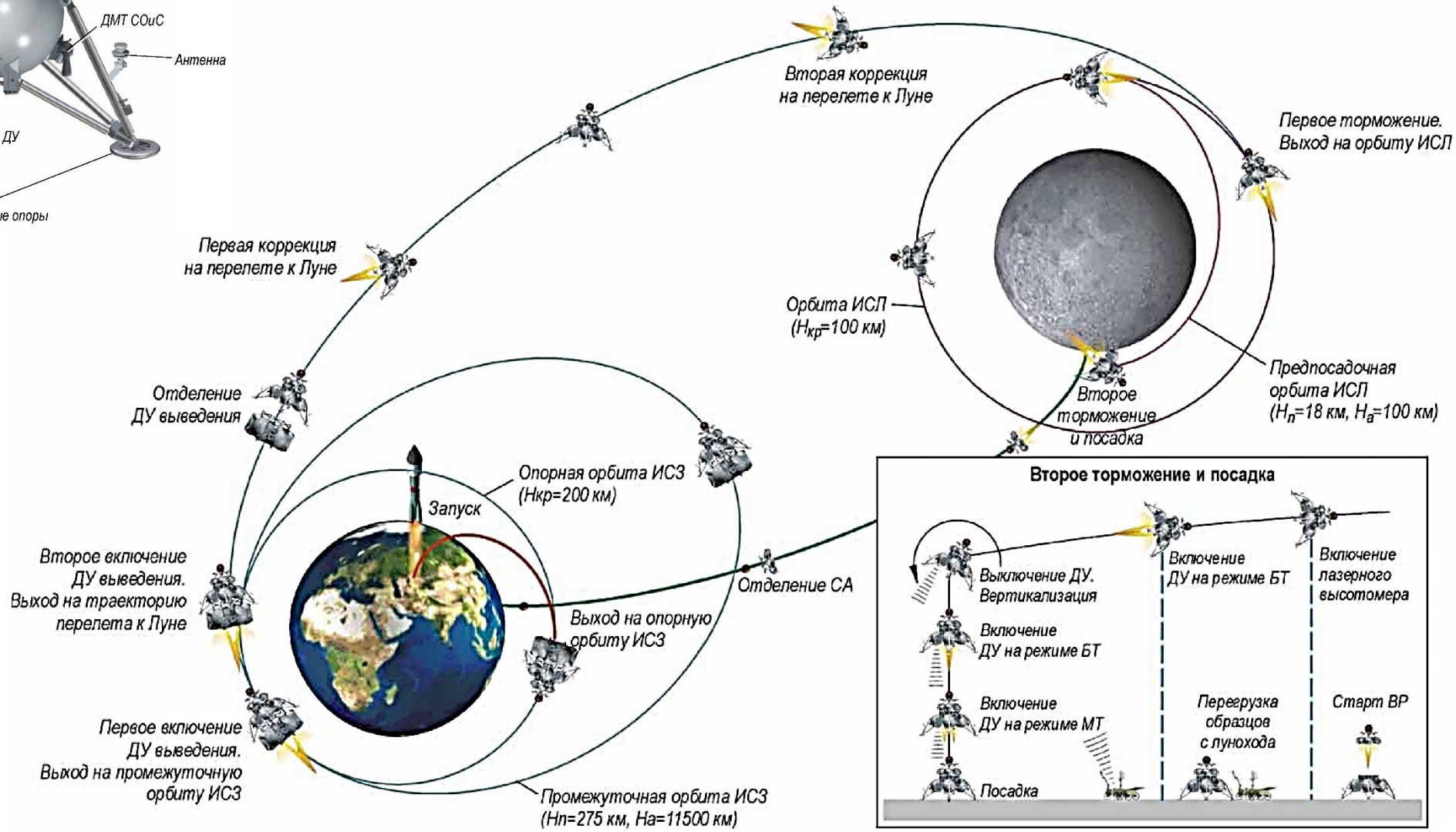




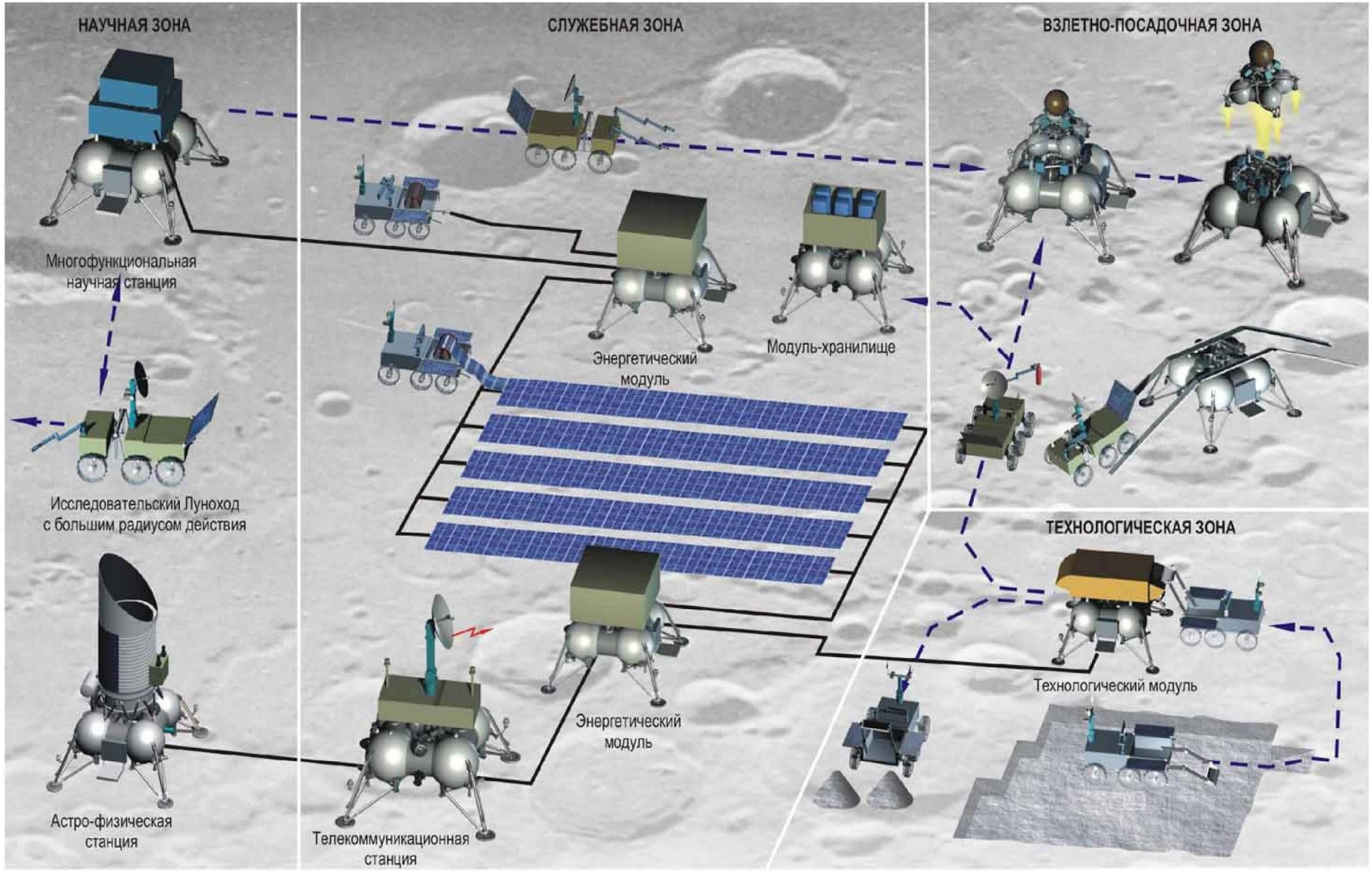
Проект «Луна грунт»







Проект «Лунный полигон»



Российско-европейский проект по исследованию Марса «ЭкзоМарс»

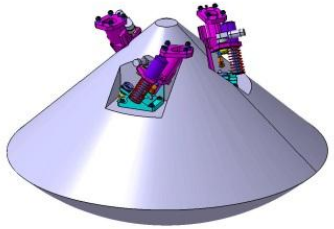
В рамках проекта «ЭкзоМарс» предполагается осуществление двух миссий:

- **Миссия 2016 года включала в себя орбитальный аппарат - Trace Gas Orbiter (TGO) и посадочный модуль-демонстратор - Entry, Descent & Landing Demonstrator Module (EDM).**
- **Миссия 2018 года включает в себя перелётный модуль - Carrier Module (CM) и десантный модуль - Descent Module (DM) с ровером (марсоходом).**
- **В обеих миссиях используются европейские и российские научные приборы .**

Миссия 2016 года:

РН «Протон-М» с РБ «Бриз-М» - Роскосмос

Орбитальный аппарат TGO - ЕКА



Посадочный модуль-демонстратор EDM (ЕКА)

+

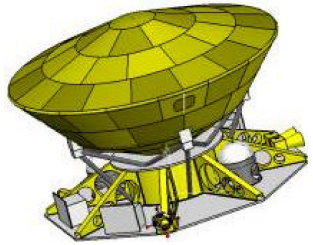
НКУ ЕКА

НКУ Роскосмос

НКУ НАСА

Миссия 2020 года:

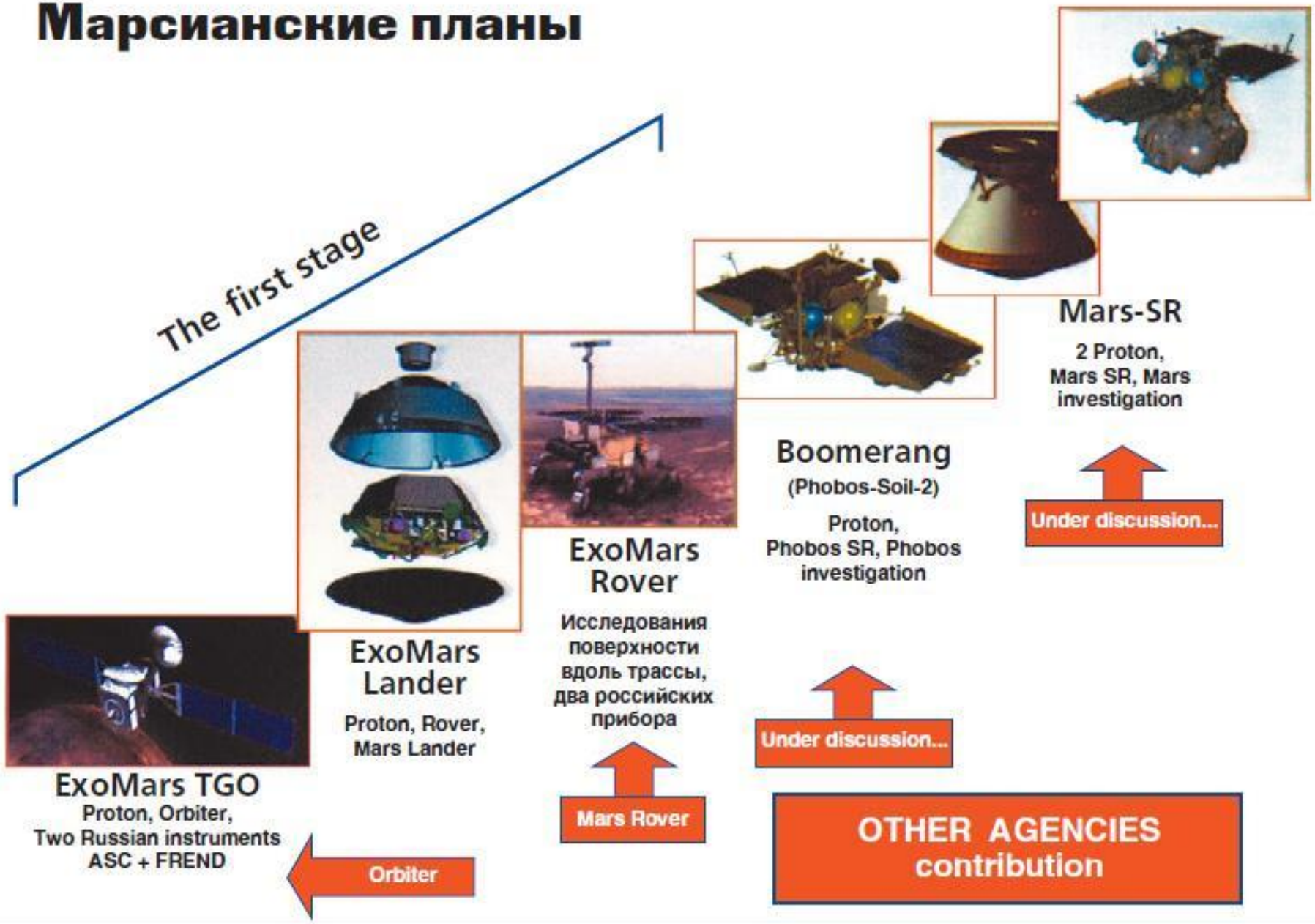
РН «Протон-М» с РБ «Бриз-М» - Роскосмос



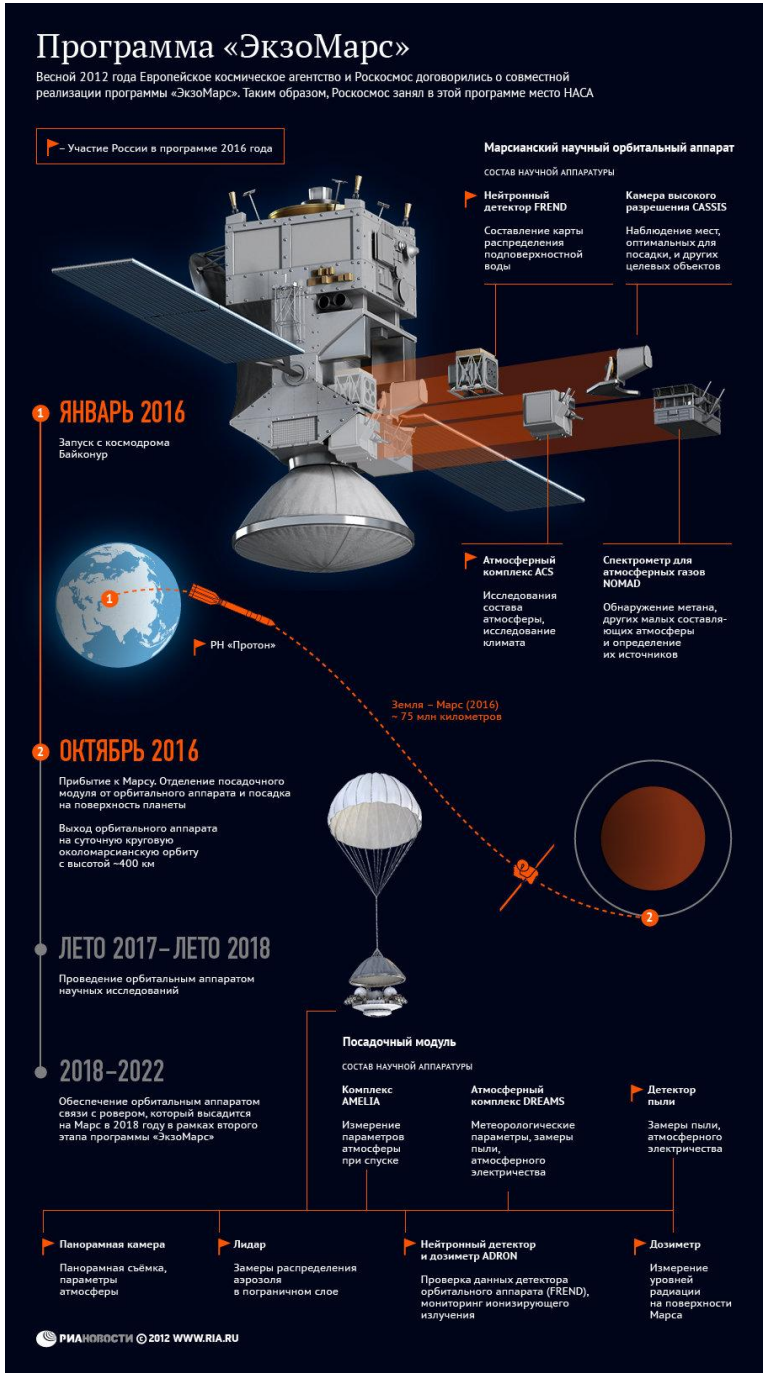
Перелётный модуль (CM) - ЕКА
Десантный модуль (DM) - Роскосмос

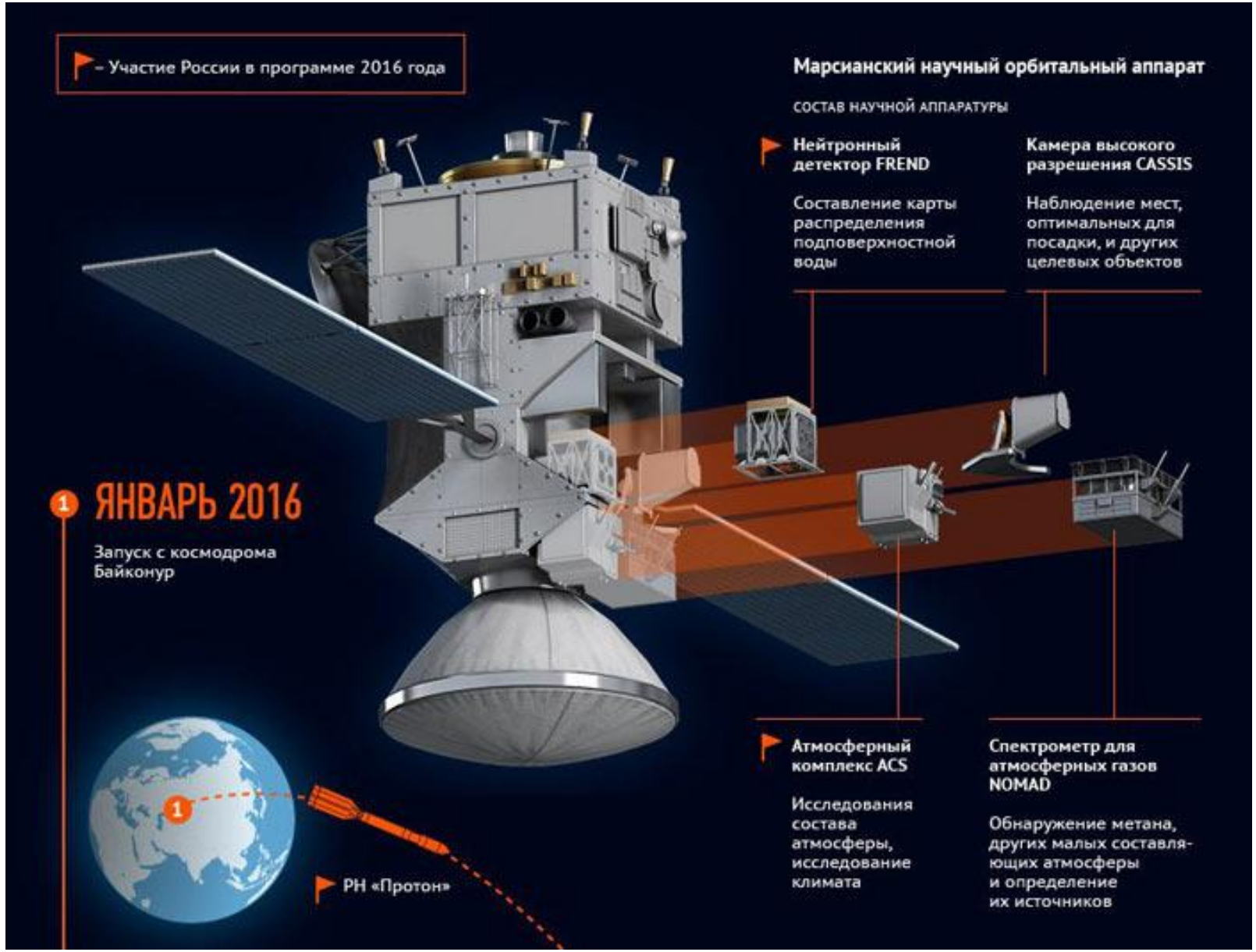
Марсоход - ЕКА

Марсианские планы



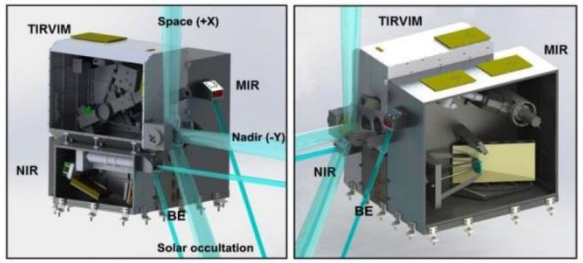
Программа «ЭкзоМарс»

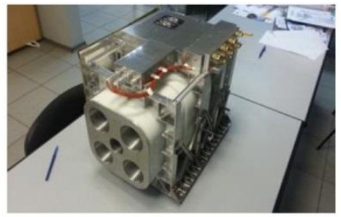




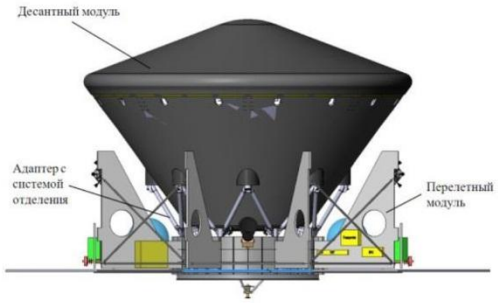
Итоги миссии «ЭкзоМарс-2016», разработка проекта «ЭкзоМарс-2020»

