

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)

# Наука 2.0: ИИ в управлении космическими полётами



Корянов Всеволод Владимирович

к.т.н., доцент, Заместитель заведующего кафедрой  
СМ-3 «Динамика управления полетом ракет и  
космических аппаратов» по научной работе, доцент  
МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
Победитель второго сезона Лиги Лекторов  
Всероссийского общества «Знание»

Москва, 02 марта 2023 г.



# План встречи

- Введение
- Немного теории
  - Кеплер. Основные элементы орбит.
  - Небесная сфера.
  - Точки весеннего и осеннего равноденствия.
  - Прецессия и нутация земной оси.
  - Виды орбит.
  - Гоман. Перемещение между орбитами.
  - Особые точки космоса.
- Путешествие в космос.
  - Луна
  - Марс
  - Фобос
  - Венера
  - Другие миссии в космосе.
- Возвращение на Землю

# 01

## Введение:

## Почему космос и космонавтика?



# Основные определения



## Искусственный интеллект

это свойство интеллектуальной системы выполнять те функции и задачи, которые обычно характерны для разумных существ. Это может быть проявление каких-то творческих способностей, склонность к рассуждению, обобщение, обучение на основании полученного ранее опыта и так далее.

### **Применительно к космическим приложениям в первую очередь должны развиваться: \***

- нейросетевые и другие технологии, обеспечивающие эффективное решение различных задач, связанных с обработкой больших массивов разнородной спутниковой информации, а также отдельных изображений и сигналов, в том числе на борту КА;
- экспертные и другие интеллектуальные системы реального времени, обеспечивающие повышение уровня автономности функционирования КА различного назначения;
- мультиагентные технологии автономного управления (в режиме самоорганизации) многоспутниковыми орбитальными группировками;
- интеллектуальные системы, обеспечивающие эффективную поддержку модельно-ориентированного проектирования космических систем и их компонентов;
- робототехнические средства, предназначенные для орбитального обслуживания КА и решения других задач.

\* А.Н. Балухто, А.А. Романов. Искусственный интеллект в космической технике: состояние, перспективы развития // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы 2019, том 6, выпуск 1, с. 65–75

# Основные определения



## Космос

Пространство, существующее за пределами Земли и ее атмосферы, а также между небесными телами.

## Космонавтика

Теория и практика навигации за пределами атмосферы Земли для исследования и освоения космического пространства при помощи автоматических и пилотируемых космических аппаратов. Другими словами, это наука и технология космических полётов.

## Космическая система

совокупность согласованно действующих и взаимосвязанных технических средств космического комплекса и наземного специального комплекса.

## Инженерия космических систем

Область космических технологий и проектирования космических аппаратов.



**В соответствии техническим описанием компетенции Worldskills Russia для данной компетенции необходимы теоретические знания по:**

## **Прикладной небесной механике**

Раздел астрономии, применяющий законы механики для изучения и вычисления движения небесных тел, в первую очередь Солнечной системы (Луны, планет и их спутников, комет, малых тел), и вызванных этим явлений (затмений и проч.).

6

## **Механике космического полета**

Представляет собой специальный раздел классической, Ньютоновской, механики и изучает движение естественных и искусственных небесных тел. Как правило, характерные размеры тел в задачах, с которыми имеет дело Механика космического полета, много меньше расстояний между ними.

Заместитель заведующего кафедры СМ-3 по научной работе, к.т.н., доцент

## Корянов Всеволод Владимирович



Окончил кафедру СМ-3  
«Динамика и управление  
полетом ракет и  
космических аппаратов»

Активно развивает научную  
школу по изучению динамики  
движения спускаемых  
аппаратов в атмосфере планет

Награжден медалью им. Ю.А.  
Гагарина «За заслуги перед  
космонавтикой» Федерации  
космонавтики России

Кафедра СМ-3 «Динамика и управление полетом ракет и космических аппаратов» входит в состав факультета «Специальное машиностроение» МГТУ им. Н.Э. Баумана, история которого уходит корнями в **1938 год**.

Особое место в истории становления ряда кафедр и научных школ факультета должно быть отведено людям, неразрывно связывающим свою жизнь с МВТУ и факультетом «Специальное машиностроение», «космическим первопроходцам»:



Главный конструктор космических систем  
Сергей Павлович  
Королёв



Выдающийся создатель ракетно-космической техники – академик  
Владимир Николаевич  
Челомей



Герой Социалистического Труда, академик АН СССР  
Владимир Павлович  
Бармин.



# Факультет «Специальное машиностроение»

13

кафедр факультета готовят специалистов и проводят научно-исследовательские работы

## Направления подготовки специалистов и научно-исследовательских работ



ракетно-космическая техника и технологии



вооружение, военная и специальная техника, системы противодействия терроризму

9



робототехнические, мехатронные, транспортные системы и глубоководные аппараты



# Кафедра СМЗ

«Динамика и  
управление полетом  
ракет и космических  
аппаратов»



организована **В 1941 году**  
под названием  
«Баллистика»



для обеспечения подготовки  
высококвалифицированных специалистов в  
области баллистического проектирования и  
эксплуатации артиллерийских систем.



Первым заведующим кафедры и ее основателем  
был:

**Владимир Евгеньевич Слухоцкий (1902-1976)**

действительный член Академии артиллерийских  
наук, генерал-майор, доктор технической наук,  
профессор.

**Основатель научной школы баллистики  
ствольных систем в МВТУ им. Н.Э. Баумана**



# Кафедра СМЗ

## «Динамика и управление полетом ракет и космических аппаратов»

### Специализации

Управление полетом автоматических и пилотируемых космических аппаратов

Проектная баллистика ракет и космических систем

Аэродинамика ракет и космических транспортных систем

- **36-48 человек** Ежегодный набор студентов на первый курс.

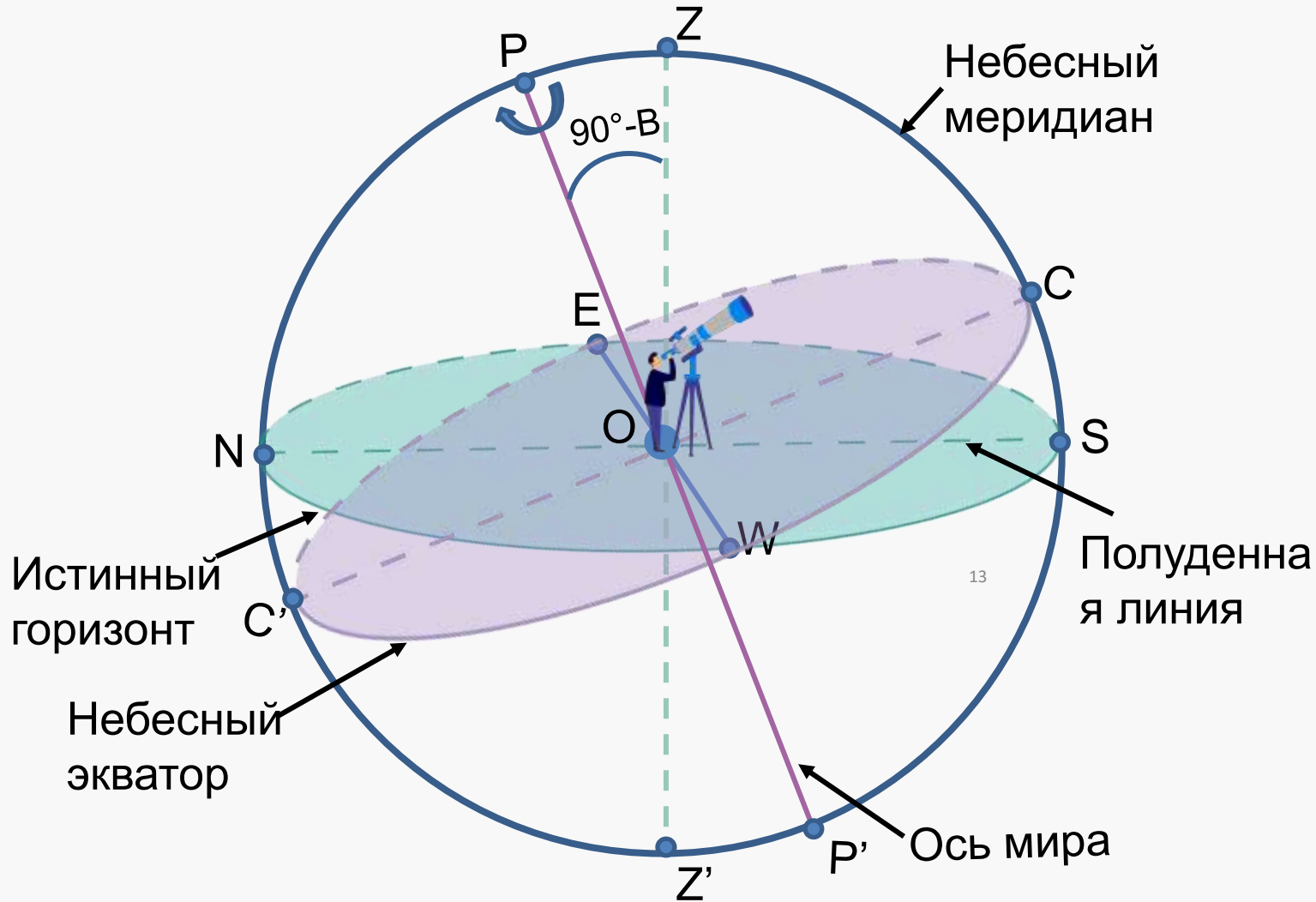
- **~220** Студентов обучается на данный момент по всем специализациям

01

Немного теории



# Небесная сфера. Основные обозначения



Z – зенит это точка пересечения вертикальной линии с небесной сферой (НС) над головой наблюдателя;  
Z' – надир это противоположенная точка на вертикальной линии.

N – точка севера – ближайшая точка к северному полюсу (P);

S – точка юга;

NS – полуденная линия – пересечение плоскости небесного и истинного горизонта;

P – северный полюс мира;

P' – южный полюс;

PP' – ось мира.

Угол между осью мира (PP') и вертикальной линией (ZZ') равен ( $90^\circ - B$ ),

где B- широта наблюдателя.