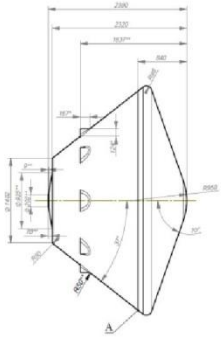
Спутник TGO в 2016 успешно вышел на околомарсианскую орбиту, в течение 2016-2018гг. методом аэродинамического торможения будет формироваться рабочая орбита





Российская научная аппаратура на TGO успешно функционировала во время пробных включений и начального этапа исследований (к работе европейской НА тоже нет замечаний)

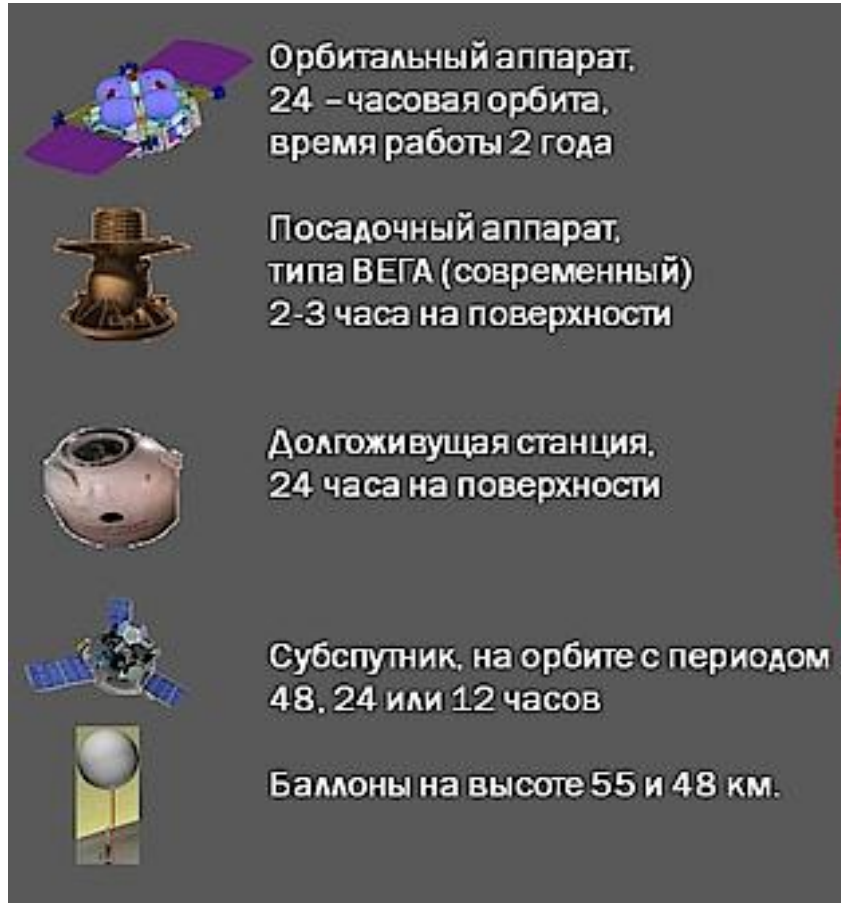




Работы 2017 года:

- повторный обзор ключевых этапов работ миссии «ЭкзоМарс-2020»,
- защита технического проекта (ТП) российской части КК «ЭкзоМарс-2020»,
- защита ТП на уровне всего КК «ЭкзоМарс-2020»

Проект «Венера-Д»

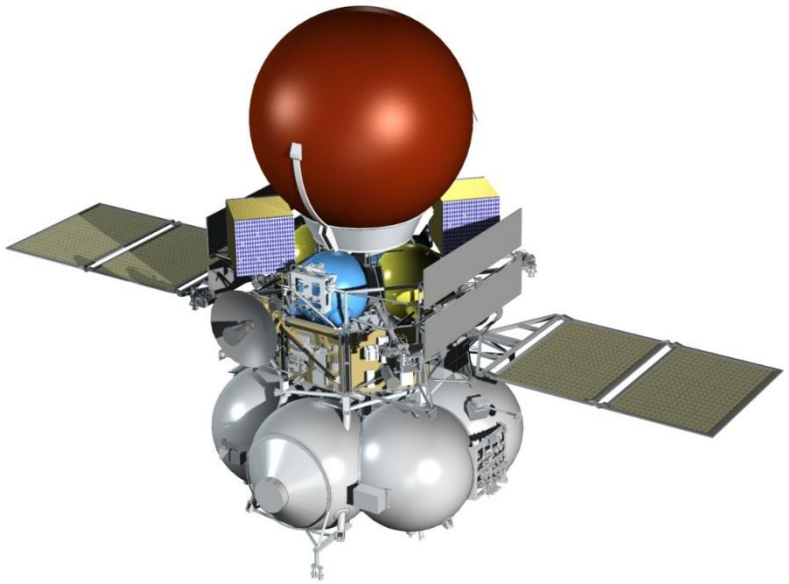


Проект Венера-Д должен обеспечить новый качественный уровень научных исследований планеты, когда наблюдаемые природные явления, происходящие на планете, можно одновременно изучать как с орбиты, так и находясь на поверхности Венеры.

Разрабатываемый космический комплекс, должен обеспечить исследования структуры, энергетического баланса и динамики нижней атмосферы, строение мезосферы, термические приливы, химсостав атмосферы, включая изотопы летучих, обилие инертных газов и изотопный состав, строение и химию облаков, природу УФ-поглотителя, химический и минералогический состав, включая радиоактивные изотопы, геологию поверхности, сейсмику и вулканизм, молнии, проблему воды и процессы диссипации атмосферных составляющих и др.

Запуск космического аппарата планируется в 2026–2027 годах.

Схема экспедиции «Венера-Д»



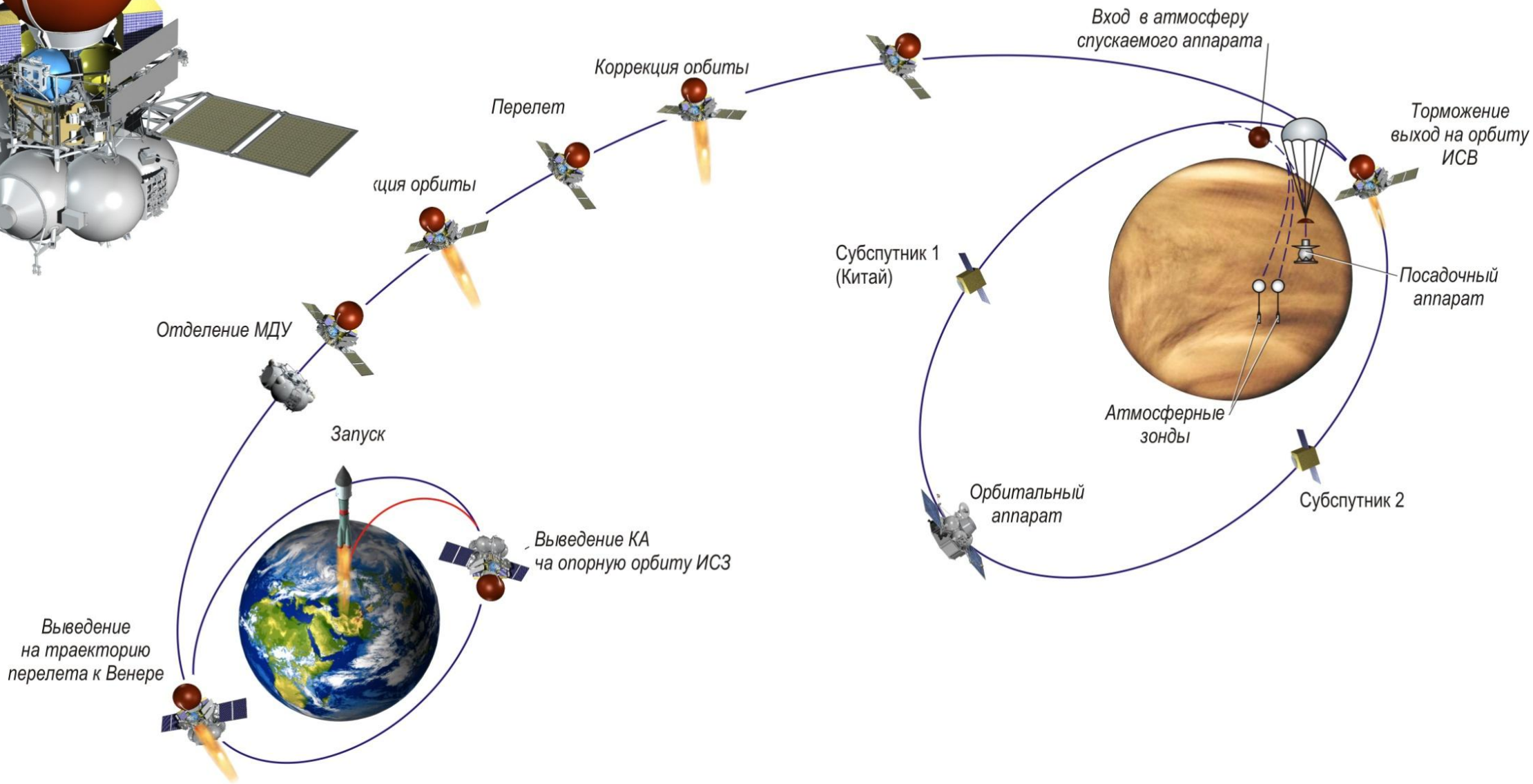
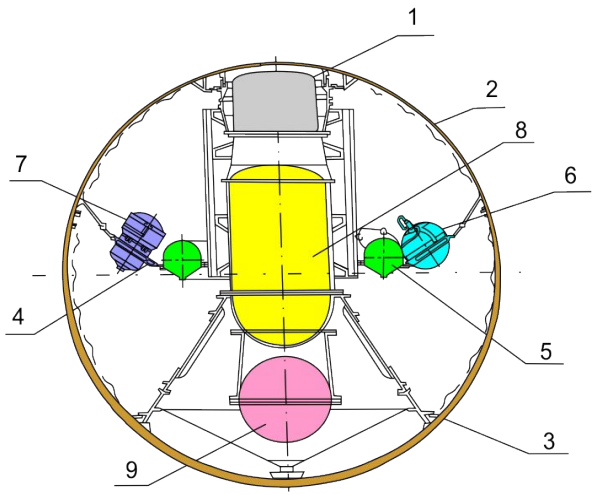
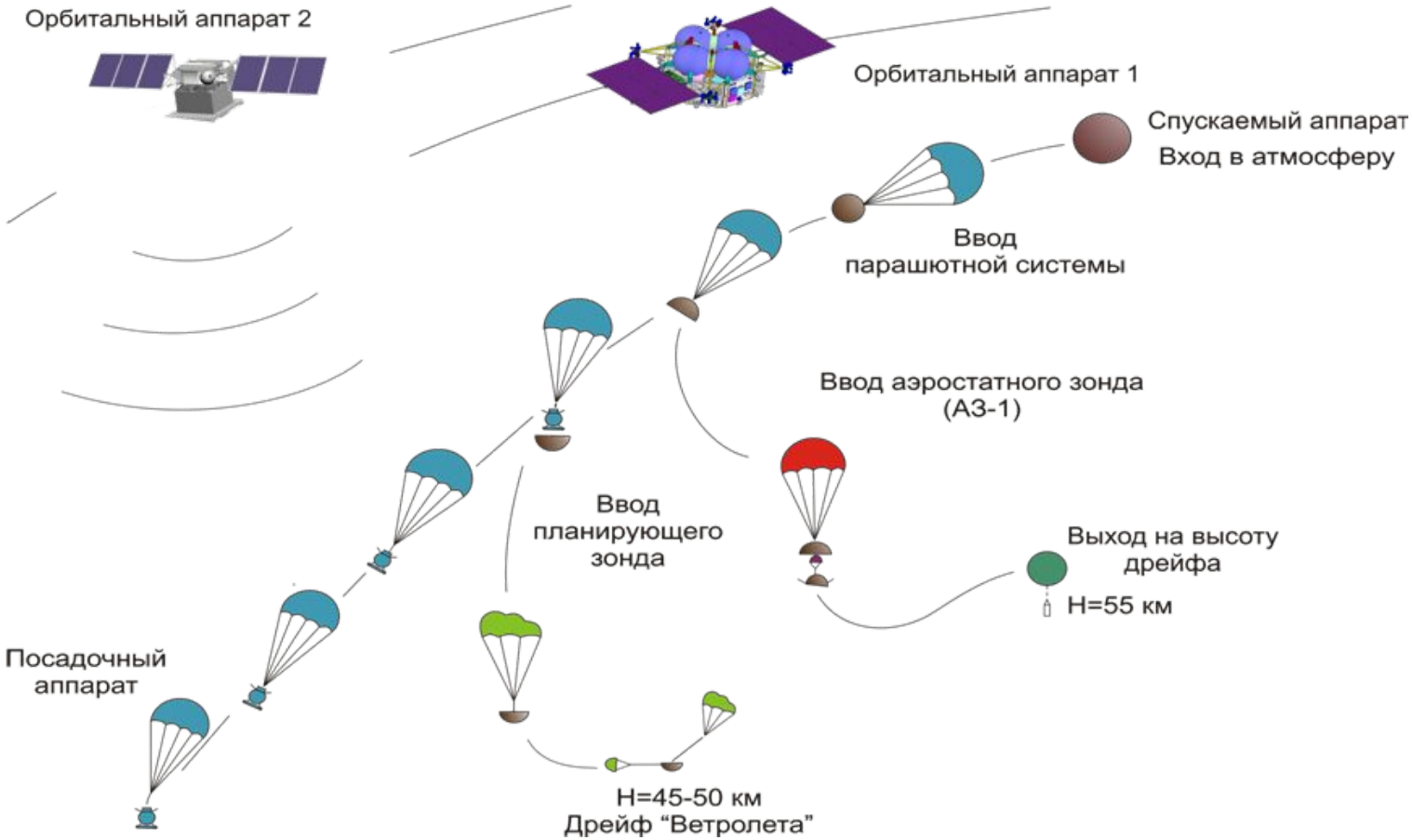
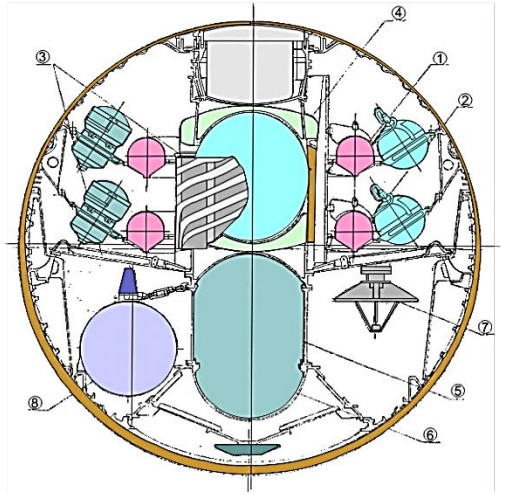


Схема эксперимента «Венера-Д»



1 - Парашютный отсек
2 - Верхняя полусфера
3 - Нижняя полусфера
4 - Силовой конус АЗ
5 - Торовый контейнер с АО и гондолой
6 - Баллоны высокого давления
7 - Аэростатная парашютная система
8 - Дрейфующий зонд/ ветролет
9 - Посадочный зонд





1 - Аэростатный зонд (АЗ 1)

2 - Аэростатный зонд (АЗ 2)

3 - Планирующий зонд (ПЗ)

4 - Отсек служебной и научной аппаратуры ПЗ

5 - Контейнер дрейфующего зонда (ДЗ) ветролета

6 - Отсек научной аппаратуры ДЗ

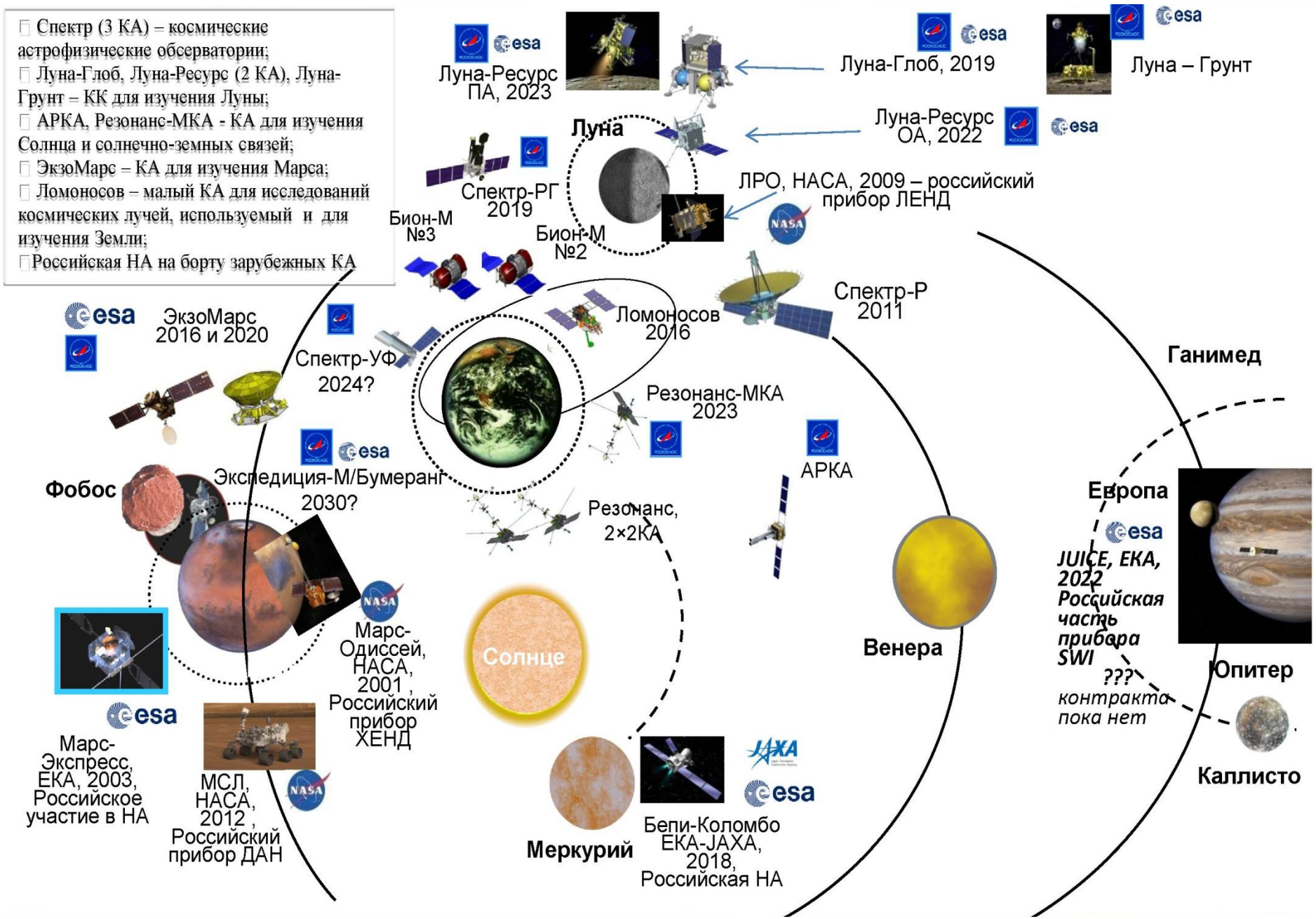
7 - Радиолокатор

8 - Посадочный зонд

Варианты спускаемого аппарата

Перспективы научных проектов до 2030 года

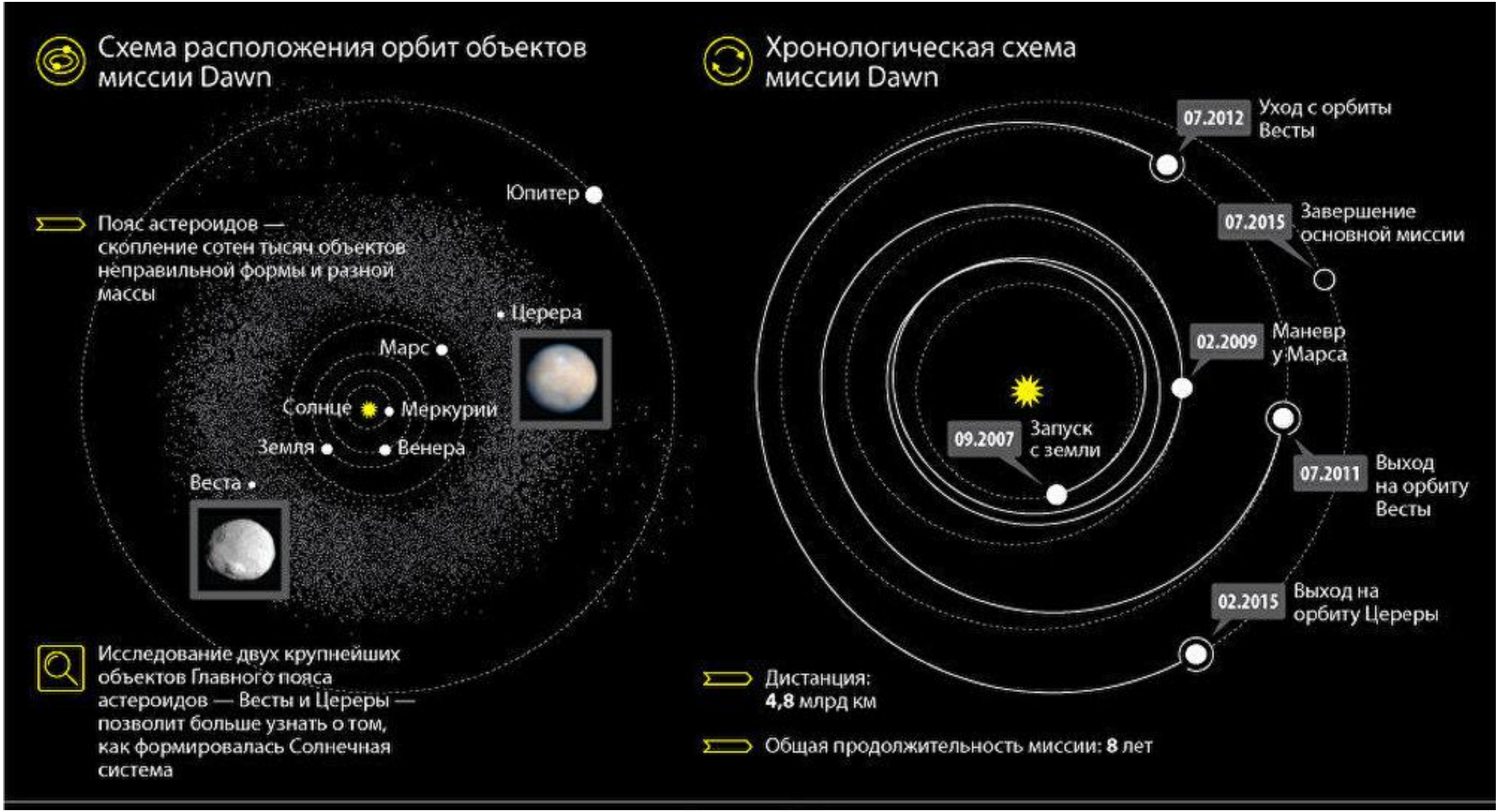
- Спектр (3 КА) – космические астрофизические обсерватории;
- Луна-Глоб, Луна-Ресурс (2 КА), Луна-Грунт – КК для изучения Луны;
- АРКА, Резонанс-МКА - КА для изучения Солнца и солнечно-земных связей;
- ЭкзоМарс – КА для изучения Марса;
- Ломоносов – малый КА для исследований космических лучей, используемый и для изучения Земли;
- Российская НА на борту зарубежных КА