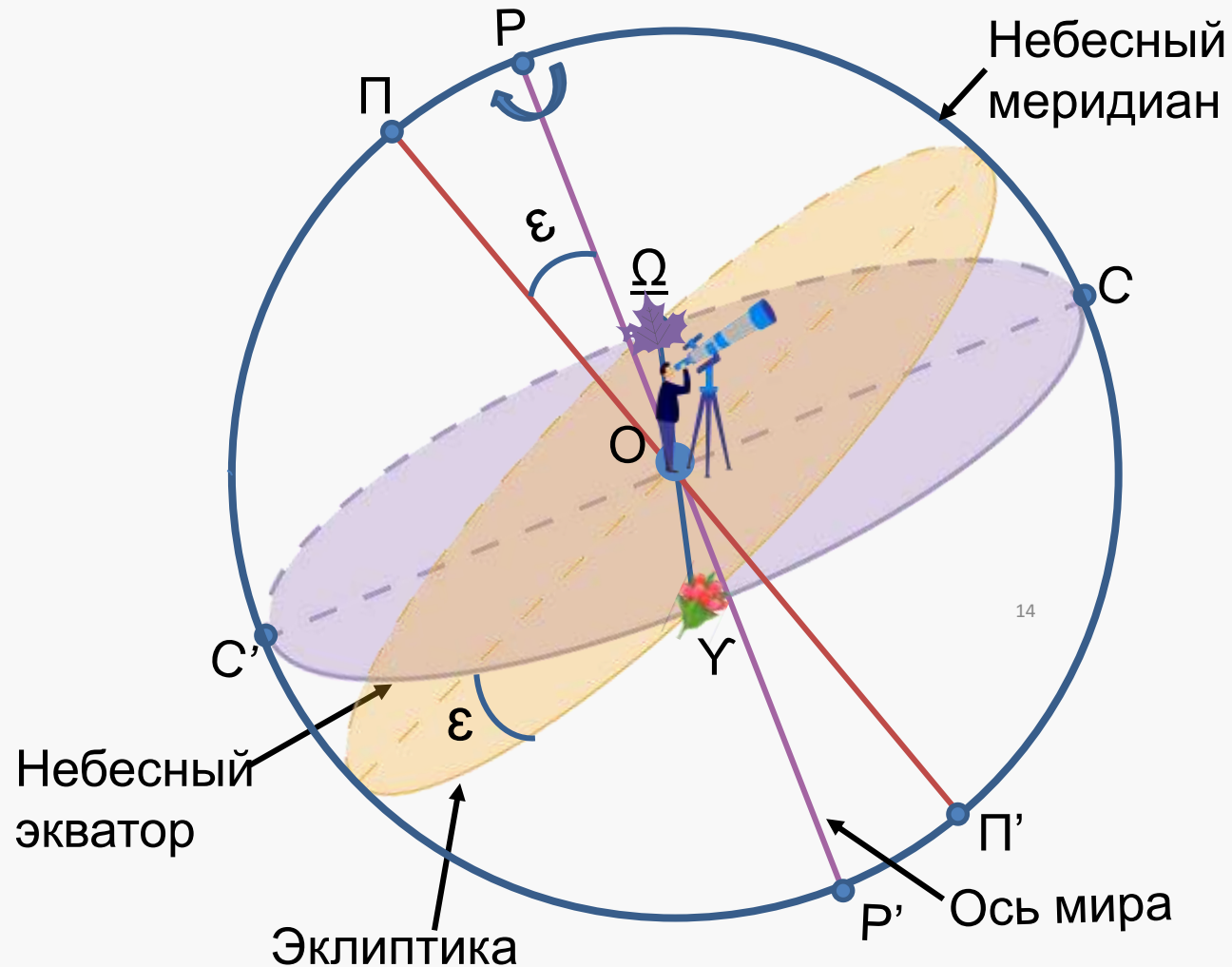
C – южная точка небесного экватора;

C' – северная точка небесного экватора.

E (East) – точка востока;

W (West) – точка запада;

# Точки весеннего и осеннего равноденствия



$P$  – северный полюс мира;

$P'$  – южный полюс;

$PP'$  – ось мира.

$C$  – южная точка небесного экватора;

$C'$  – северная точка небесного экватора.

$PP'$  – ось эклиптики, линия, проходящая через « $O$ » перпендикулярно плоскости эклиптики;

$\varepsilon$  - угол между плоскостями эклиптики и небесного экватора (или между осью мира и осью эклиптики).

$\gamma$  - точка весеннего равноденствия (ТВР) – точка пересечения эклиптики с небесным экватором, где Солнце переходит из южного полушария в северное.

Аналогично, точка осеннего равноденствия (ТОР) –  $\Omega$ .

# Определения

## Точка весеннего равноденствия

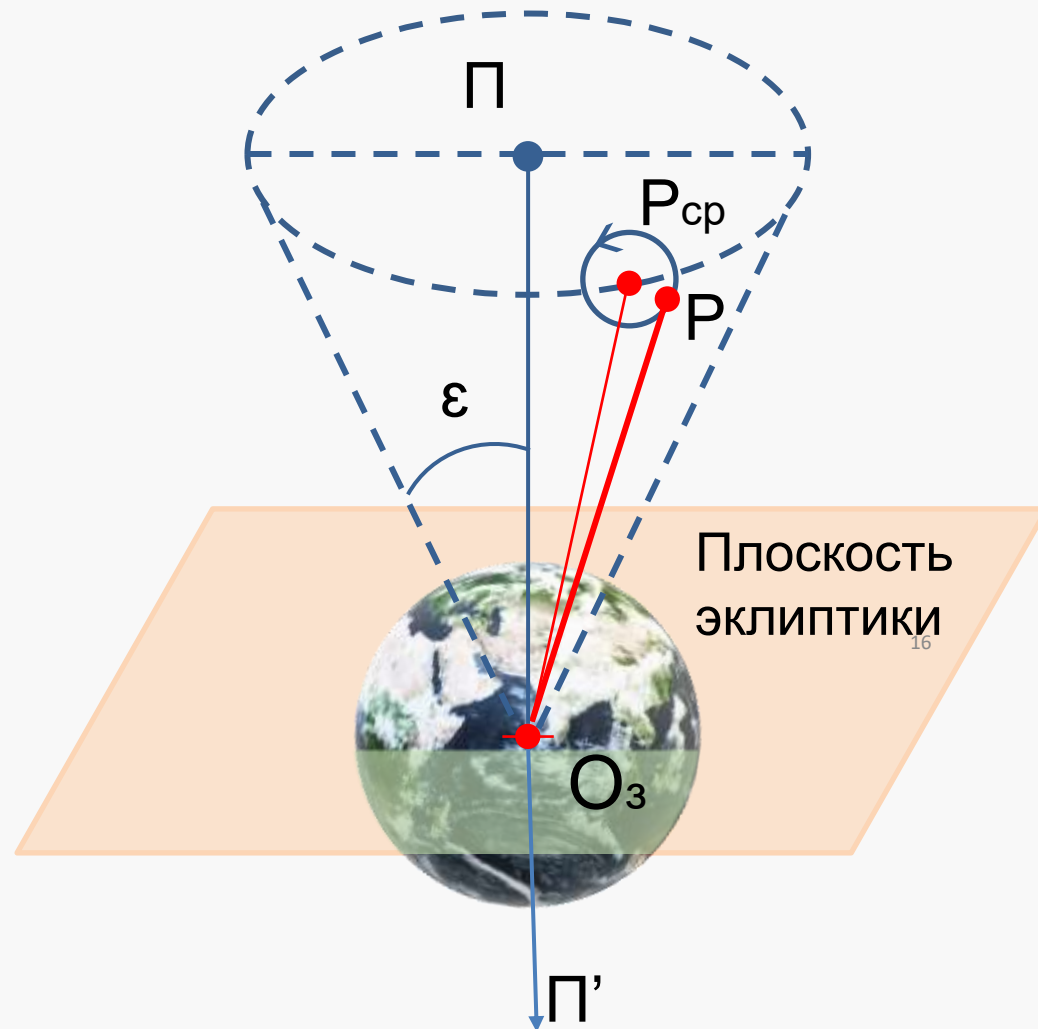
Точка пересечения эклиптики с небесным экватором, которую Солнце проходит при переходе из южного полушария в северное, около 21 марта. С этого момента в северном полушарии земного шара начинается весна. Эту точку принято обозначать знаком Овна  $\varnothing$ . От точки весеннего равноденствия ведется счет прямых восхождений небесных светил.