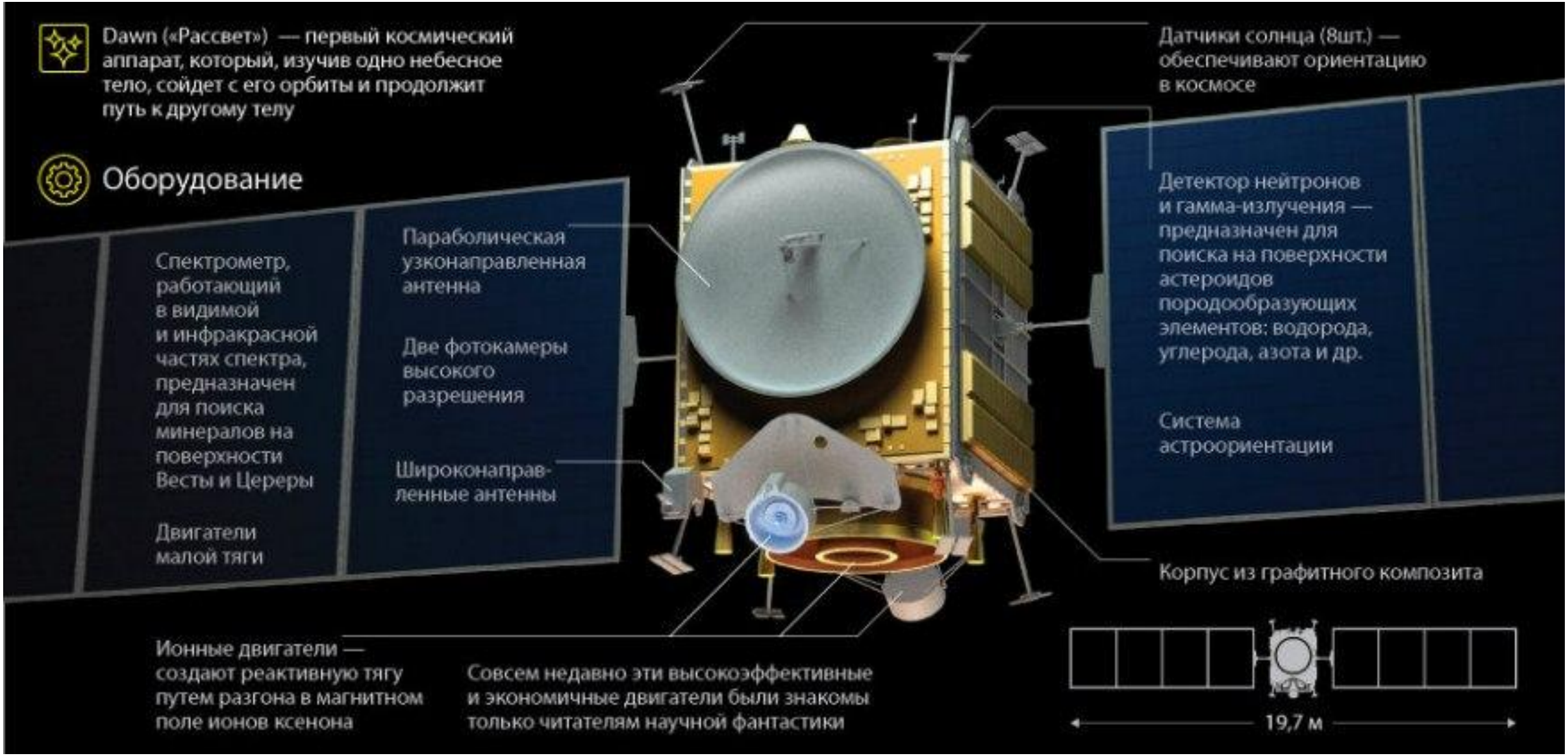
Автоматическая межпланетная станция «Хаябуса-2» (JAXA) для доставки образцов грунта с астероида класса С

Запланированные события:
Сближение с астероидом 1999 JU_3 — июль 2018 года.
Отбытие в обратный путь к Земле — декабрь 2019 года.
Возвращение на Землю с образцами грунта — декабрь 2020 года

Исследования астероидов. Исследовательский зонд

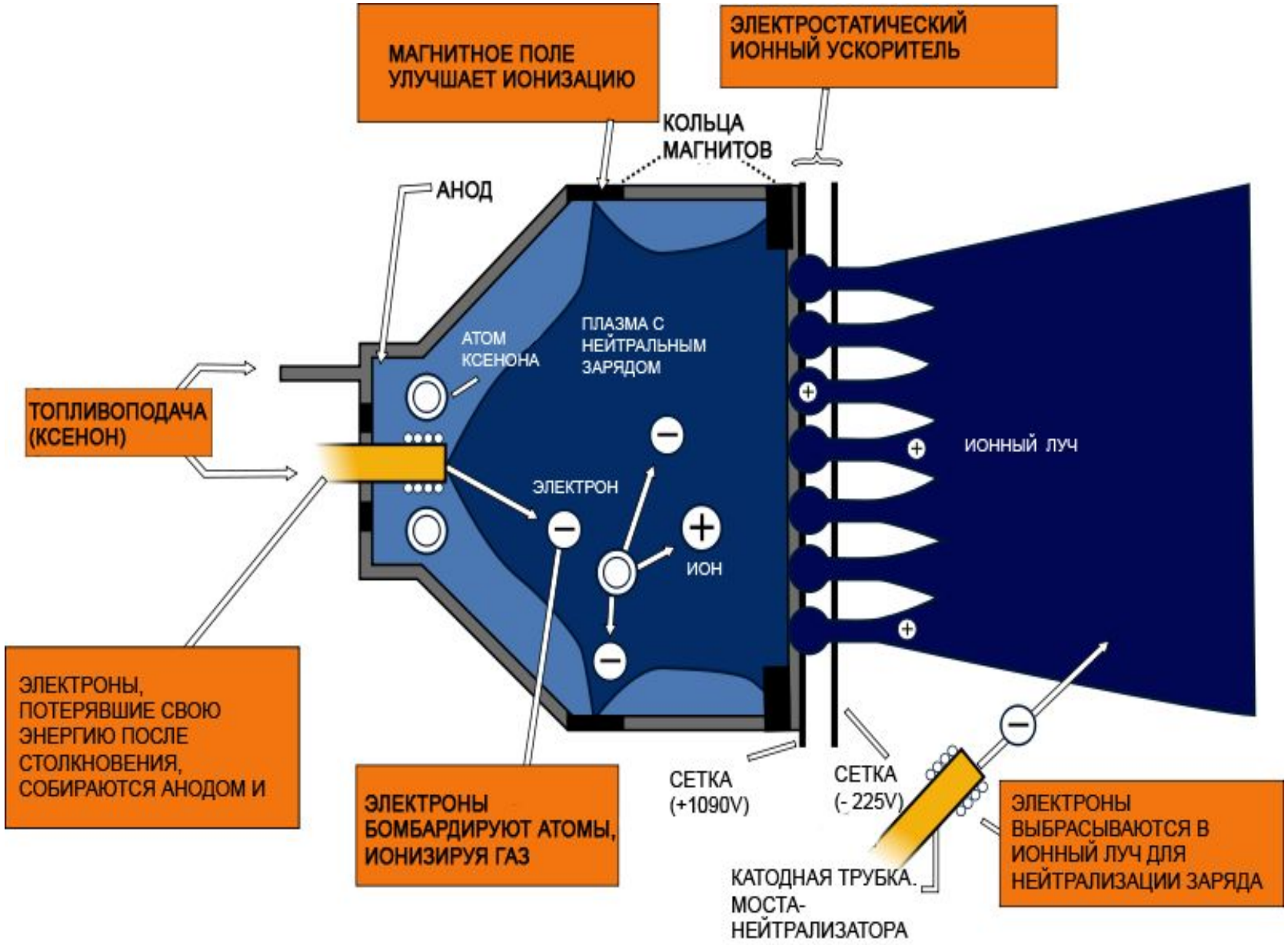


Исследовательский зонд Dawn



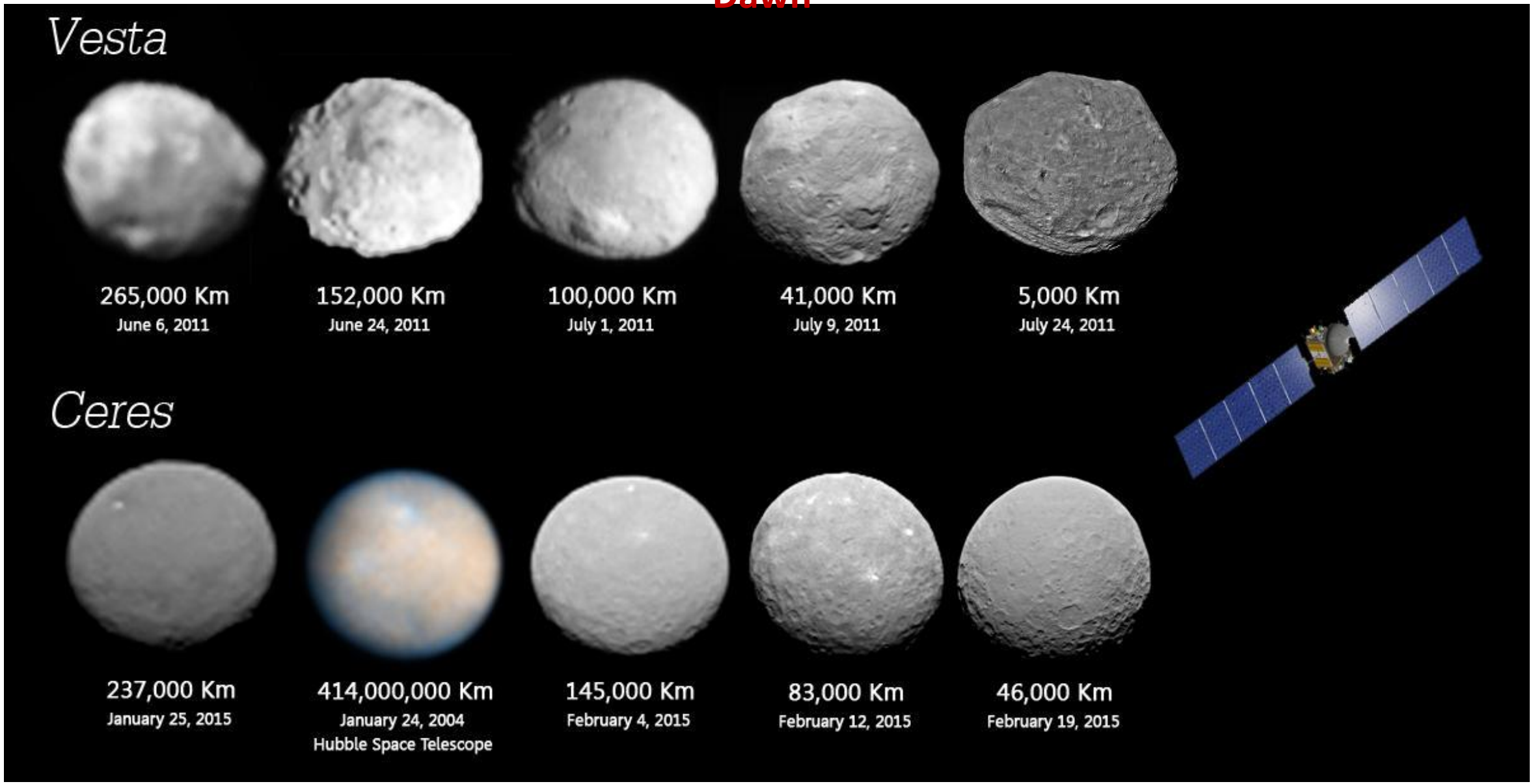
Задача: исследование астероида Веста и карликовой планеты

Двигатель зонда Dawn



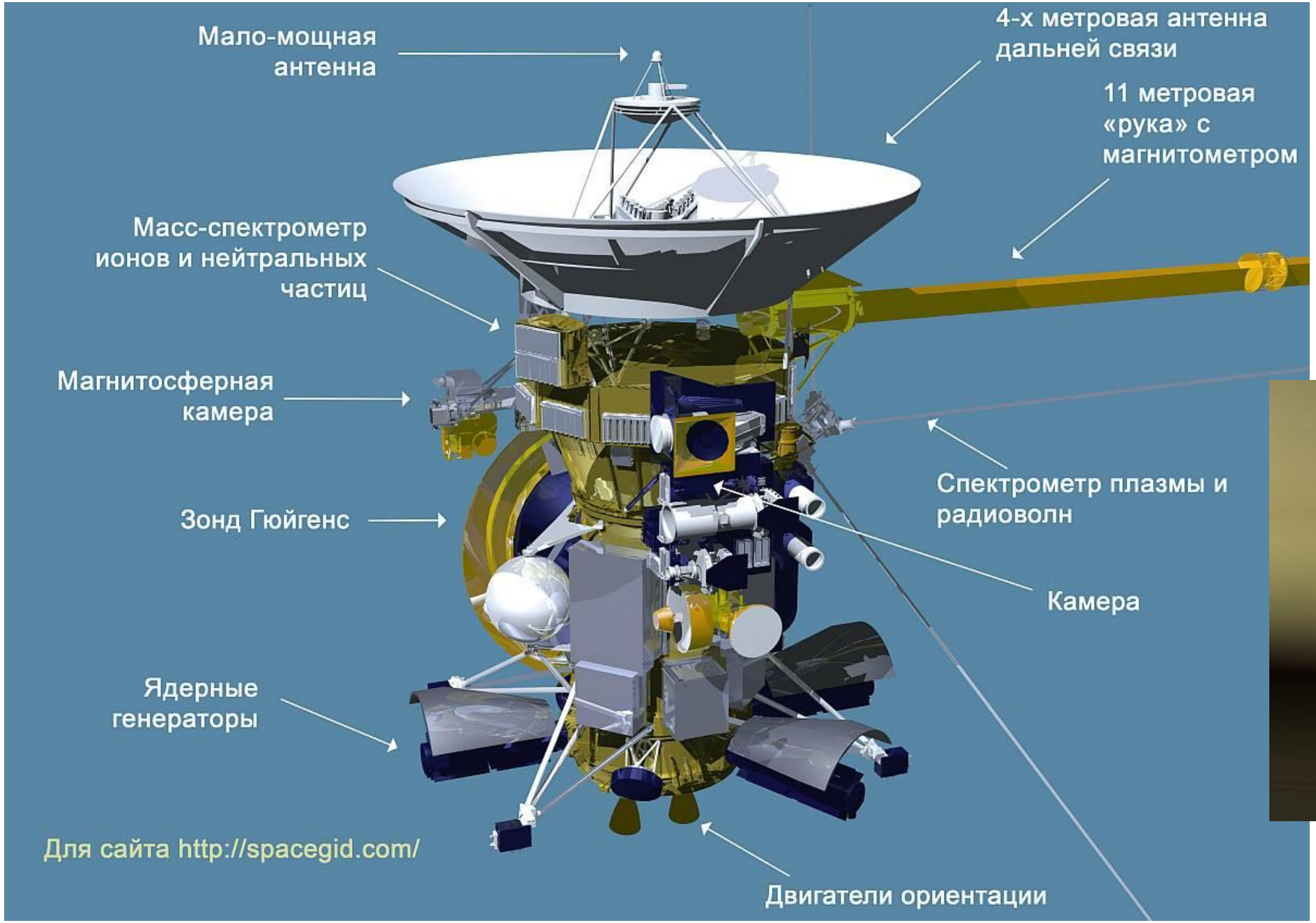
Космический аппарат Dawn впервые в истории использует ионный двигатель на

Изображения Весты и Цереры, полученные зондом Dawn

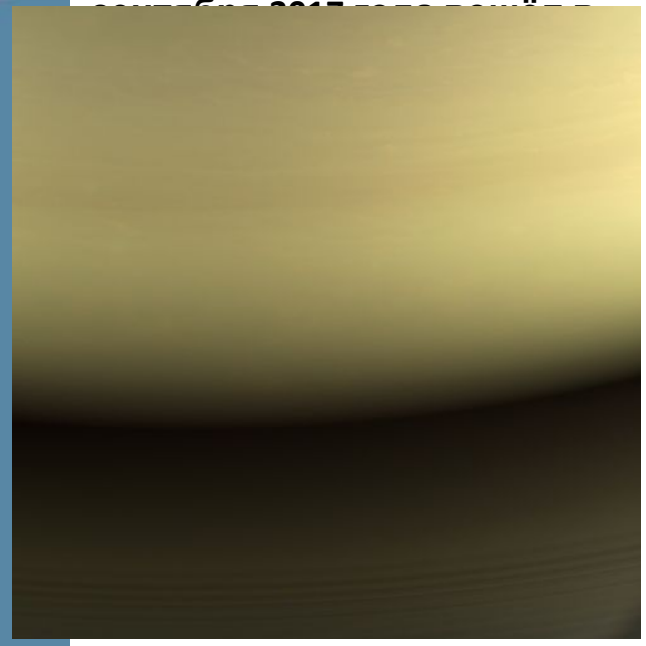


Исследования системы Сатурна. Исследовательский зонд «Кассини»

Устройство космического зонда «Кассини»

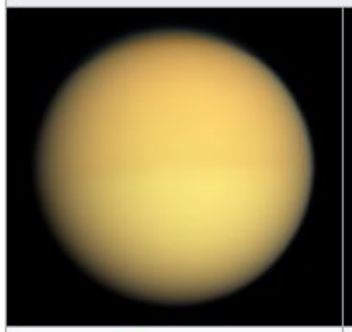
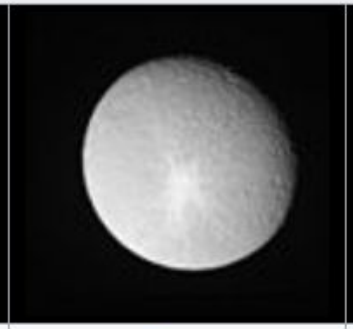
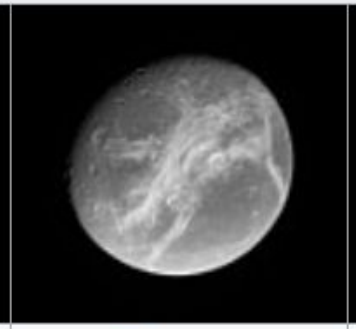
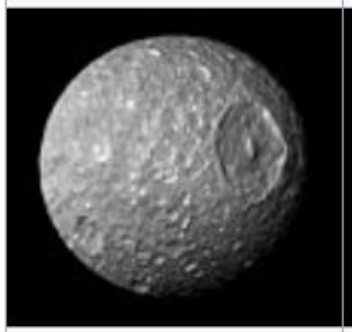
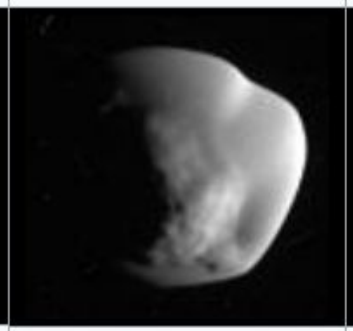
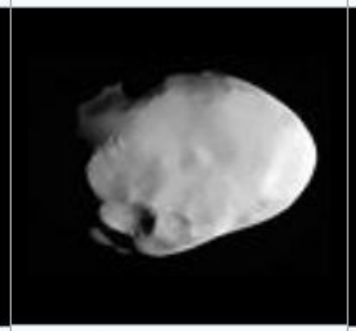
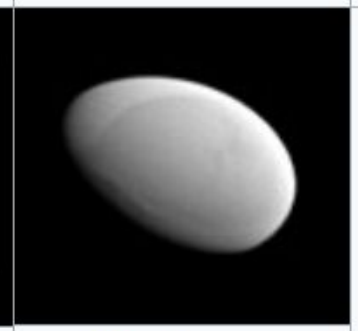


4 апреля 2017 года Лаборатория реактивного движения объявила о грядущем завершении миссии «Кассини» 15 сентября 2017 года. Завершающий этап программы начался 26 апреля. Космический аппарат выполнил несколько коррекций своей орбиты вокруг Сатурна и 15

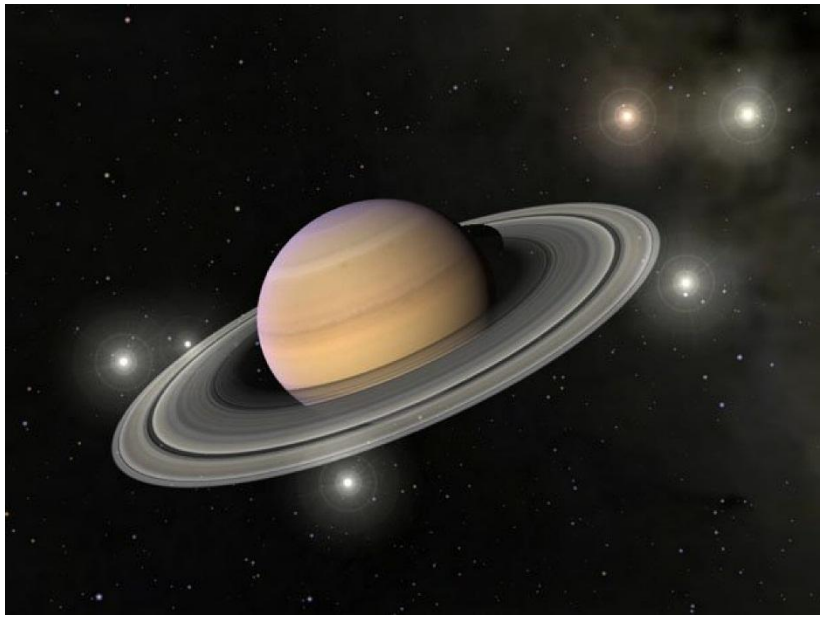


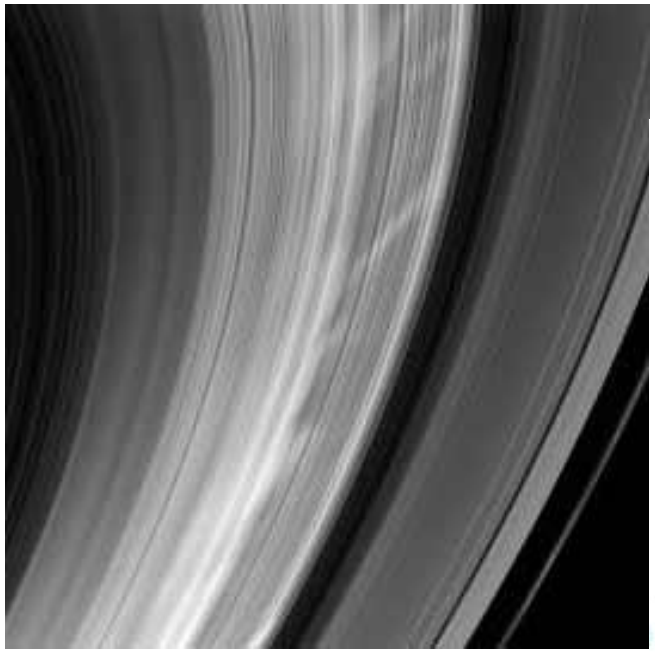
Последняя фотография, сделанная

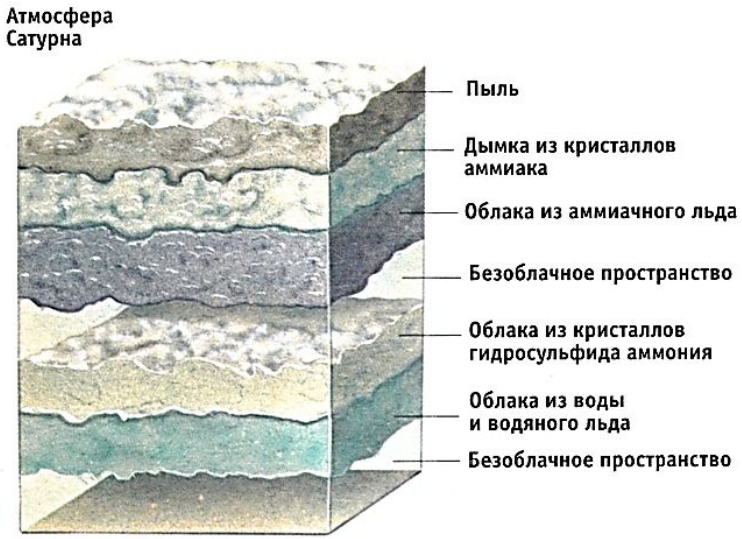
Сближения со спутниками Сатурна

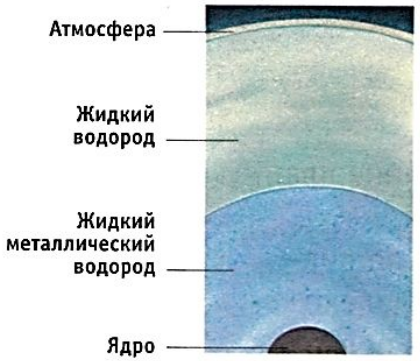
Направления полета						
						
Титан	Рея	Япет	Диона	Тефия	Энцелад	
						
Мимас	Гиперион	Феба	Янус	Эпиметей	Прометей	Пандора
						
Елена	Атлас	Пан	Телесто	Калипсо	Мефона	

Сатурн, кольца и спутники Сатурна



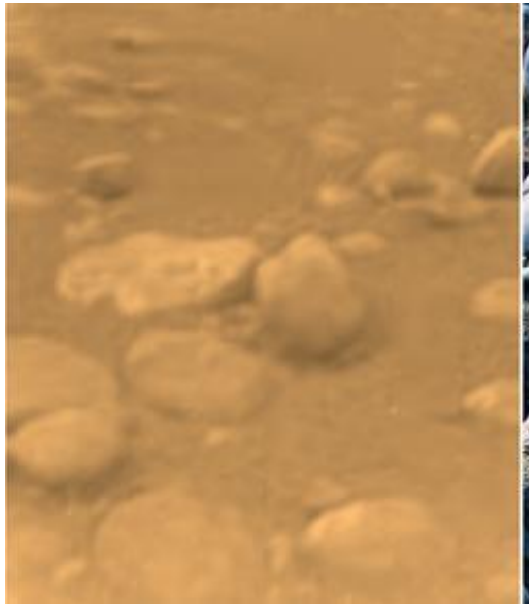
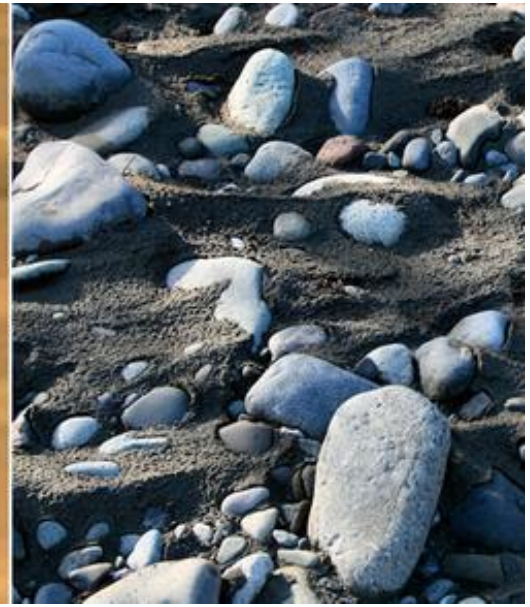
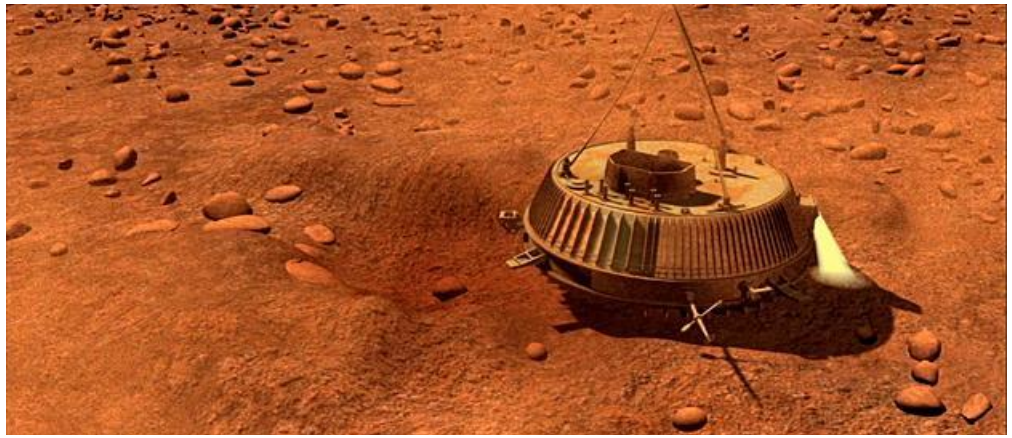






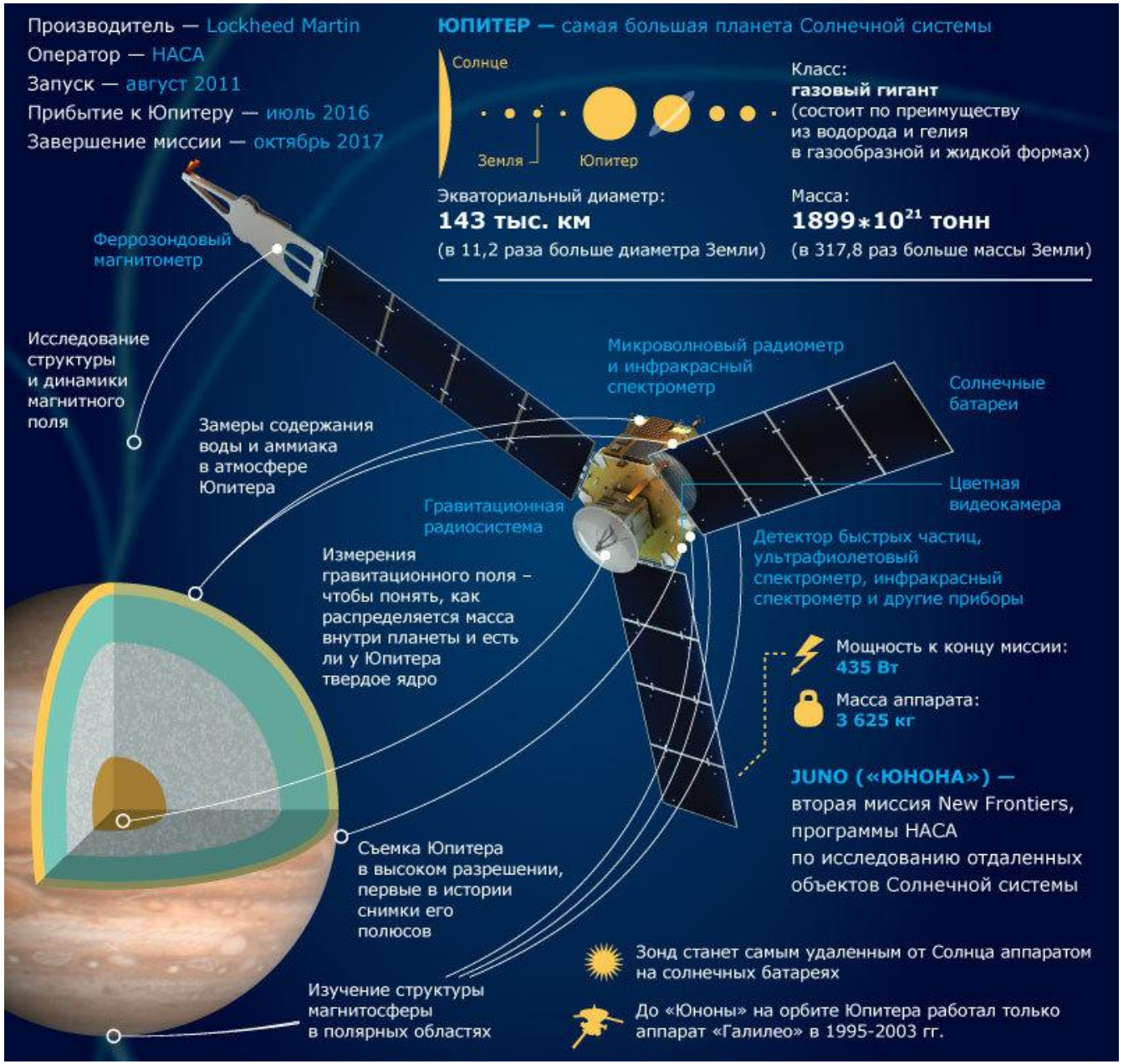
Строение Сатурна

Спускаемый аппарат «Гюйгенс» на Титане

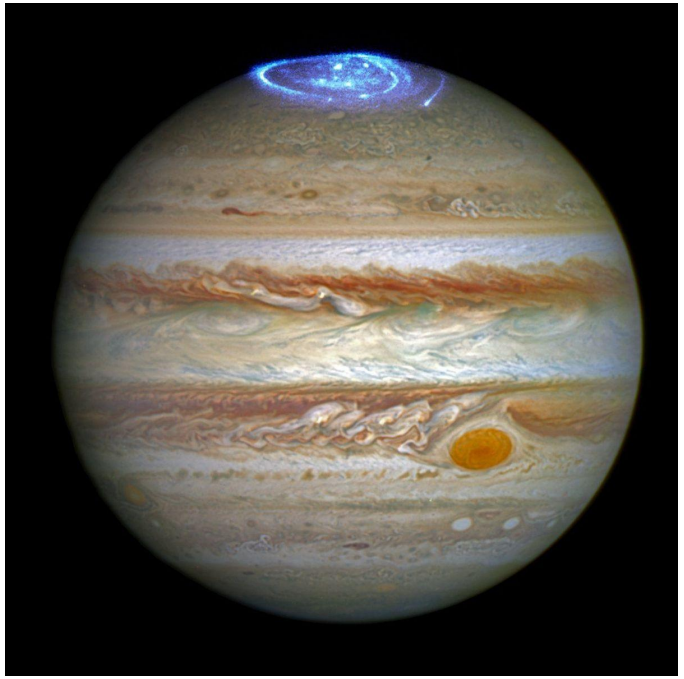
Масса 319 кг.
Размеры 1,3 м в диаметре, 2,7 м (термозащитный панцирь).
Мощность 250 Ватт.
Срок активного существования 22 дня (всего), 4 ч. (активная фаза).
Посадка на небесное тело 14 января 2005, 12:43 UTC.

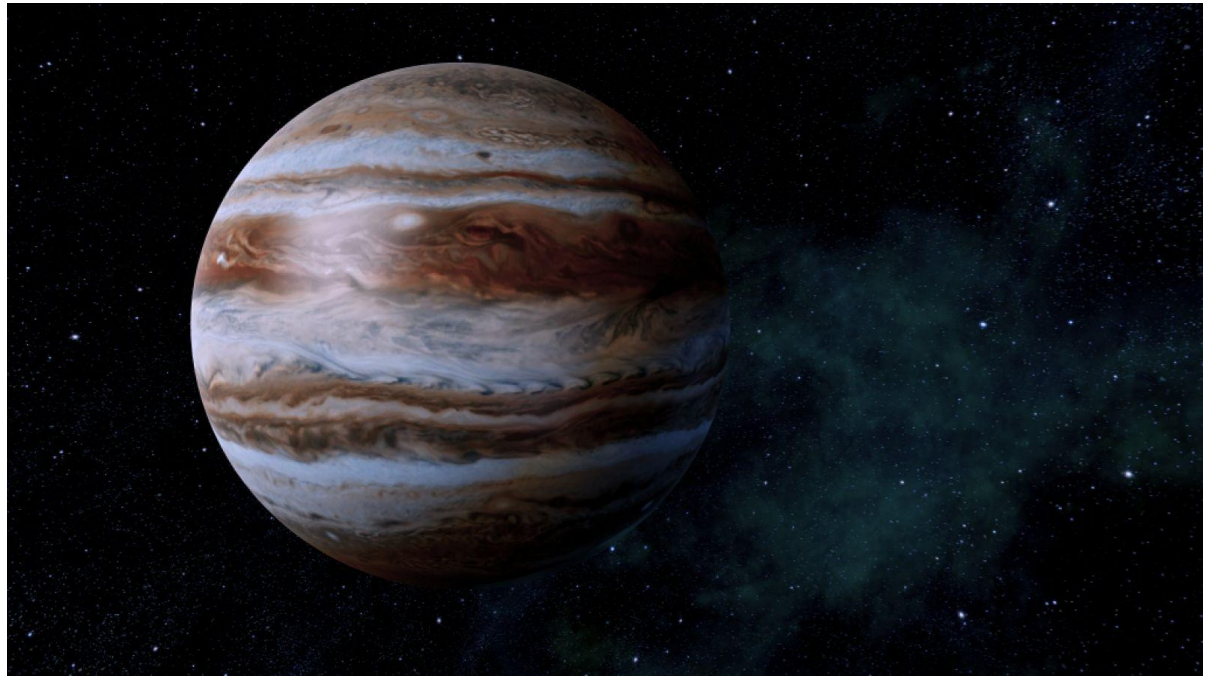
Исследовательский зонд JUNO: миссия к Юпитеру



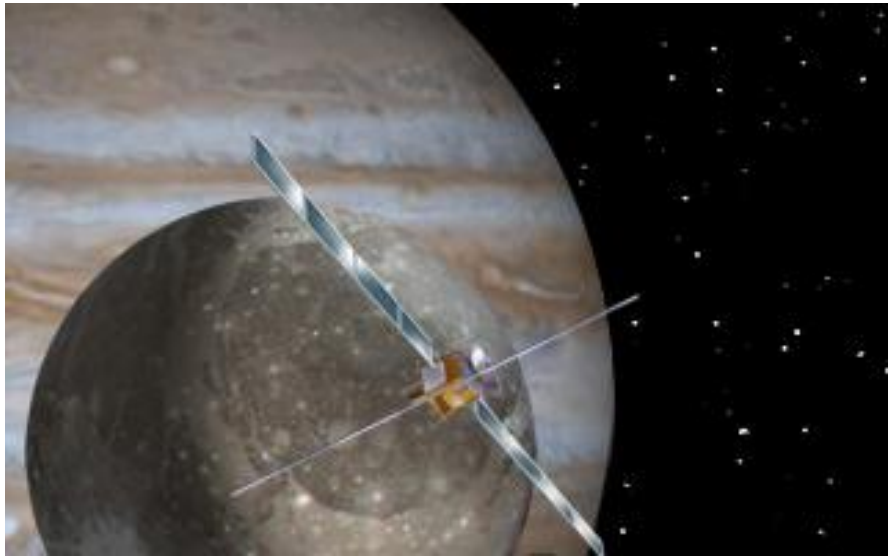
Основная задача миссии – ответить на вопрос, есть ли у Юпитера