15

## Точка осеннего равноденствия

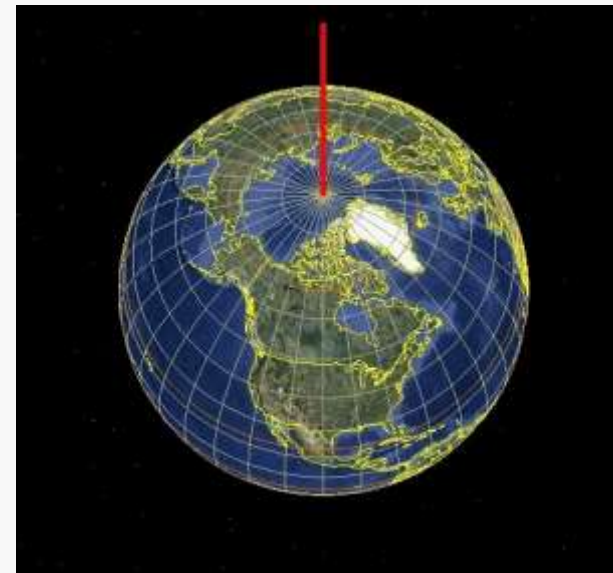
точка пересечения эклиптики с небесным экватором, которую Солнце проходит при переходе из северного полушария в южное, около 23 сентября, когда в северном полушарии земного шара начинается осень. Эту точку принято обозначать знаком Весы  $\Omega$

# Прецессия и нутация земной оси



$P_{cp}$  – средний полюс мира, определяемый только прецессионным движением, определяет плоскость среднего небесного экватора;

$P$  – истинный полюс мира, определяемый и прецессией и нутацией, определяет плоскостью истинного небесного экватора.