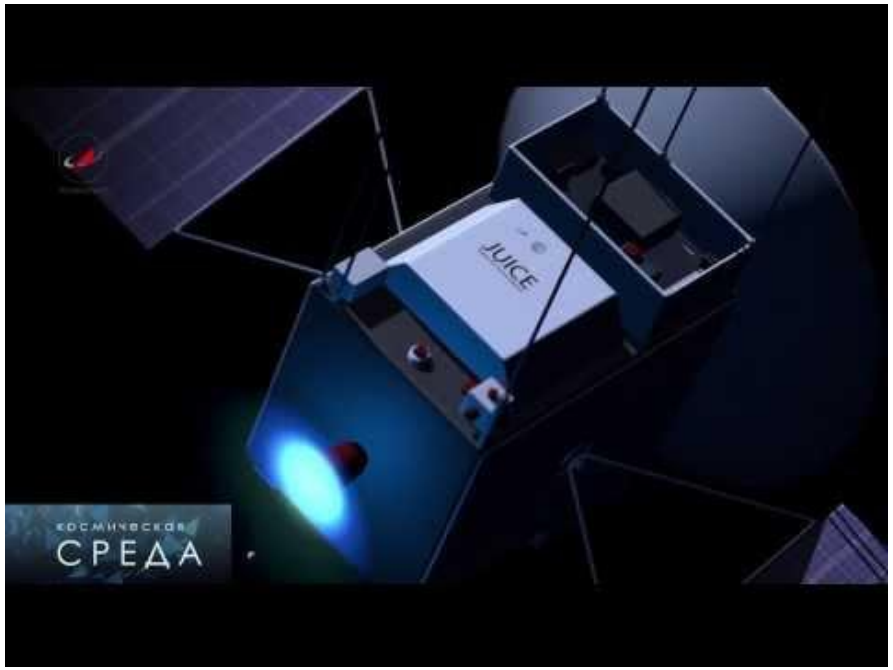
Фотографии Юпитера с зонда «Юнона»

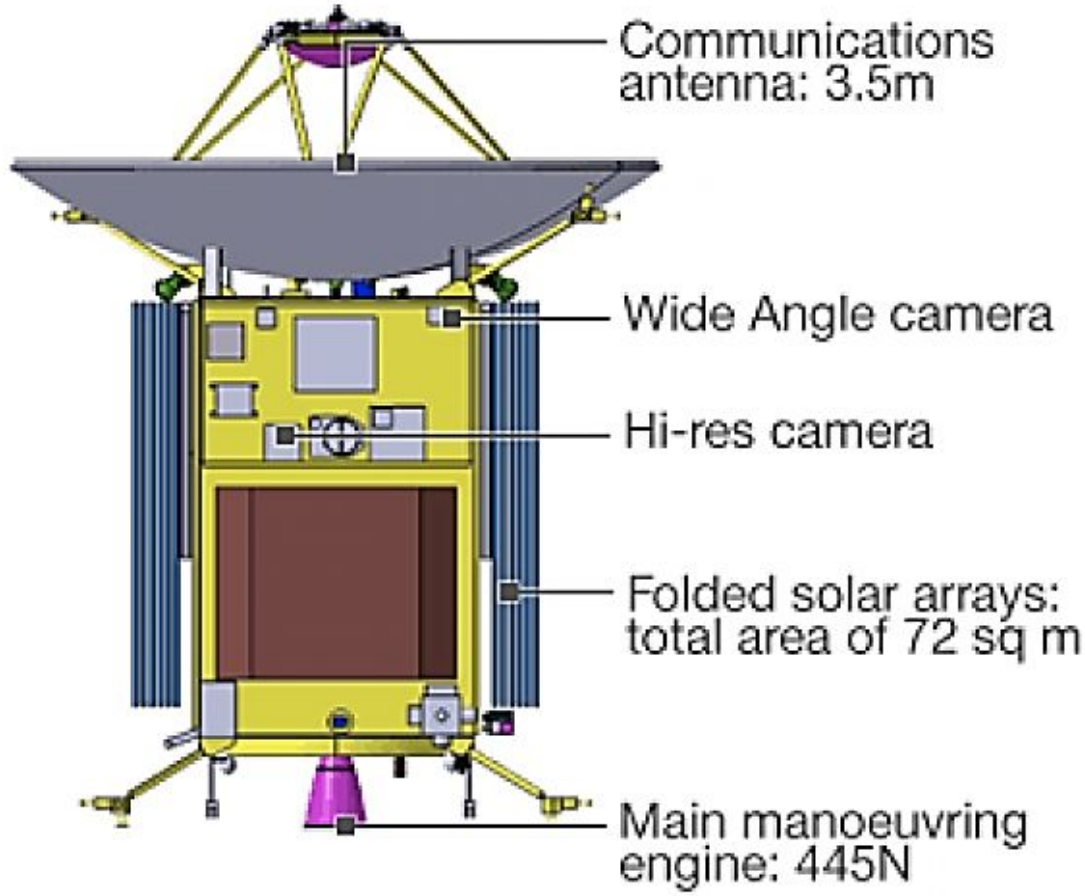




Jupiter Icy Moon Explorer (JUICE): изучение системы Юпитера (Ганимеда, Европы и Каллисто)







Spacecraft body: 1.56m × 1.56m × 2.68m
Launch mass: 4.8 tonnes

Сценарий миссии Jupiter Icy Moon Explorer (JUICE)

2013 год — первая официальная публикация первоначальных сведений о миссии после её официального выбора в мае 2012 года. Вероятное подписание соглашения о сотрудничестве между ЕКА и Роскосмосом.

Ноябрь 2014 года — окончательное утверждение миссии.

Июнь 2022 года — запуск (резервный - 2023 год; также возможен запуск в 2021 году).

Январь 2030 года — прибытие в систему Юпитера. До декабря 2030 года JUICE проведет на эллиптической орбите за орбитой Ганимеда, таким образом избежав влияния радиационных поясов. За этот период будут проведены детальные исследования внутренней магнитосферы Юпитера, а также наблюдения за его атмосферой. JUICE произведет 7 облетов Ганимеда.

Декабрь 2030 года — прибытие к Каллисто. JUICE совершит 3 облета спутника и, совершив гравитационный маневр, совершит 2 облета Европы.

Январь-сентябрь 2031 года — 9 облетов Каллисто.

Сентябрь 2032 года — исследование Ганимеда с высоты 5000 км.

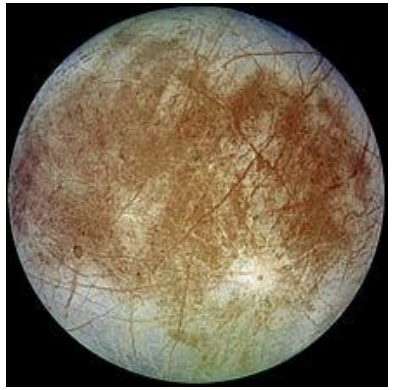
Февраль 2033 года — исследование Ганимеда с высоты 500 км.

Май 2033 года — исследование Ганимеда с высоты 200 км.

Июнь 2033 — завершение миссии. Если к этому времени JUICE будет нормально функционировать, его миссия будет продлена. В этом случае продолжатся исследования Ганимеда с высоты 200 км. По истощении ресурсов аппарата, он будет сведен с орбиты и врежется в поверхность Ганимеда.

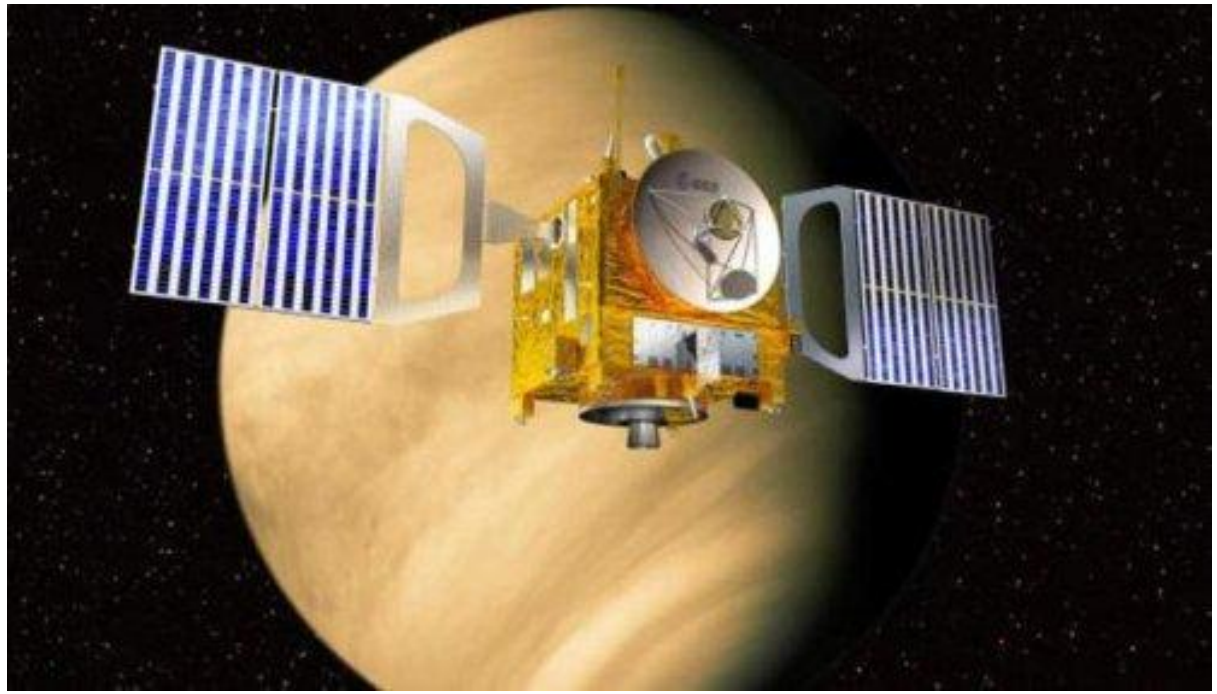
Ганимед (множество облётов)

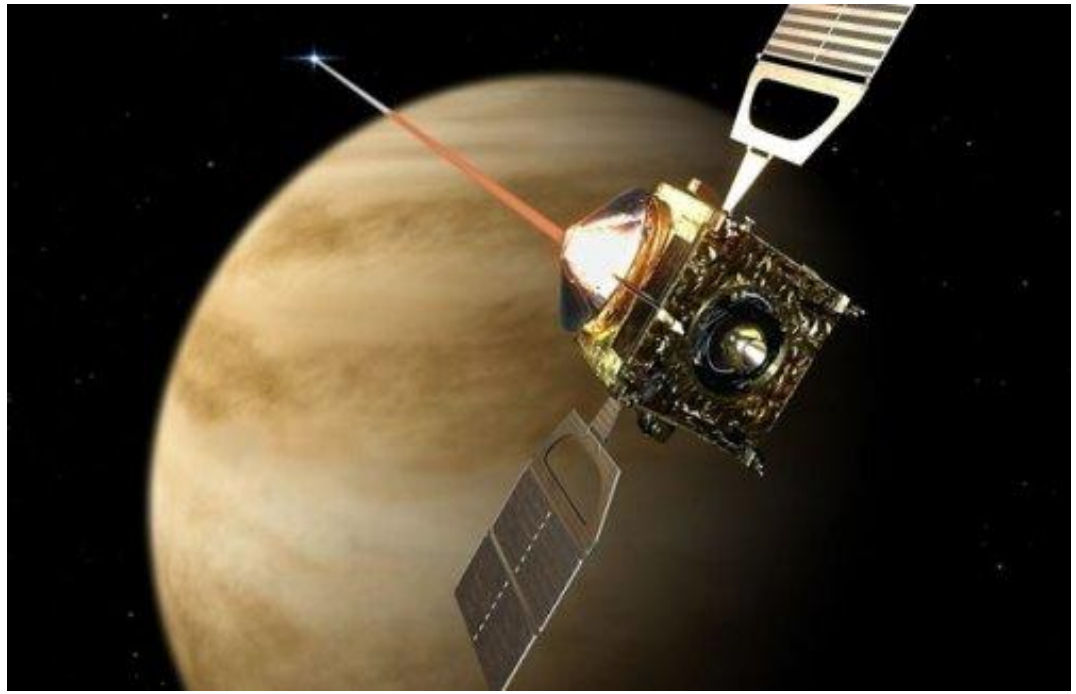
Каллисто (12 облётов)



Европа (2 облёта)

Японский аппарат Akatsuki (Рассвет) для исследования Венеры





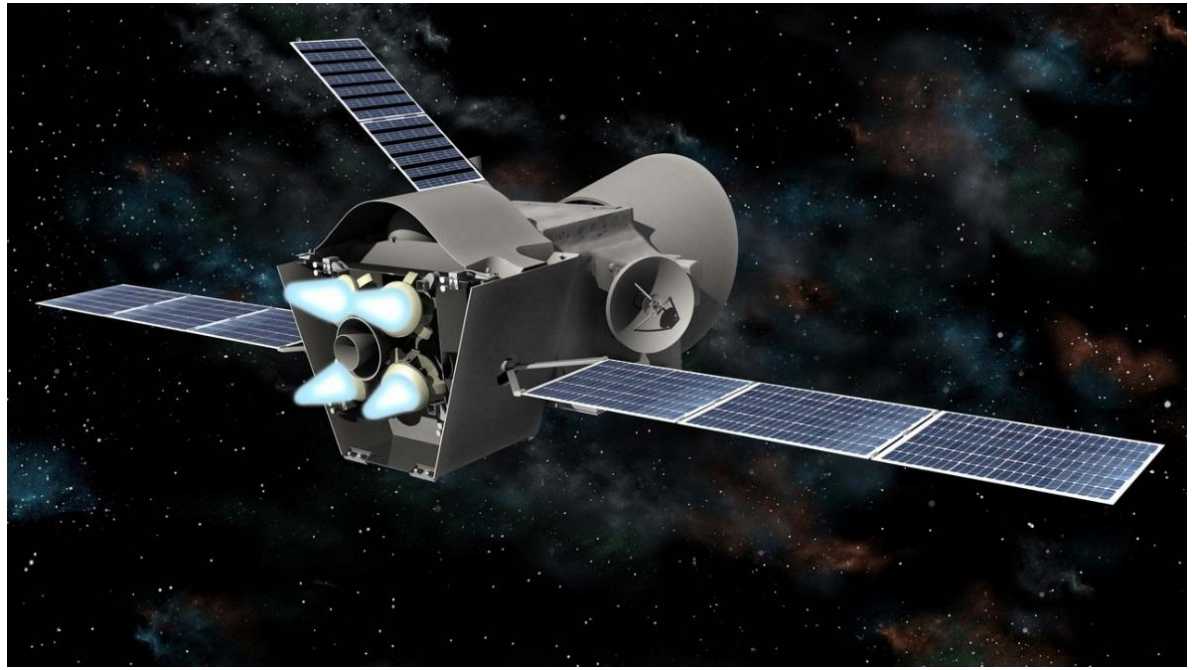
Полная масса космического аппарата — 640 кг, из которых 320 кг — топливо и 34 кг — научное оборудование. Основная часть аппарата представляет собой бокс 1,04 × 1,45 × 1,4 м, оснащенный двумя солнечными батареями, площадь каждой из которых составляет 1,4 м². Солнечные батареи будут вырабатывать около 500 Вт электроэнергии на орбите Венеры к концу срока активного существования.

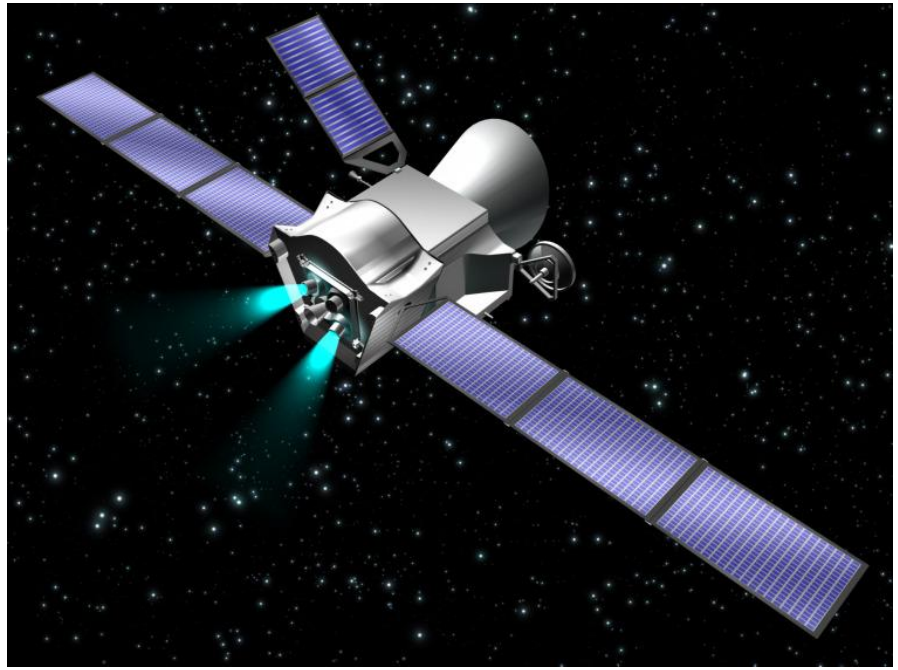
Движение и управление КА обеспечивается двухкомпонентной двигательной установкой имеющей тягу 500 Н, работающей на топливной паре НДМГ — АТ и однокомпонентными двигателями орбитального маневрирования на продуктах разложения монометилгидразина (ММГ): 4 по 20 Н и 8 двигателей тягой 3 Н.

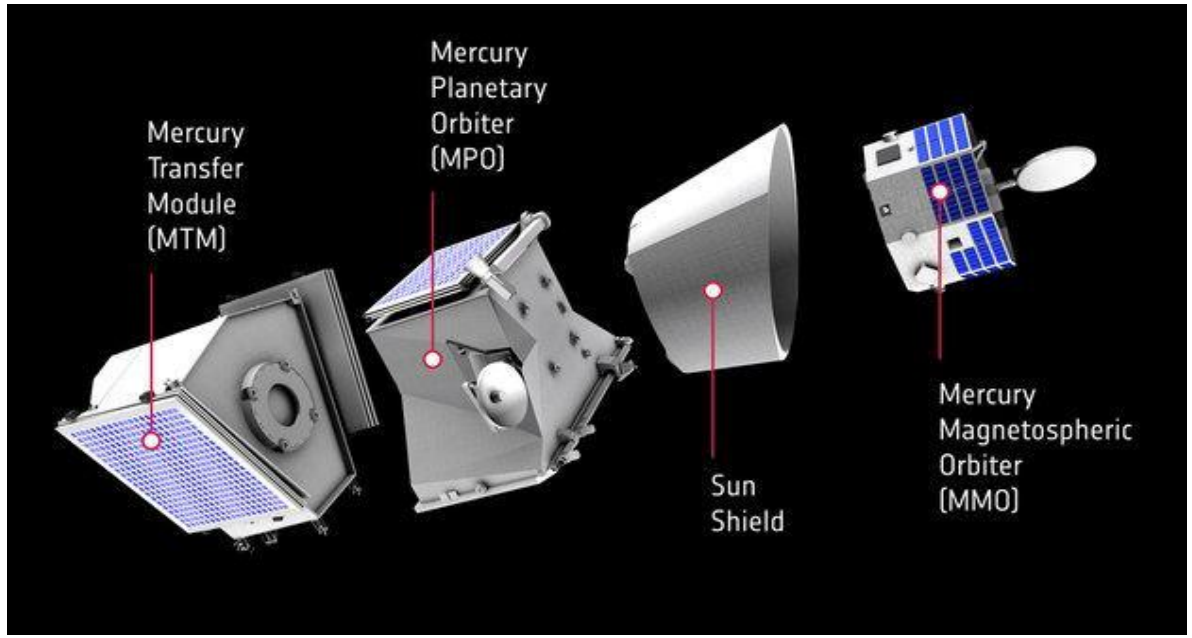
Научное оборудование включает в себя ультрафиолетовую камеру, длинноволновую инфракрасную камеру, 1-мкм камеру и 2-мкм камеру.

Планируемые исследования включают в себя фотографирование поверхности с помощью инфракрасной камеры, а также эксперименты, которые позволят подтвердить наличие молний (то есть электрических разрядов в атмосфере Венеры). Кроме того, планируется определить наличие или отсутствие вулканической активности на Венере.