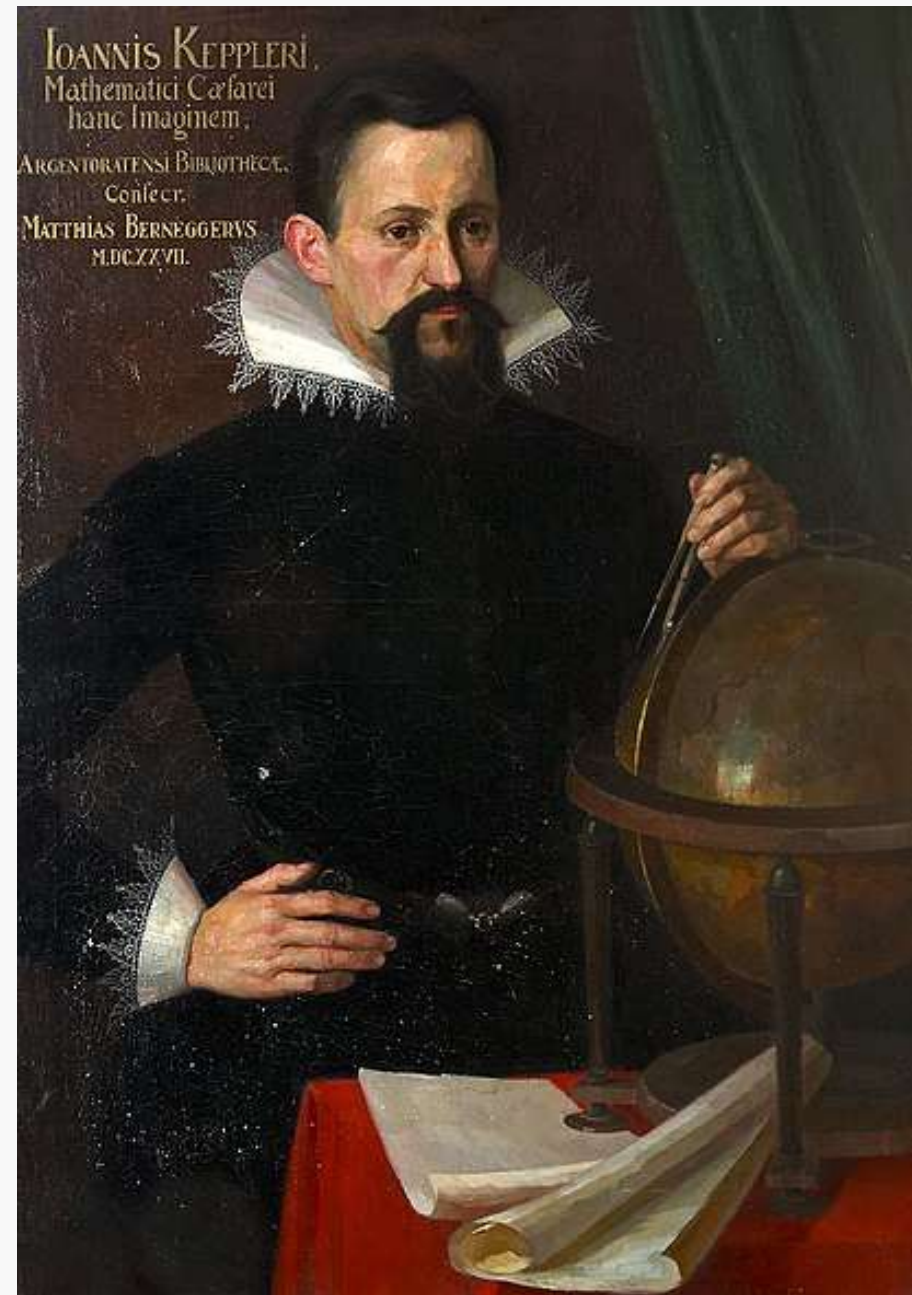


# Кто такой Кеплер?

Иоганн Кеплер (нем. Johannes Kepler)

- Годы жизни: 27 декабря 1571 года, Вайль-дер-Штадт — 15 ноября 1630 года, Регенсбург
- Немецкий математик, астроном, механик, оптик, первооткрыватель законов движения планет Солнечной системы.

Источник: Wikipedia



Портрет Кеплера в 1620 г., автор неизвестен

# Основные элементы орбиты

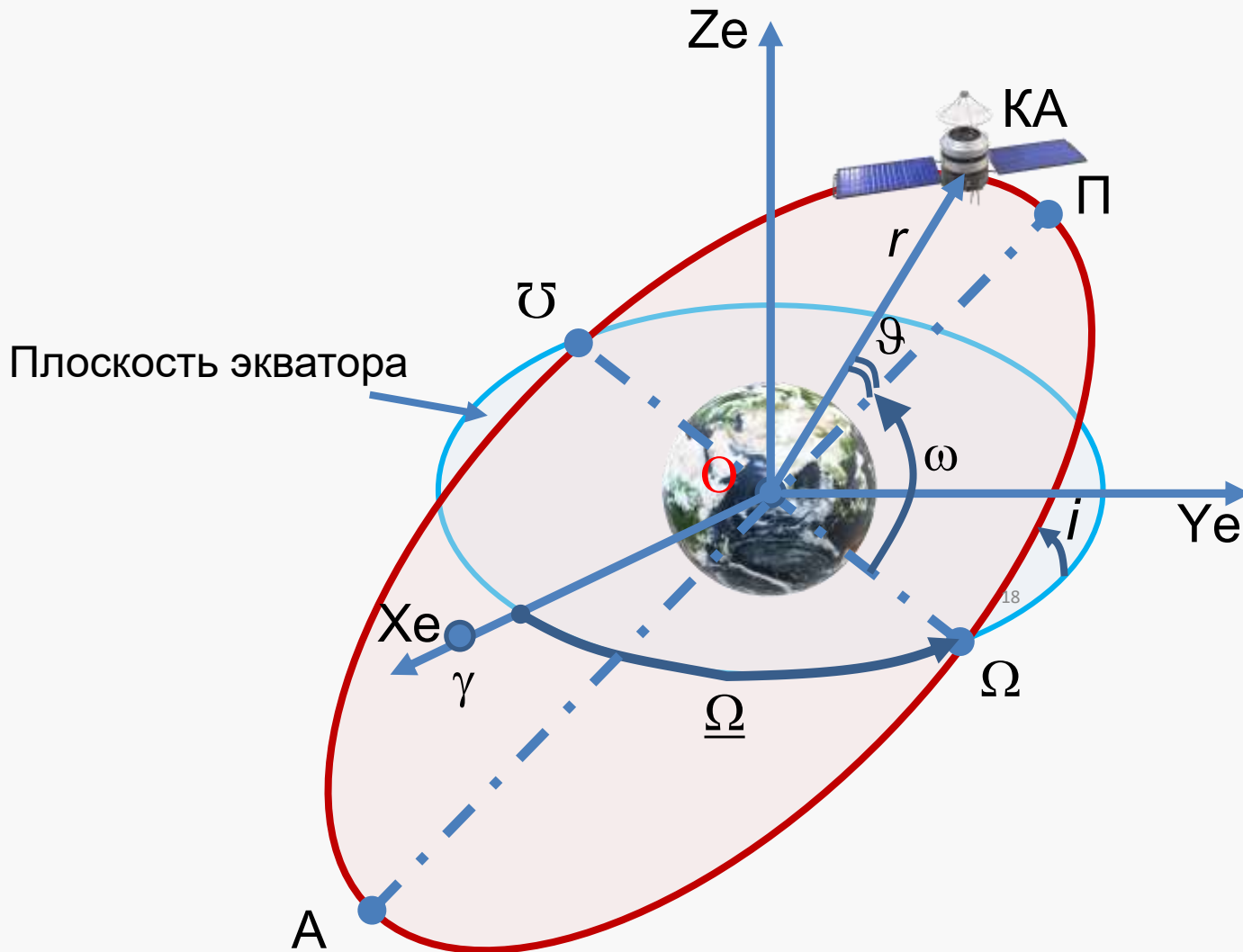


Рисунок 1а: Основные элементы орбиты

## Элементы орбиты:

$O X_e Y_e Z_e$  – геоцентрическая экваториальная инерциальная система координат

$\gamma$  – точка весеннего равноденствия

$\Omega$  – восходящий узел орбиты;