BepiColombo — миссия ЕКА и JAXA по исследованию Меркурия

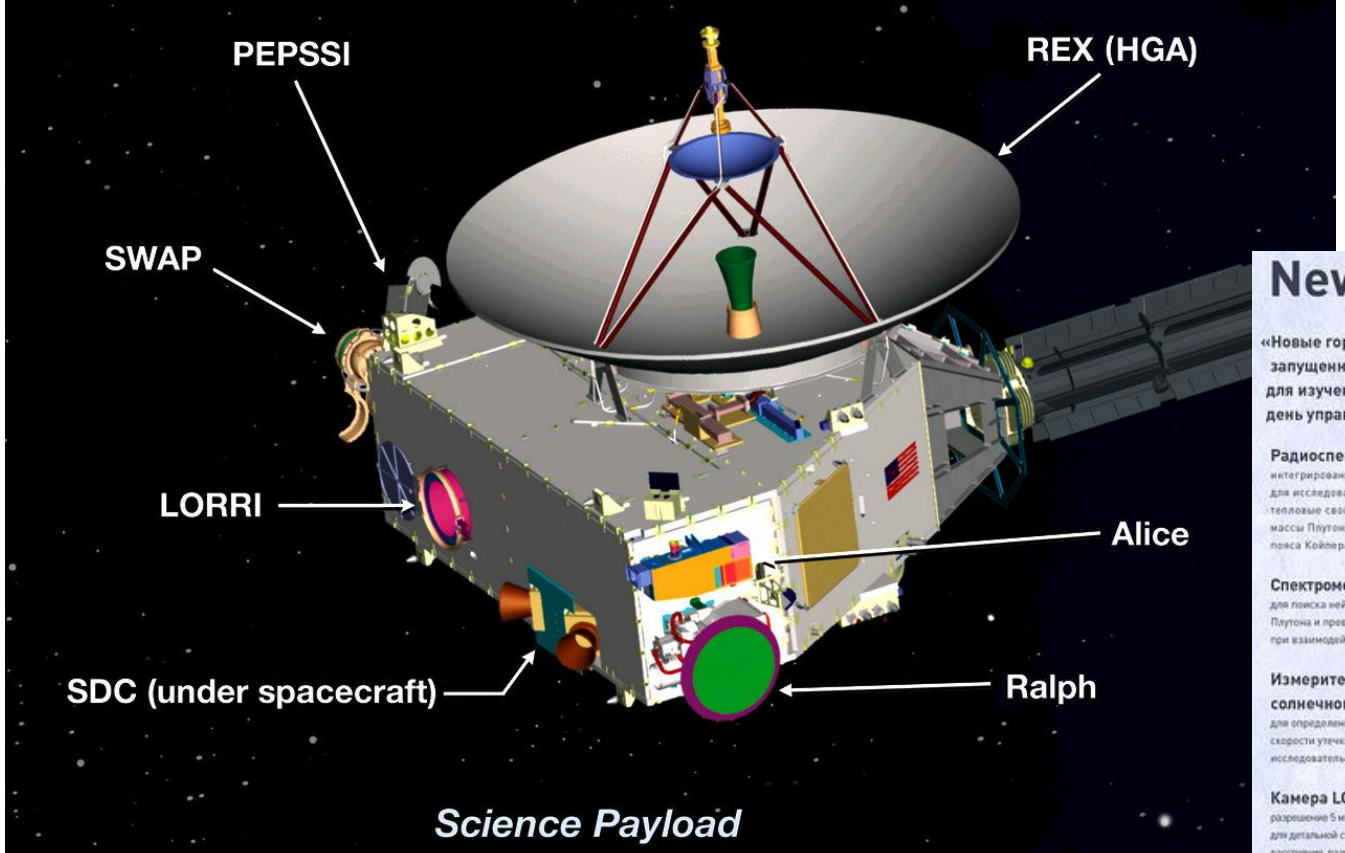






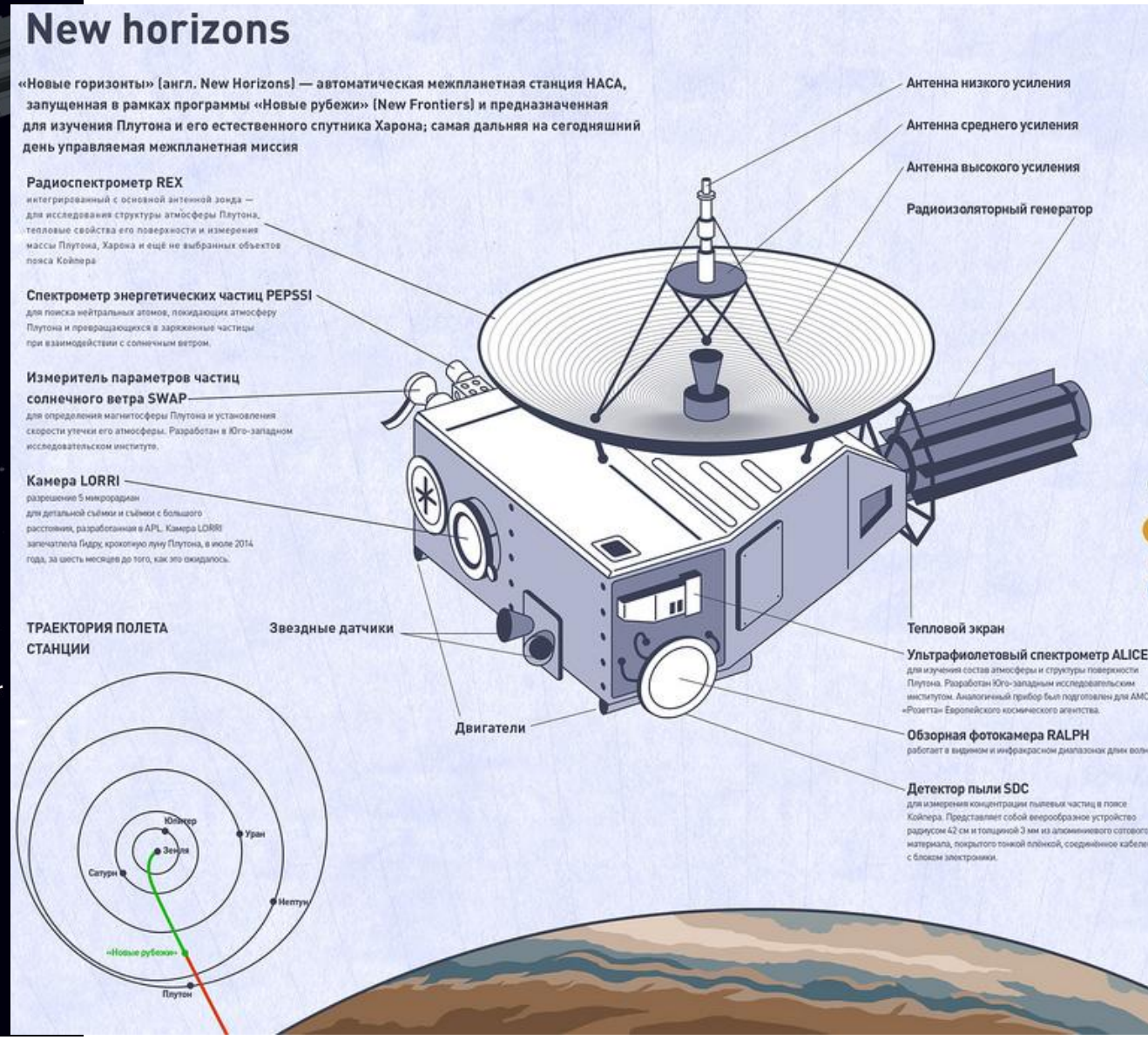
Межпланетный зонд планируется запустить к Меркурию в апреле 2018 года. К самой маленькой и одной из наименее изученных планет Солнечной Системы отправятся две орбитальных станции на одном транспортном модуле Mercury Transfer Module (MTM).
Общий вес комплекса составляет 4,1 тонны, из которых примерно половина — горючее. BepiColombo будет использовать электроракетные двигатели. Для экономии топлива в течение полёта BepiColombo совершит четыре гравитационных манёвра в поле тяготения Луны, Земли, Венеры и Меркурия. А перед выходом к Меркурию от транспортного модуля отделятся две орбитальных станции. Полёт продлится шесть лет. Прибытие в район Меркурия ожидается во второй половине 2024 года.

«Новые горизонты» (англ. New Horizons)



Science Payload

- Ralph: Visible and infrared imager/spectrometer; provides color, composition and thermal maps
- Alice: Ultraviolet imaging spectrometer; analyzes composition and structure of Pluto's atmosphere and looks for atmospheres around Charon and Kuiper Belt Objects (KBOs)
- REX (Radio Science EXperiment): Measures atmospheric composition and temperature; passive radiometer
- LORRI (LOng Range Reconnaissance Imager): Telescopic camera; obtains encounter data at long distances, maps Pluto's far side and provides high resolution geologic data
- SWAP (Solar Wind Around Pluto): Solar wind and plasma spectrometer; measures atmospheric "escape rate" and observes Pluto's interaction with solar wind
- PEPSSI (Pluto Energetic Particle Spectrometer Science Investigation): Energetic particle spectrometer; measures the composition and density of plasma (ions) escaping from Pluto's atmosphere
- SDC (Student Dust Counter): Built and operated by students; measures the space dust peppering New Horizons during its voyage across the solar system



Программа миссии автоматической межпланетной станции New Horizons

В задачи миссии входит:

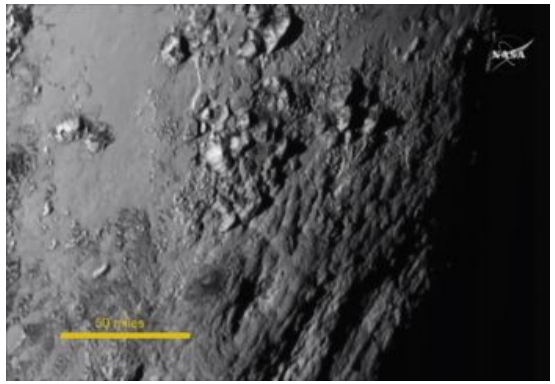
- **картографирование поверхности Плутона и Харона**
- **исследование геологии и морфологии Плутона и Харона**
- **исследование атмосферы Плутона и её рассеяния в окружающее пространство**
- **поиск атмосферы у Харона**
- **построение карты температур поверхности Плутона и Харона**
- **поиск колец и новых спутников Плутона**
- **исследование объектов пояса Койпера.**

В 2016—2020 годах аппарат, возможно, исследует некоторые объекты пояса Койпера.

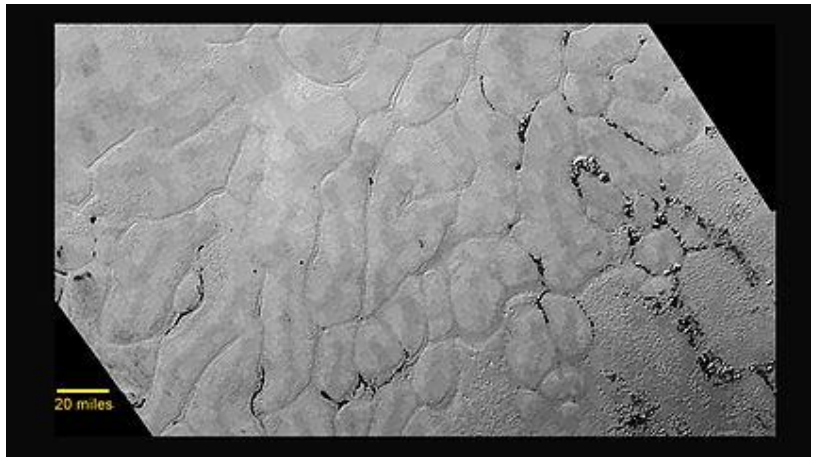
2026 год — ожидаемое окончание миссии.

Плутон и Харон

Фотоснимок, сделанный при приближении аппарата к Плутону

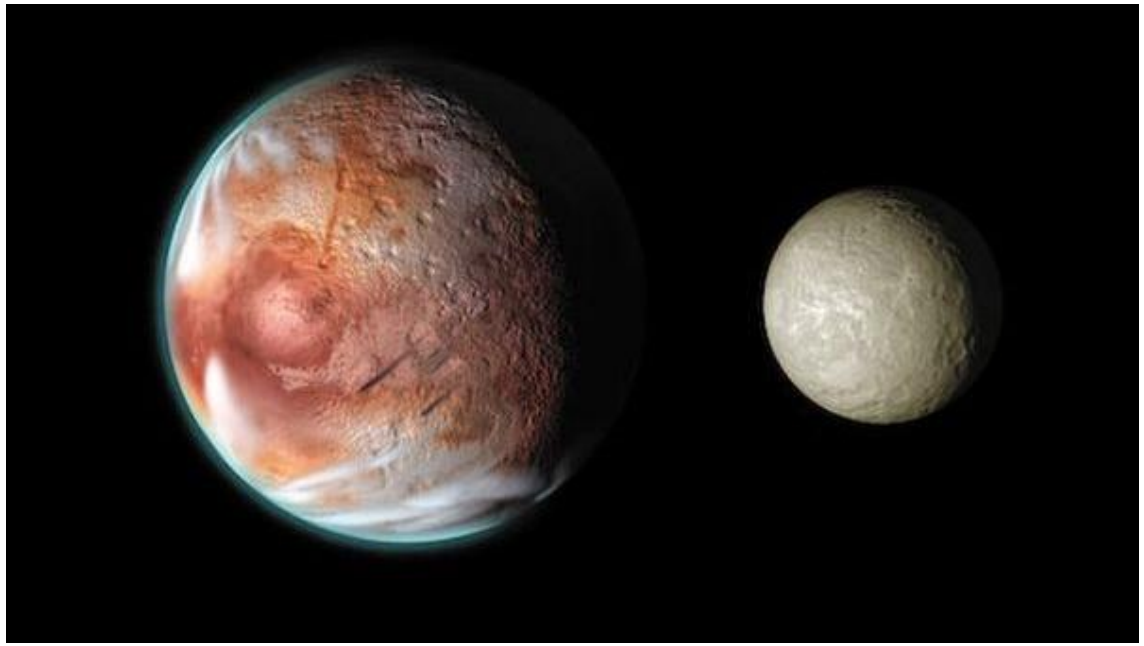


Поверхность Плутона: видны горы и равнина



Поверхность Плутона: равнина

Плутон и Харон. Составное фото из двух кадров

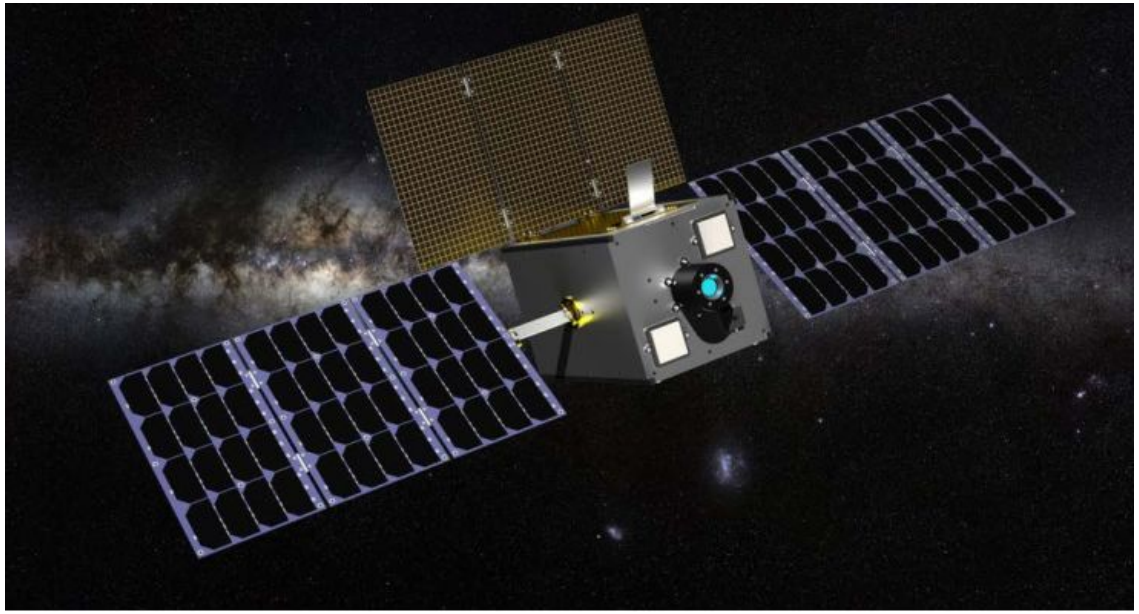


Пояс Койпера

Межпланетные миссии наноспутников: M-ARGO(Miniaturized Asteroid Remote Geophysical Observer)

Анализ потенциальных целей для миссии:

Designation	a [AU]	r_a [AU]	r_p [AU]	e	i [°]	H	ΔV [km/s]	m_P [kg]
2012 UV136	1.008	1.148	0.868	0.14	2.21	25.5	3.17	2.2
2014 EK24	1.006	1.077	0.935	0.07	**4.81**	23.3	3.92	2.50
1996 XB27	1.189	1.258	1.120	0.06	2.47	21.7	3.62	2.32
YORP	1.006	1.238	0.775	0.23	1.60	22.7	6.74	4.10
2013 BS45	0.992	1.075	0.909	0.08	0.77	25.9	1.88	1.31
2016 FU12	1.003	1.170	0.836	0.17	2.06	26.9	2.7	1.88
2011 MD	1.056	1.095	1.017	0.04	2.45	28.0	3.19	2.17

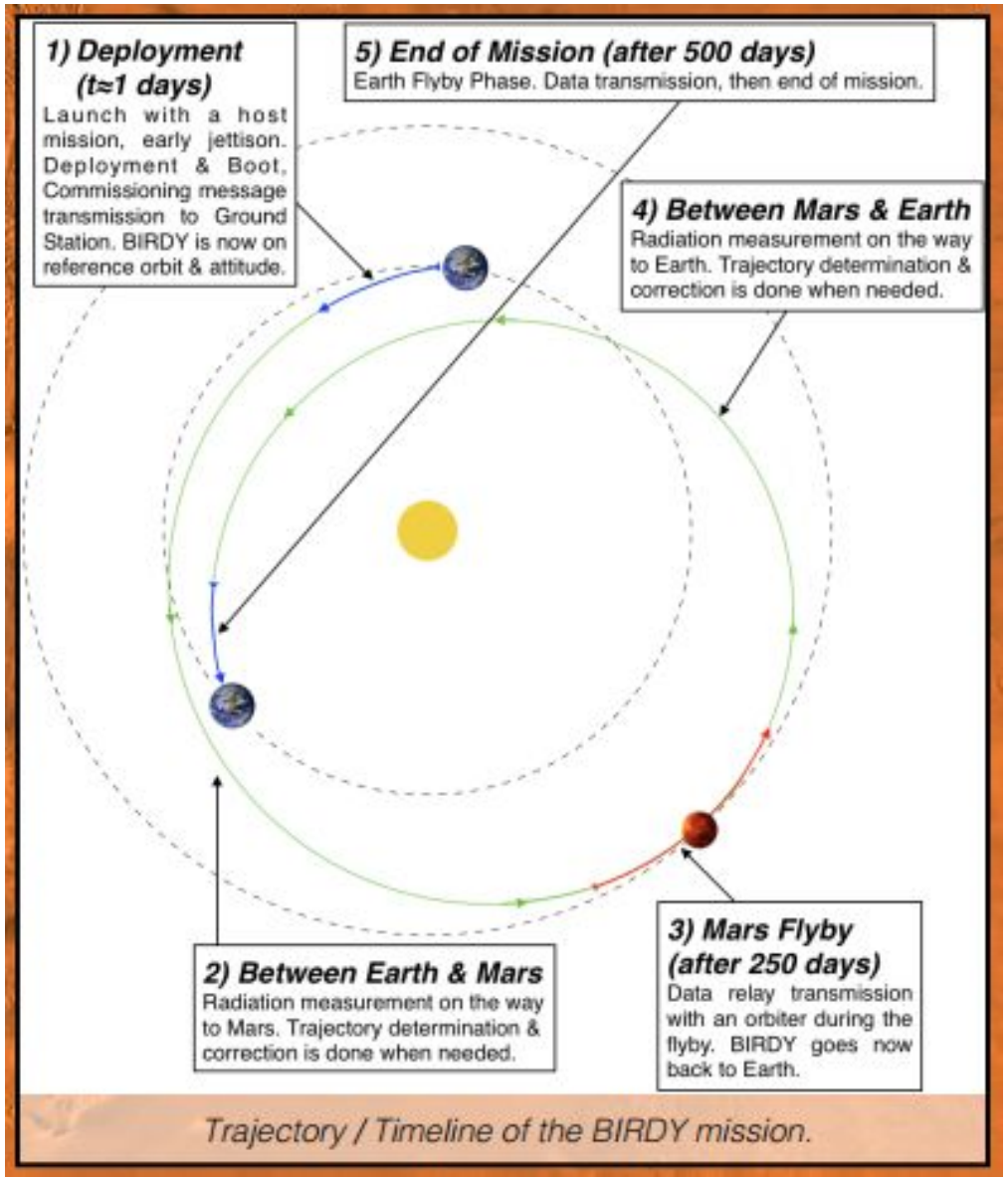


Запуск: 2021 год
Агентство: ESA
Бюджет: 25 млн евро
Форм-фактор: 12U
Возможные цели миссии:

1) Непосредственное исследование астероида
2) Наблюдение солнечной активности в L5

Форм-фактор	12U
Полезная нагрузка	1U
Управление движением	Ионный двигатель(2.8 кг Xe); 3 маховика; 8 двигателей РСУ
Энергетическая установка	Li-ion батареи, 6U фиксированная солнечная батарея, две развёртываемых батарей 6U*3
Терморегуляция	Радиатор и нагревательные элементы

Межпланетные миссии наноспутников:
BIRDY – Bleeping Interplanetary Radiation Determination Yo-yo

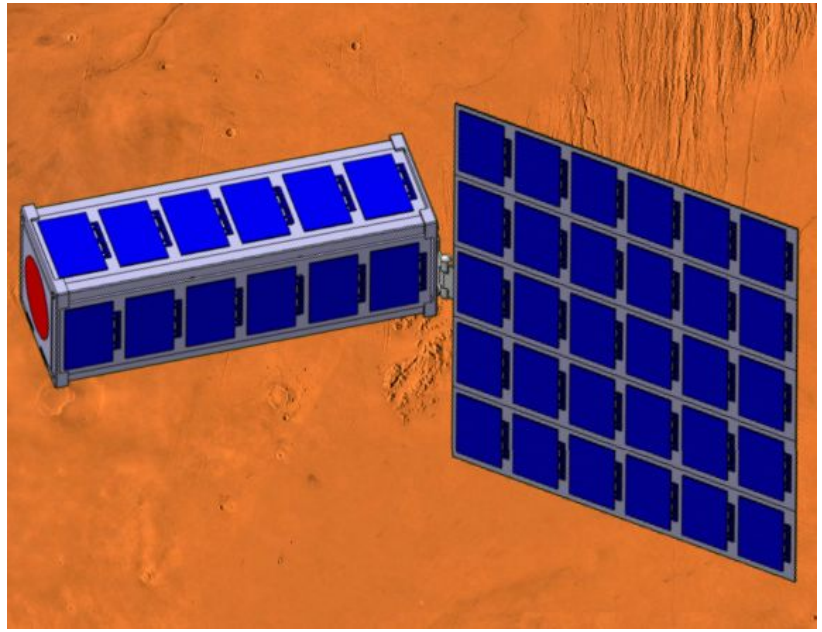


Миссия BIRDY:

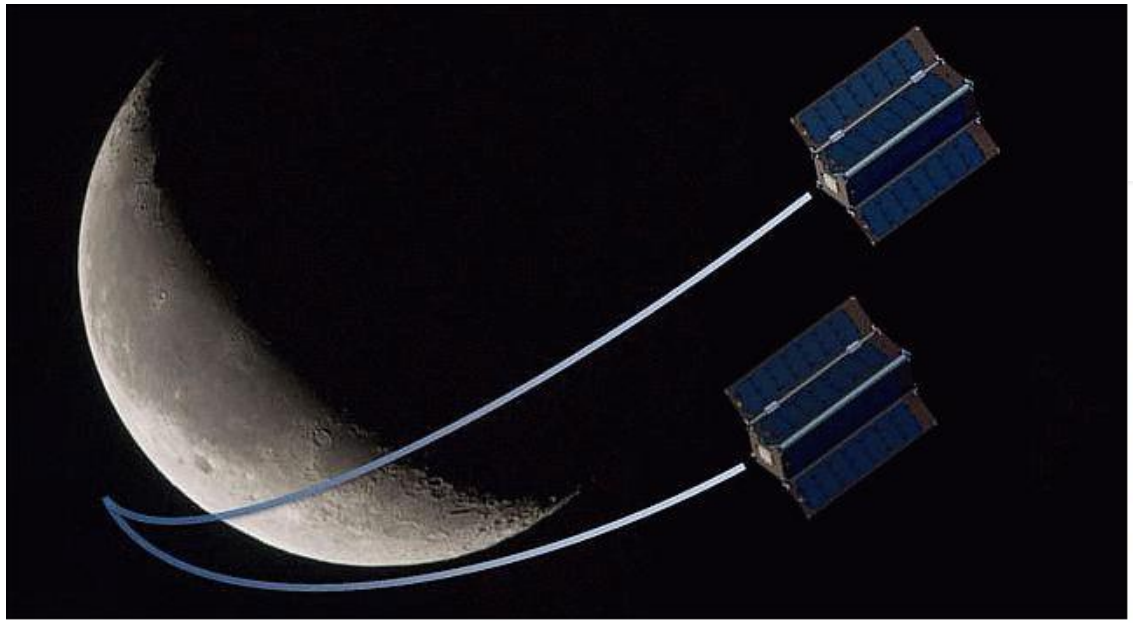
1) Изучение радиационной обстановки и фиксирование высокоэнергетических частиц в космическом пространстве между Марсом и Землёй

2) Создание автономной системы навигации, которая будет поддерживать курс КА

Форм-фактор: 3U
Год: 2020
National Cheng Kung University(Тайвань)

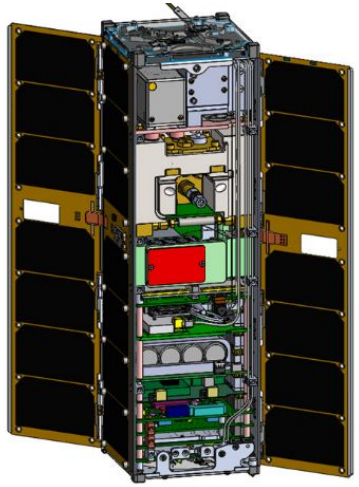


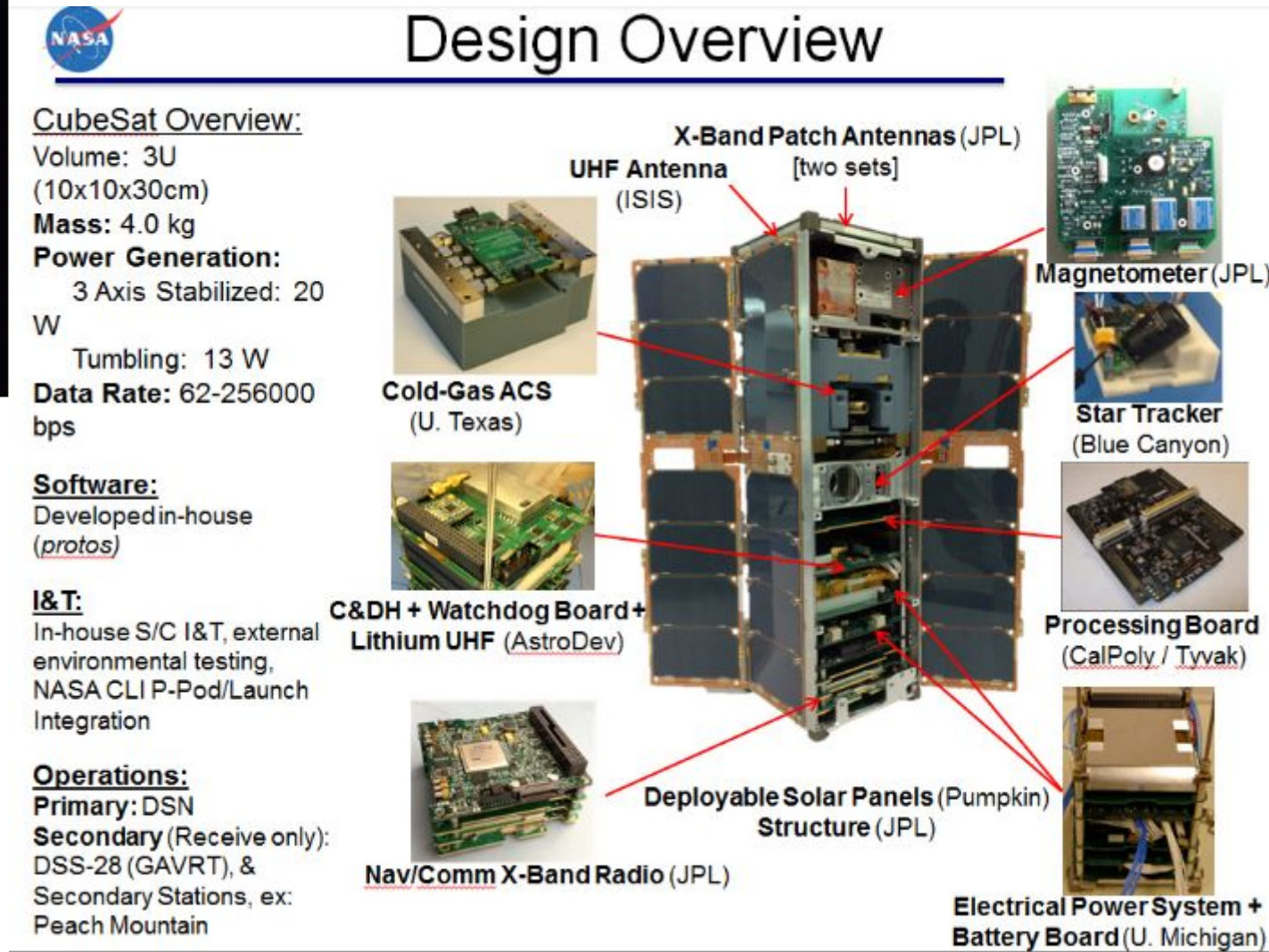
Межпланетные миссии наноспутников:
INSPIRE - (Interplanetary Nano-Spacecraft Pathfinder in Relevant Environment)



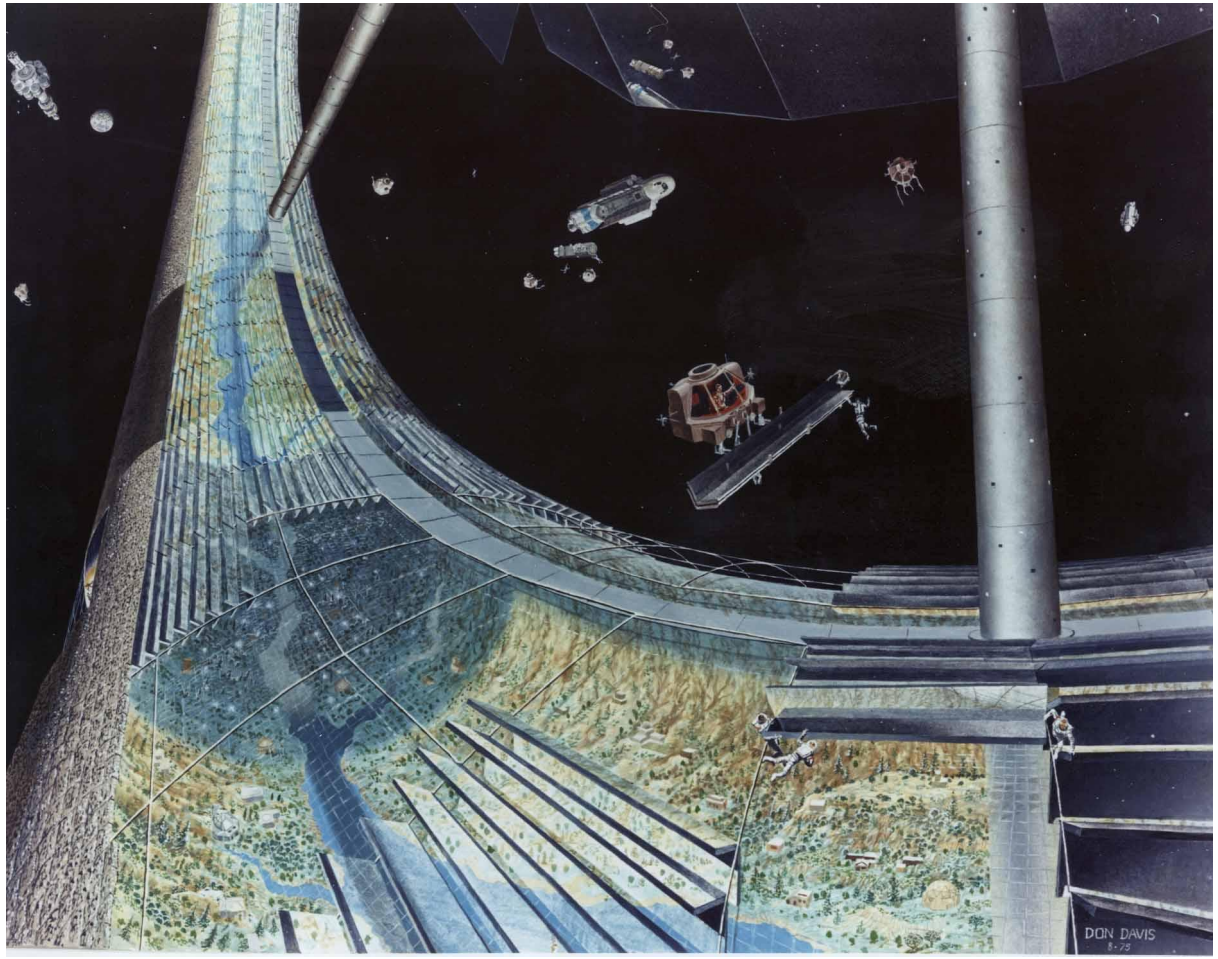
Форм-фактор: 3U
Запуск: 2017
Организация: JPL.
Задачи миссии:

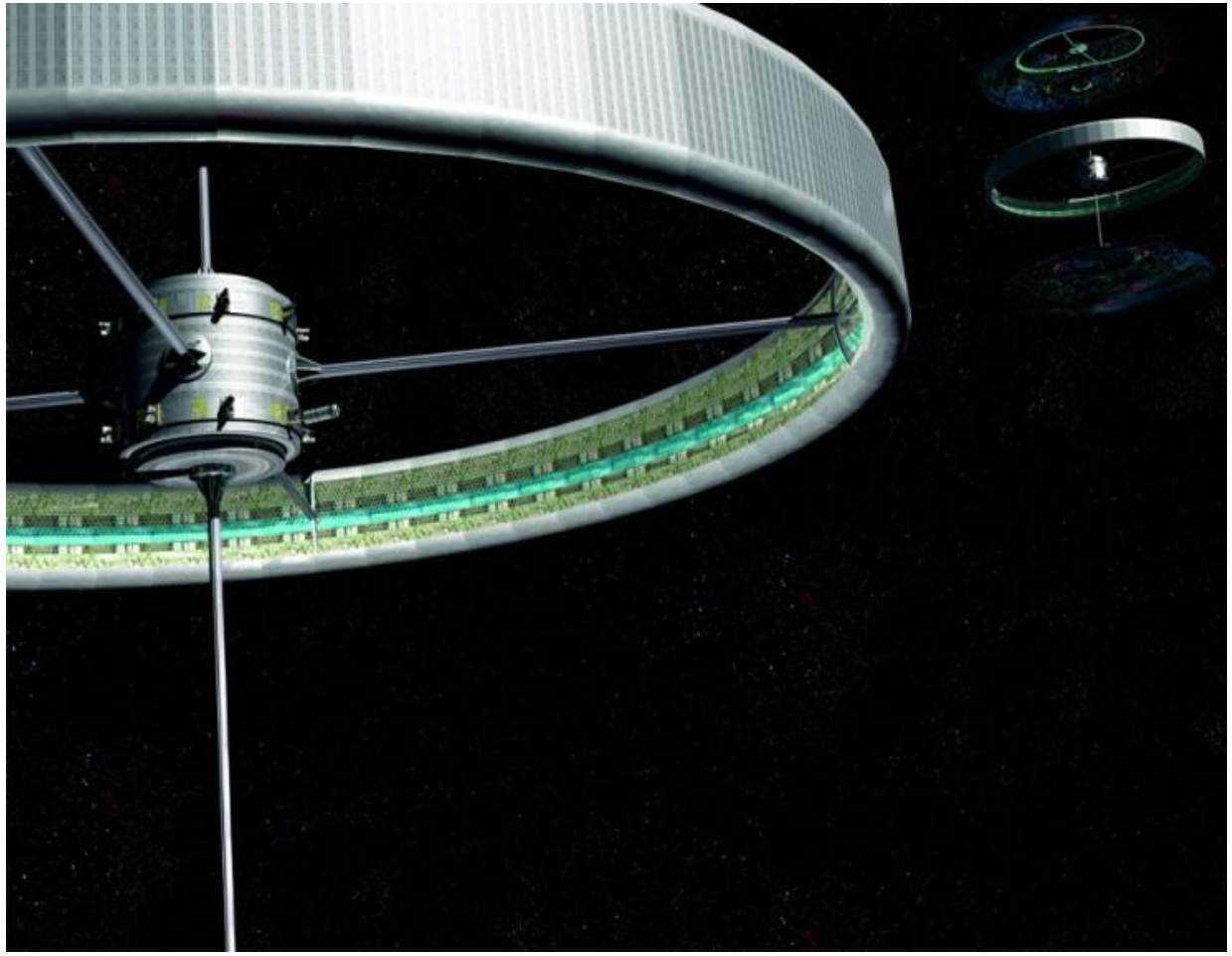
1) Показать возможность и протестировать ключевые технологии в управлении кластером КА в дальнем космосе
2) Продемонстрировать возможность использования на таких аппаратах научной





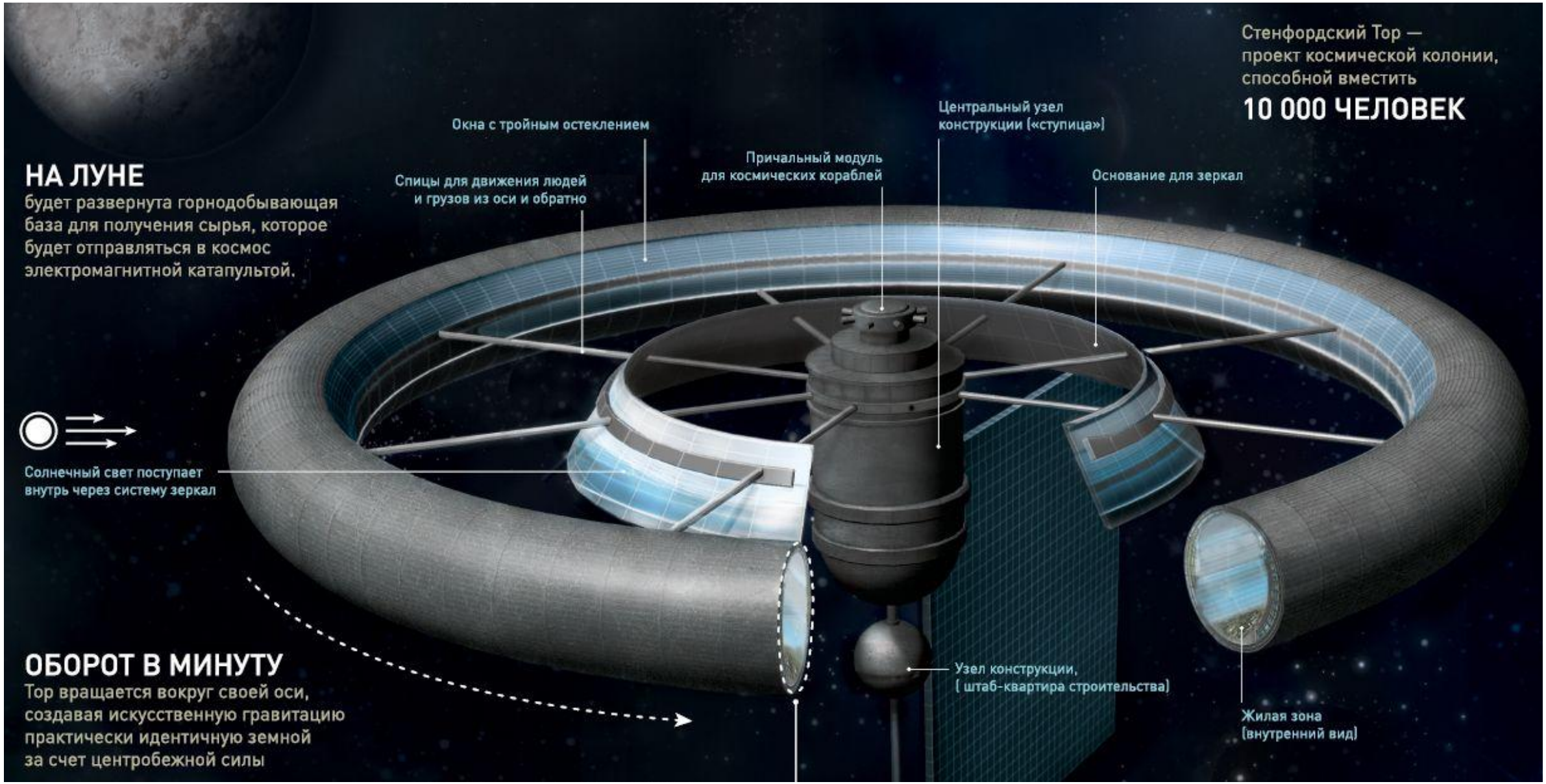
Проект станции «Стэнфордский тор»



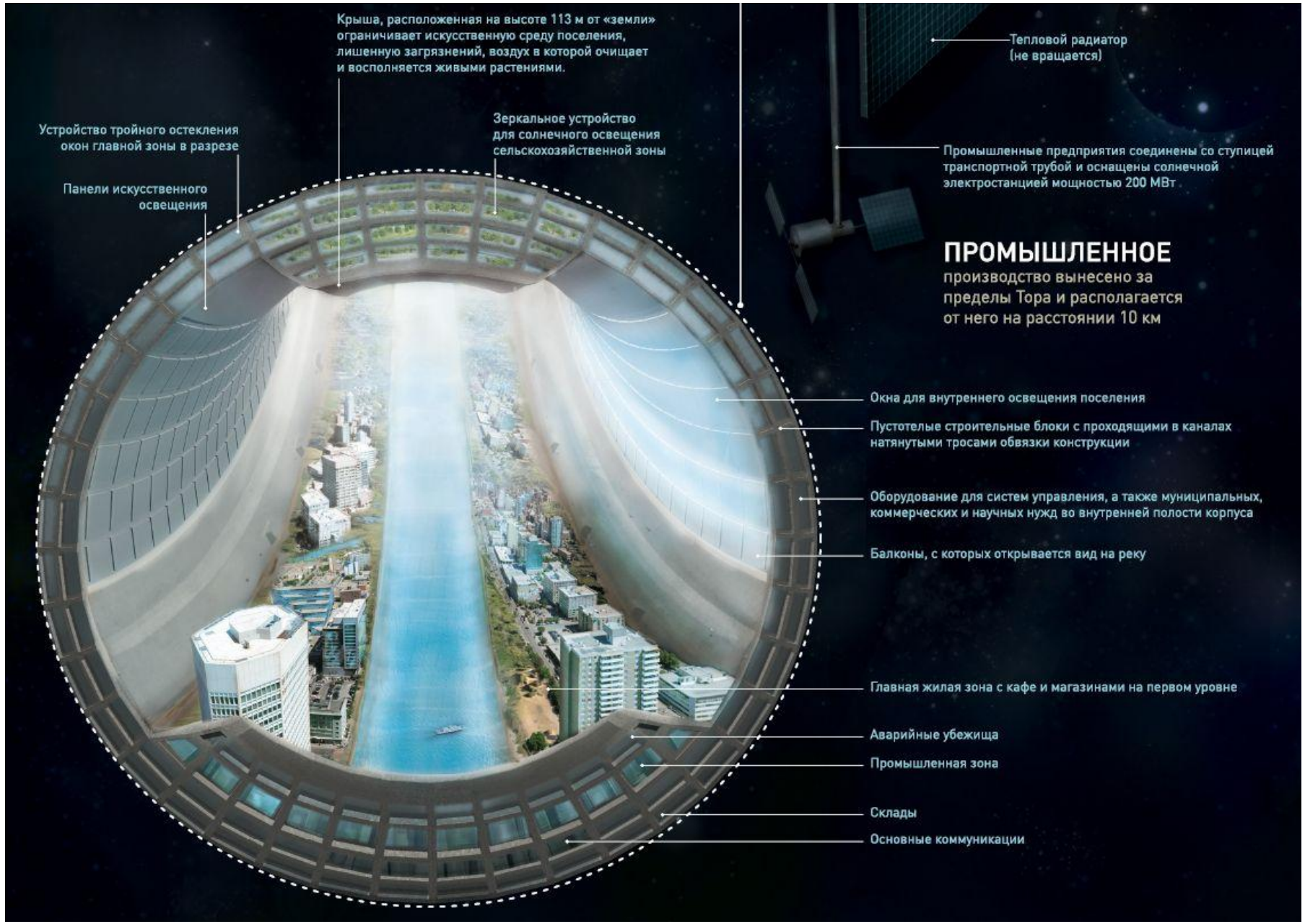


Разработанный в 1975-м году при поддержке NASA в Университете Стэнфорда, “The Stanford Torus” предлагает концепт космического поселения в форме вращающегося кольца диаметром в милю, которое может вместить до 10 тыс. жителей.