$\Upsilon$  – нисходящий узел орбиты;

$\Omega \Upsilon$  – линия узлов;

$i$  – наклонение орбиты

$\underline{\Omega}$  – долгота восходящего узла

A – апогей орбиты; П – перигей орбиты;

АП – линия апсид

$\omega$  – аргумент перигея

$r$  – текущий радиус положения на орбите

$\vartheta$  – истинная аномалия, отсчитываемая от перигея по направлению движения КА

КА

# Основные элементы орбиты

## Элементы орбиты:

A – апогей орбиты; П – перигей орбиты;

АП – линия апсид

$r$  - текущий радиус положения на орбите

$\omega$  – аргумент перигея

$\vartheta$  – истинная аномалия, отсчитываемая от перигея по направлению движения КА

$a$  – большая полуось

$b$  – малая полуось

$e$  – эксцентриситет;

$2ae$  – межфокусное расстояние

$p$  – параметр орбиты;

$V$  – вектор скорости;

$\theta$  – угол наклона вектора скорости к перпендикуляру радиуса

$\Omega$  - восходящий узел орбиты;

$\Upsilon$  – нисходящий узел орбиты;

$\Upsilon \Omega$  – линия узлов;

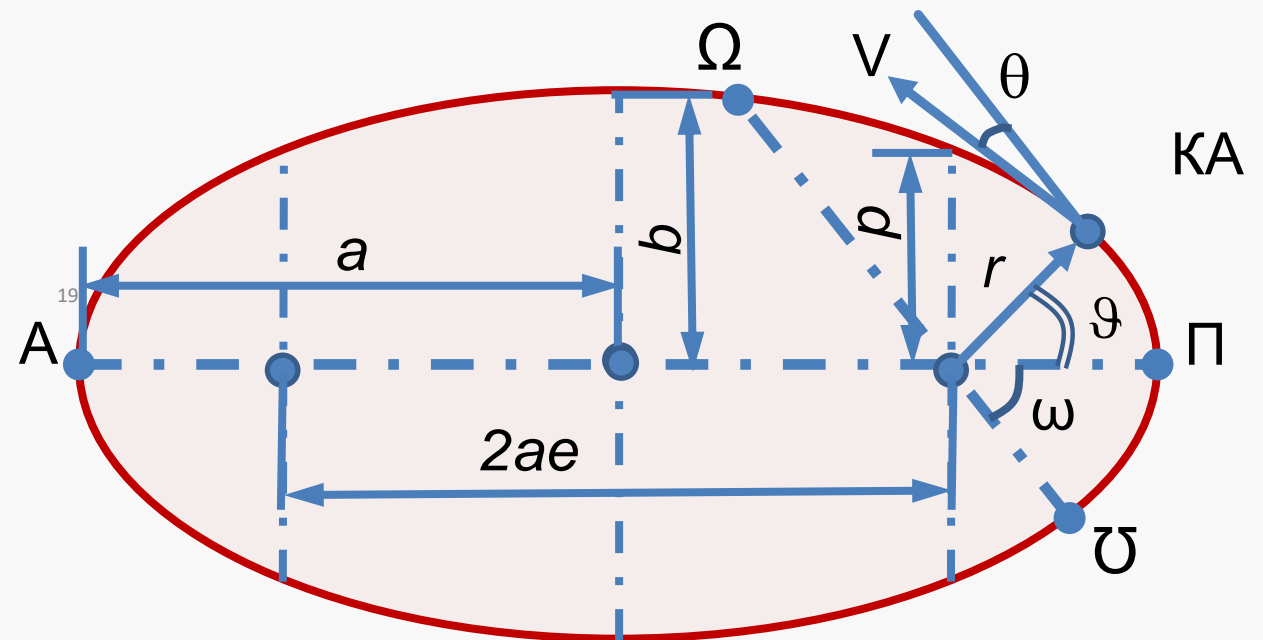


Рисунок 16: Основные элементы орбиты

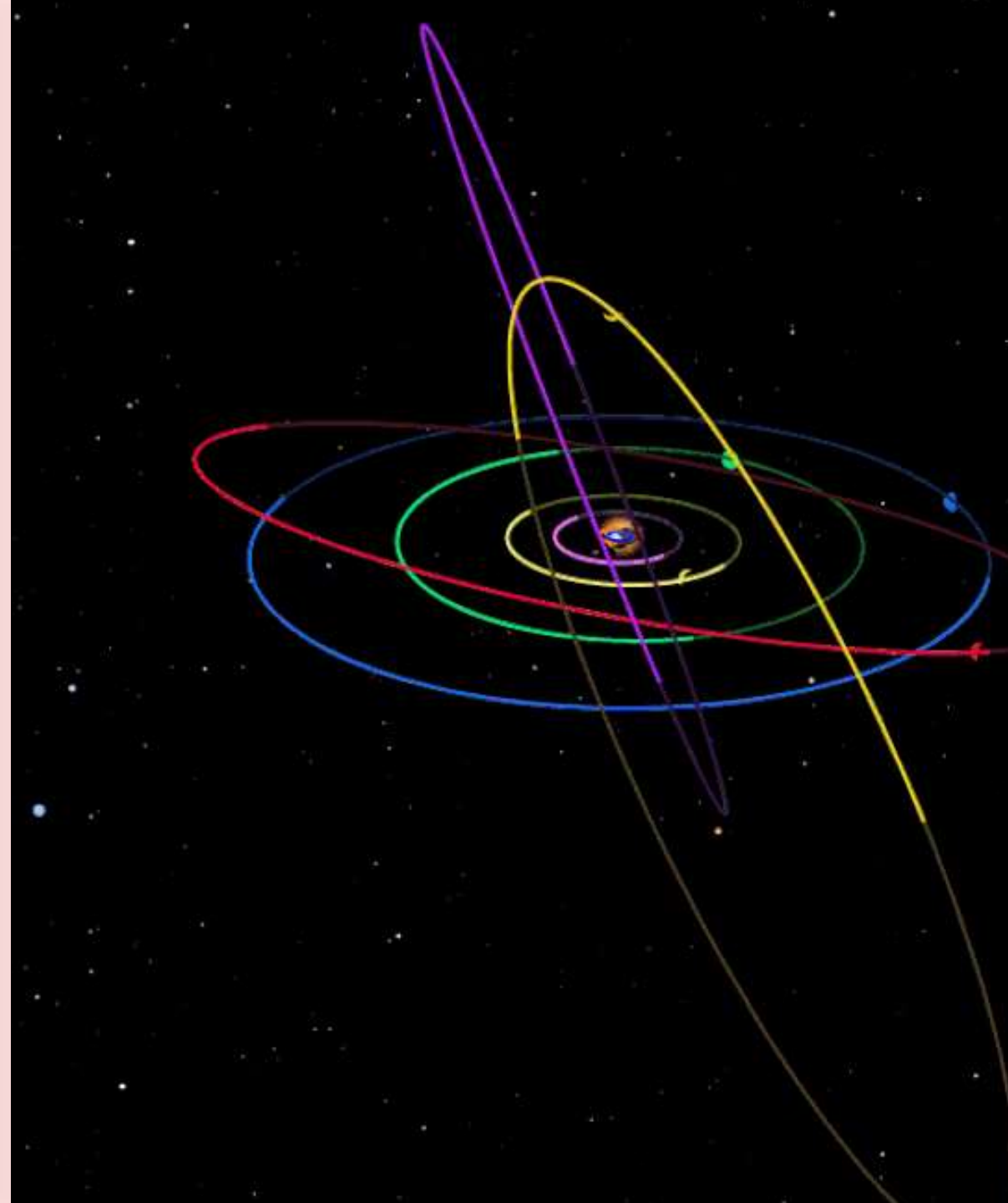
# Различные виды орбит

Проведем анализ возможных траекторий КА используя уравнение траектории в следующем виде:

$$r = \frac{p}{1 + e \cos \vartheta}$$

20

В зависимости от значения эксцентриситета орбиты ( $e$ ) различают следующие виды орбит



# Эллиптическая орбита

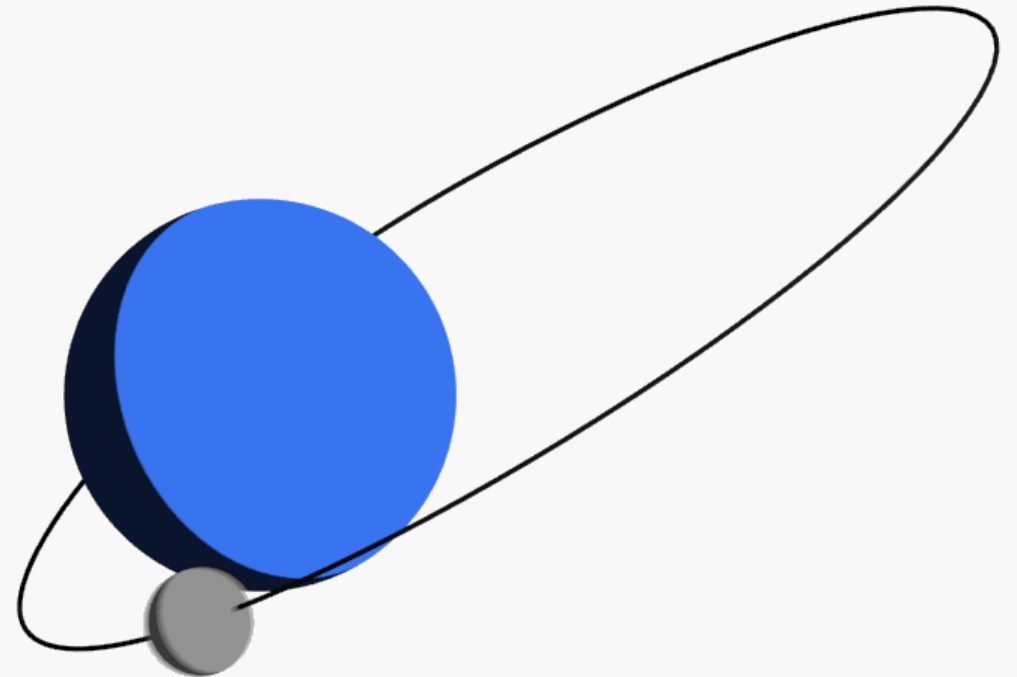
Эксцентриситет:  $0 < e < 1$

Большинство спутников Земли движутся по эллиптическим орбитам.