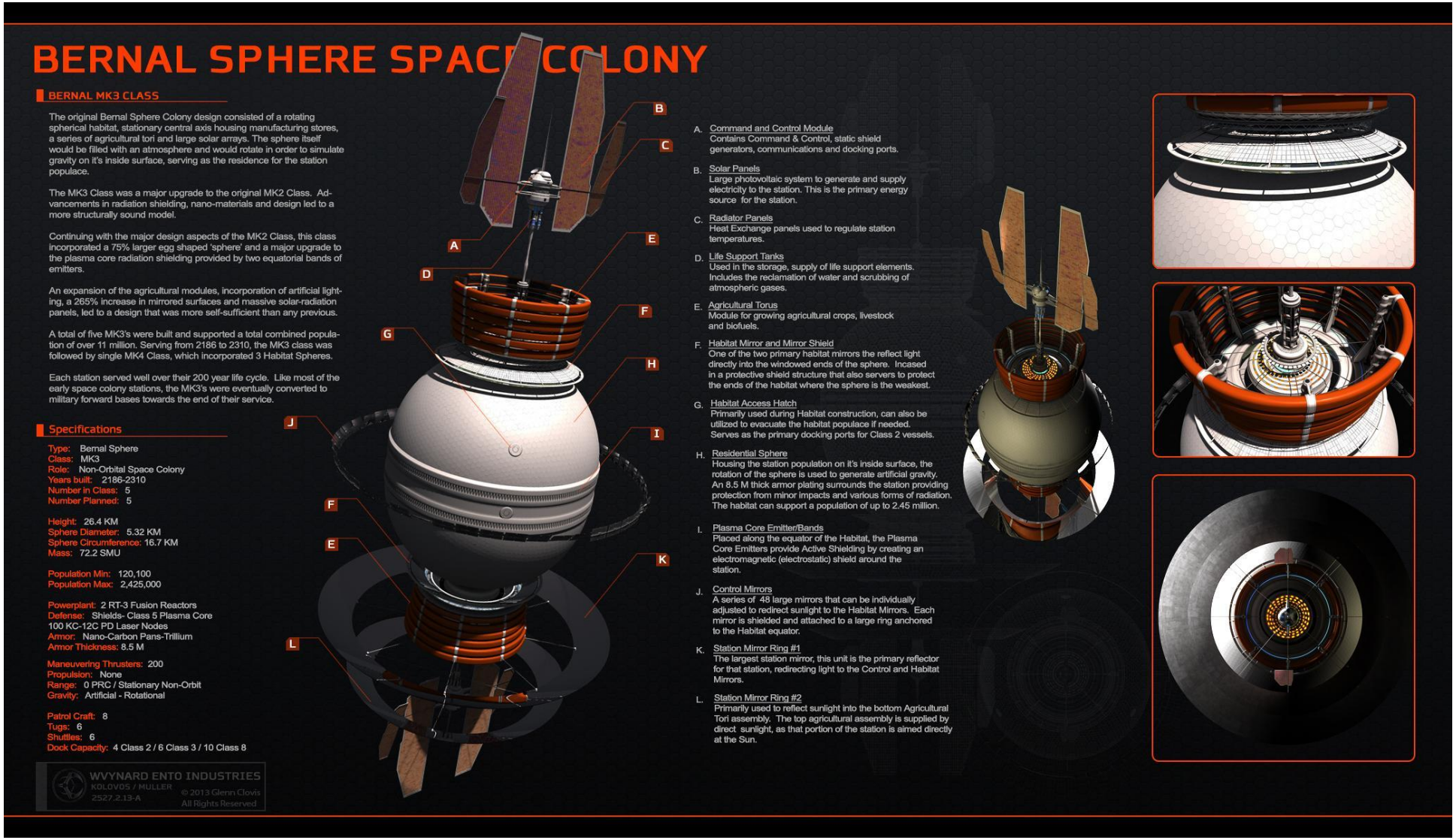
Проект станции «Стэнфордский тор»



Проект станции «Стэнфордский тор»

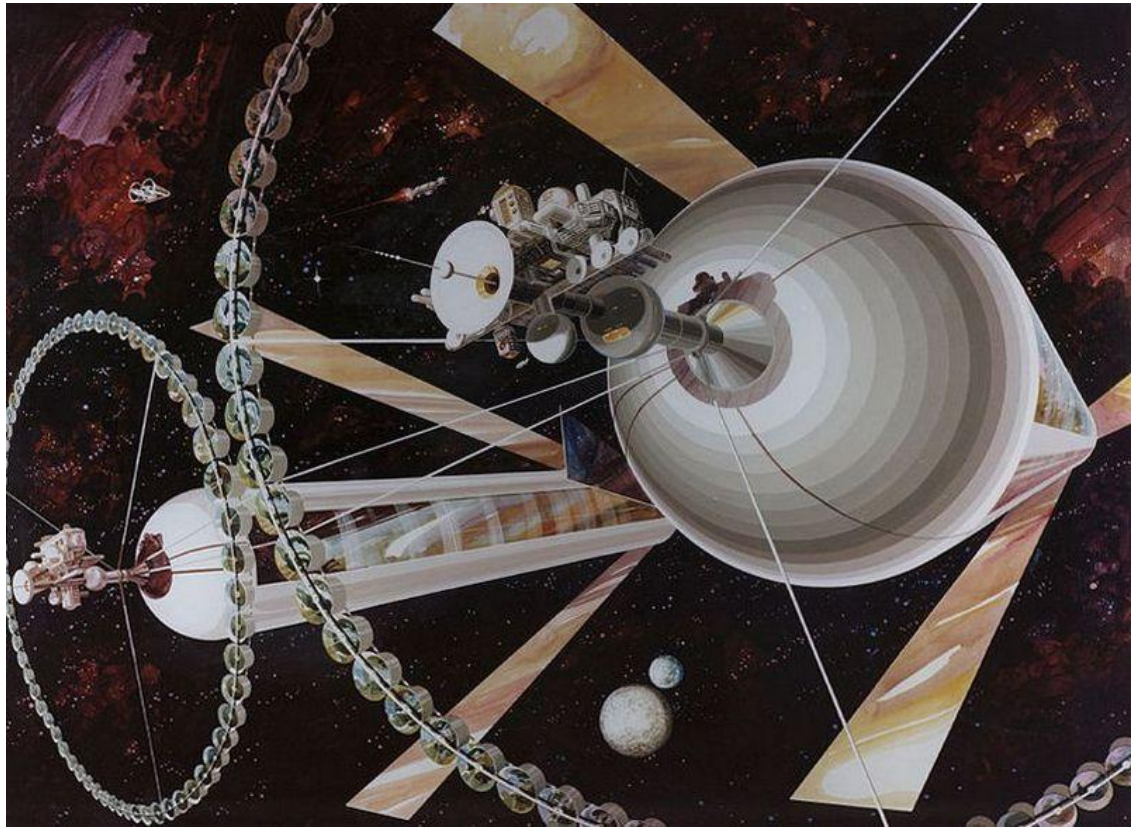


Проект сферы Бернала



Проект космического поселения, разработанный в 1929 году физиком Джоном Берналом. В первоначальном проекте Бернала сфера с диаметром 16 км должна вместить в себя от 20000 до 30000 человек. Гравитация на станции должна быть создана за счет вращения сферы, которая будет наполнена воздухом как на Земле.

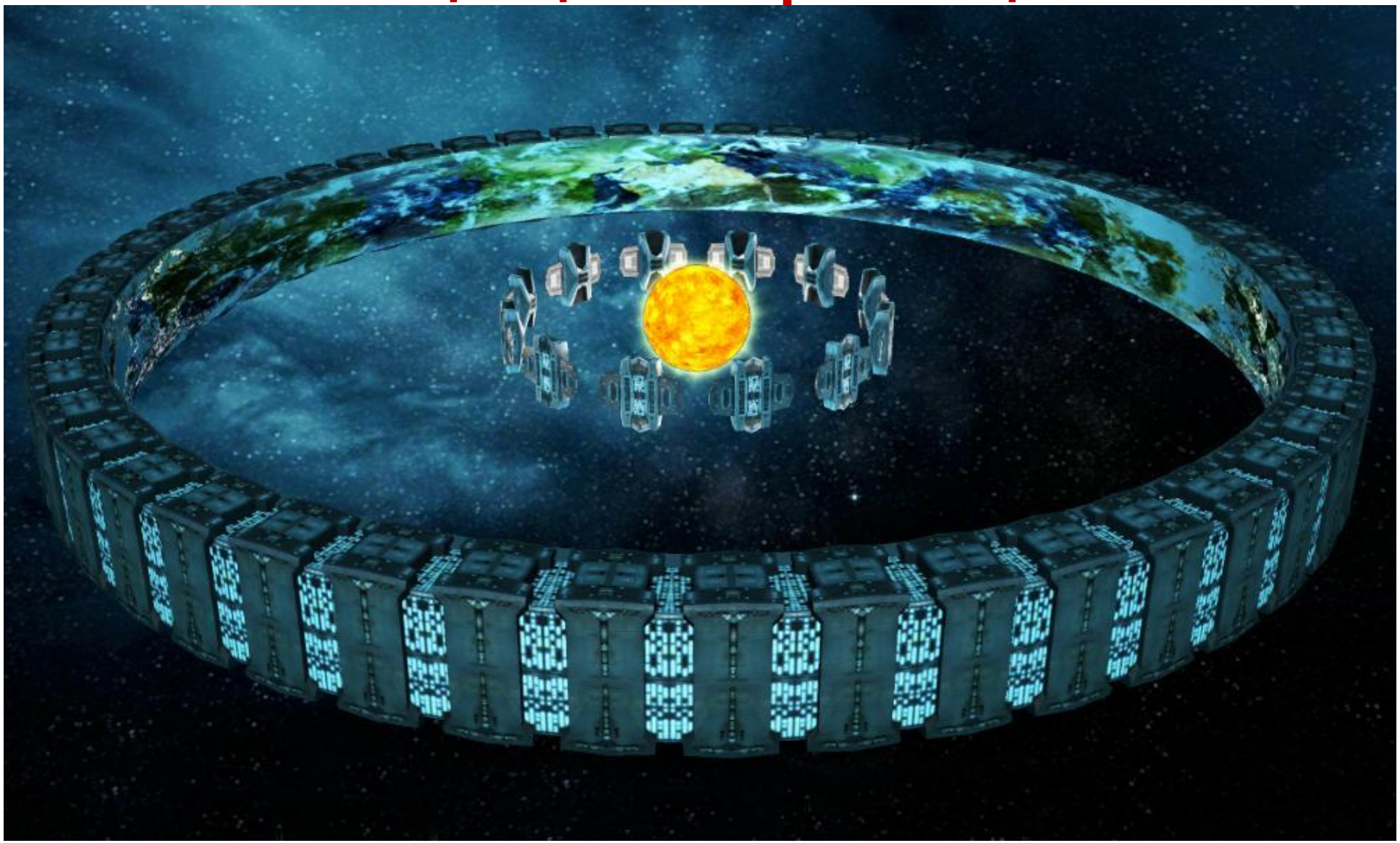
Проект цилиндра О’Нилла



Он же Остров III, проект космического поселения, созданный физиком Джерардом О’Ниллом в начале 70-х годов. Является усовершенствованной сферой Бернала. Суть проекта: 2 цилиндра с диаметром в 8 км и длиной 32 км, состоящих каждый из трех обитаемых полос разделенных тремя прозрачными полосами для попадания солнечного света. Цилиндры должны вращаться со скоростью 40 оборотов / час, создавая при этом за счет центробежной силы земную гравитацию на внутренней поверхности цилиндров.

Атмосфера в цилиндрах должна быть с давлением, равным половине земного. Состав атмосферы должен состоять из 40 % кислорода и 60 % азота. Такая атмосфера будет защищать обитателей цилиндров от космических лучей. Кроме того, О’Нилл продумал систему смены дня и ночи, отдельные зоны для ведения сельского хозяйства, а также полные обороты цилиндров без использования реактивной тяги, а за счет движения по орбите.

Концепция «Мир-кольцо»



Это искусственное кольцо с радиусом, примерно равным радиусу орбиты Земли. Звезда находится в центре кольца, которое вращается, чтобы обеспечить искусственную гравитацию. Масса подобного кольца оценивается равной суммарной массе все планет в Солнечной системе. Если такая структура будет построена, то она сможет обеспечить людям огромную жилую поверхность на своей внутренней стороне.

Концепция сферы Дайсона

Сфера Дайсона — гипотетический астроинженерный проект Фримена Дайсона, представляющий собой относительно тонкую сферическую оболочку большого радиуса (порядка радиуса планетных орбит) со звездой в центре. Предполагается, что технологически развитая цивилизация может применять подобное сооружение для максимально возможного использования энергии центральной звезды и/или для решения проблемы жизненного пространства. Согласно теоретическим расчётам, для сооружения сферы Дайсона вокруг Солнца необходимо вещество с массой порядка массы Юпитера.

Перспективы терраформирования планет и спутников Солнечной системы

Луна

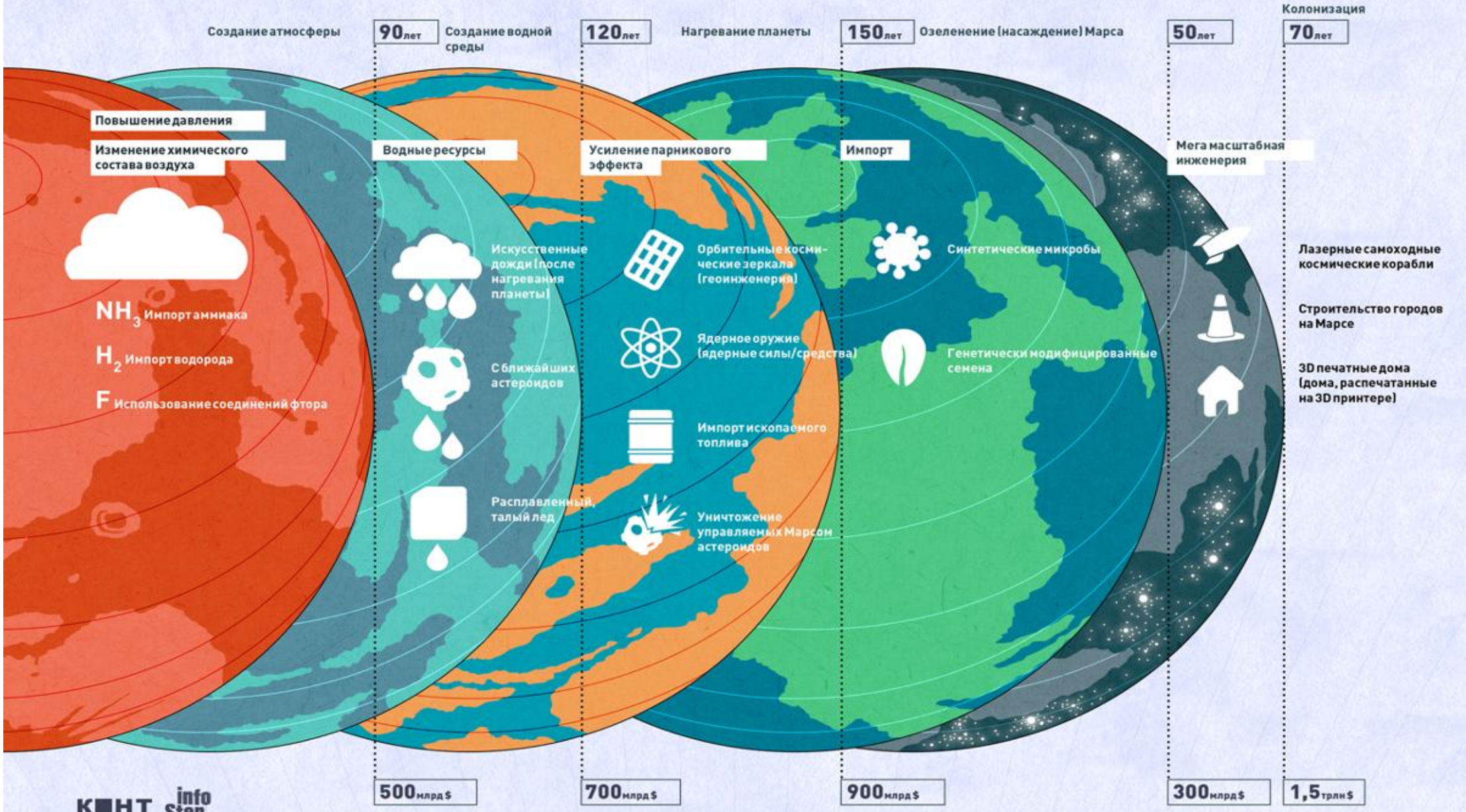
Луна, вид с Земли

Бомбардировка астероидами: водно-аммиачные льды.

Биогенное воздействие: введение земных бактерий и водорослей, устойчивых в первичной искусственной атмосфере Луны и условиях жёсткой солнечной радиации.

Терраформированная Луна, вид с Земли; рисунок художника

Терраформирование Марса



THE GREEN MARS

Terraforming of Mars

Building up the atmosphere

- Increasing the pressure
- Changing air chemical composition
  - Importing ammonia
  - Importing hydrocarbons
  - Importing hydrogen
  - Using fluorine compounds

Building up water content

- Water sources
  - Melted ice
  - From nearby asteroids
  - Artificial rains (after heating up the planet)

Heating up the planet

- Enhancing greenhouse effect
  - Orbiting space mirrors
  - Nuclear weapons
  - Imported fossil fuels
  - Guided asteroids to hit Mars

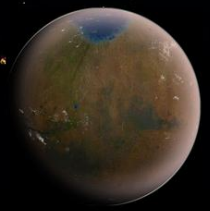
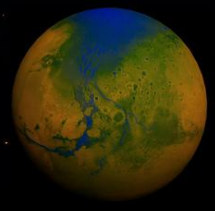
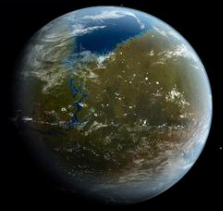
Planting Mars

- By importing
  - Synthetic microbes
  - Genetically engineered seeds

Mars colonization

- Megascale engineering
  - Laser-propelled spaceships
  - Building cities on Mars
  - 3D printed homes

DURATION	90 Years	120 Years	150 Years	50 Years	70 Year
COST	500 Billion USD	700 Billion USD	900 Billion USD	300 Billion USD	1.5 Trillion USD

NASA NATIONAL GEOGRAPHIC Discovery CHANNEL

www.facebook.com/hashem.alghaili
h.biotechnology@ymail.com

Панорама Марса после терраформирования

Восход Юпитера над океаном терраформированной Европы

Космические путешественники на Тритоне

Спасибо за внимание!