Скорость движения по эллиптической орбите (в перигее и апогее):

$$V_{\Pi} = \sqrt{\frac{\mu}{r_{\Pi}} (1 + e)}; \quad V_A = \sqrt{\frac{\mu}{r_A} (1 - e)}$$

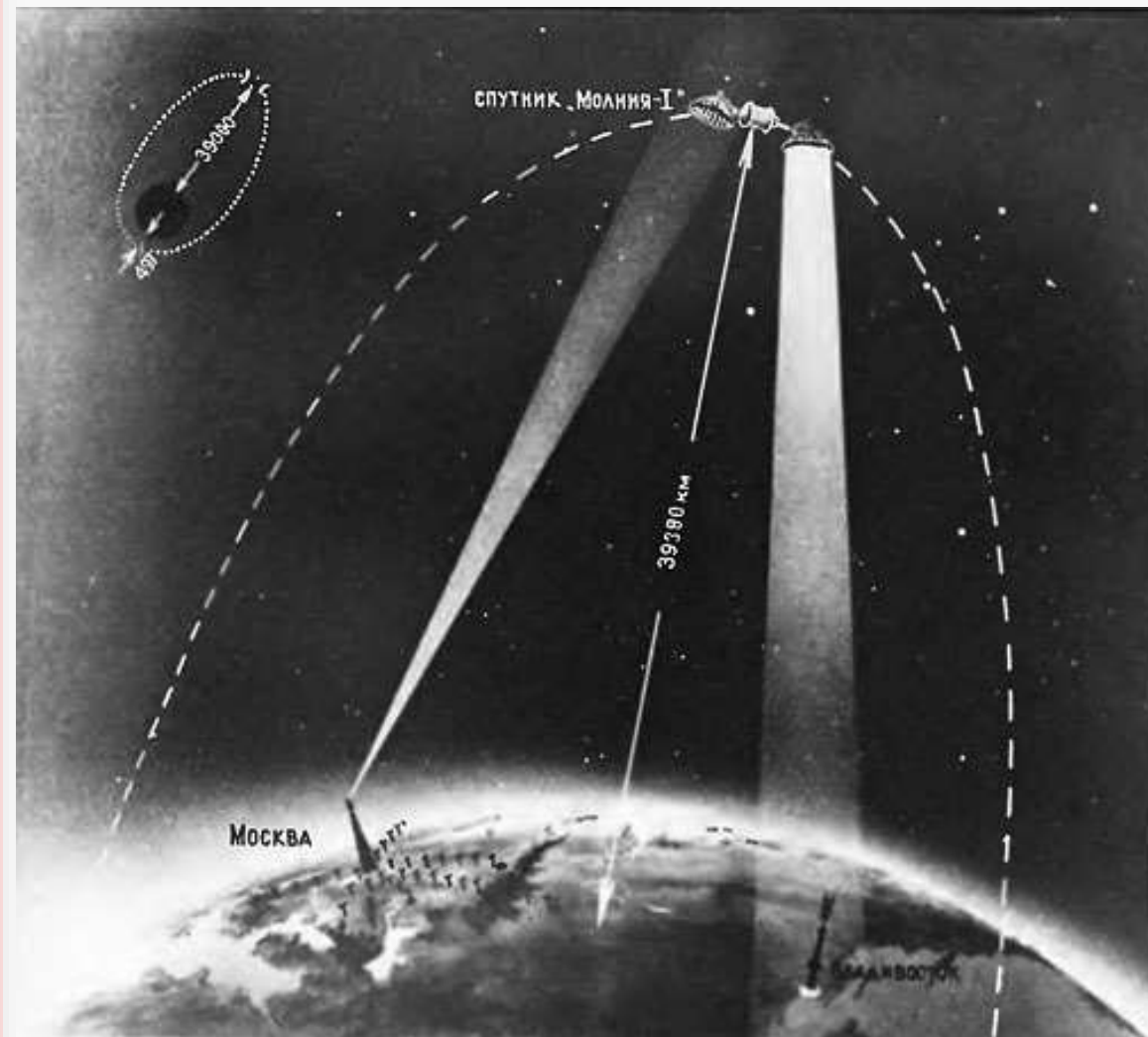
21



# Эллиптическая орбита «Молния»

Орбита «Молния» – орбита, используемая изначально для спутников типа Молния для обеспечения различных видов связи. Спутник Молния-1 первым обеспечил связь между Москвой и Владивостоком.

22



# Круговая орбита

Эксцентриситет:  $e = 0$

Одна из наиболее распространенных орбит ИСЗ. Она используется при формировании ряда спутниковых систем.

Скорость движения по круговой орбите:

$$V = \sqrt{\frac{\mu}{r}}$$

23

То есть скорость движения равна круговой скорости, соответствующей данному радиусу орбиты.



**Круговая орбита  
используется для  
различных спутниковых  
систем, ДЗЗ, МКС и т.д.**



24



Трехмерная карта  
космических  
аппаратов вокруг  
Земли



# Параболическая орбита

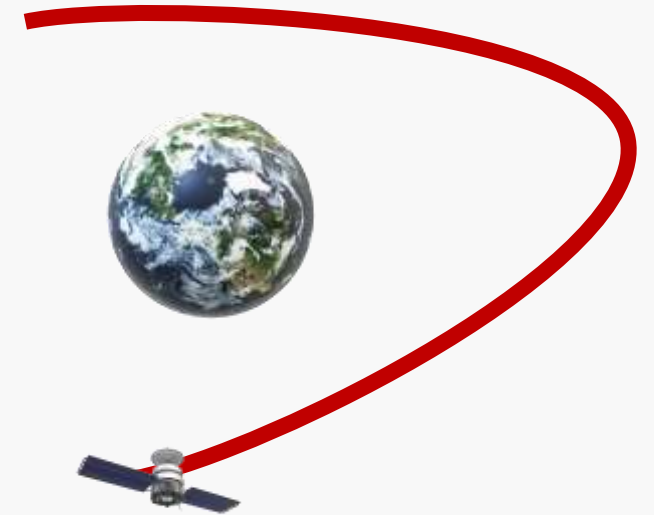
Эксцентриситет:  $e = 1$

Параболическая орбита представляет собой граничный случай между областями эллиптических и гиперболических орбит для значения эксцентриситета  $e = 1$ .

Скорость движения по параболической орбите:

$$V = \sqrt{\frac{2\mu}{r}}$$

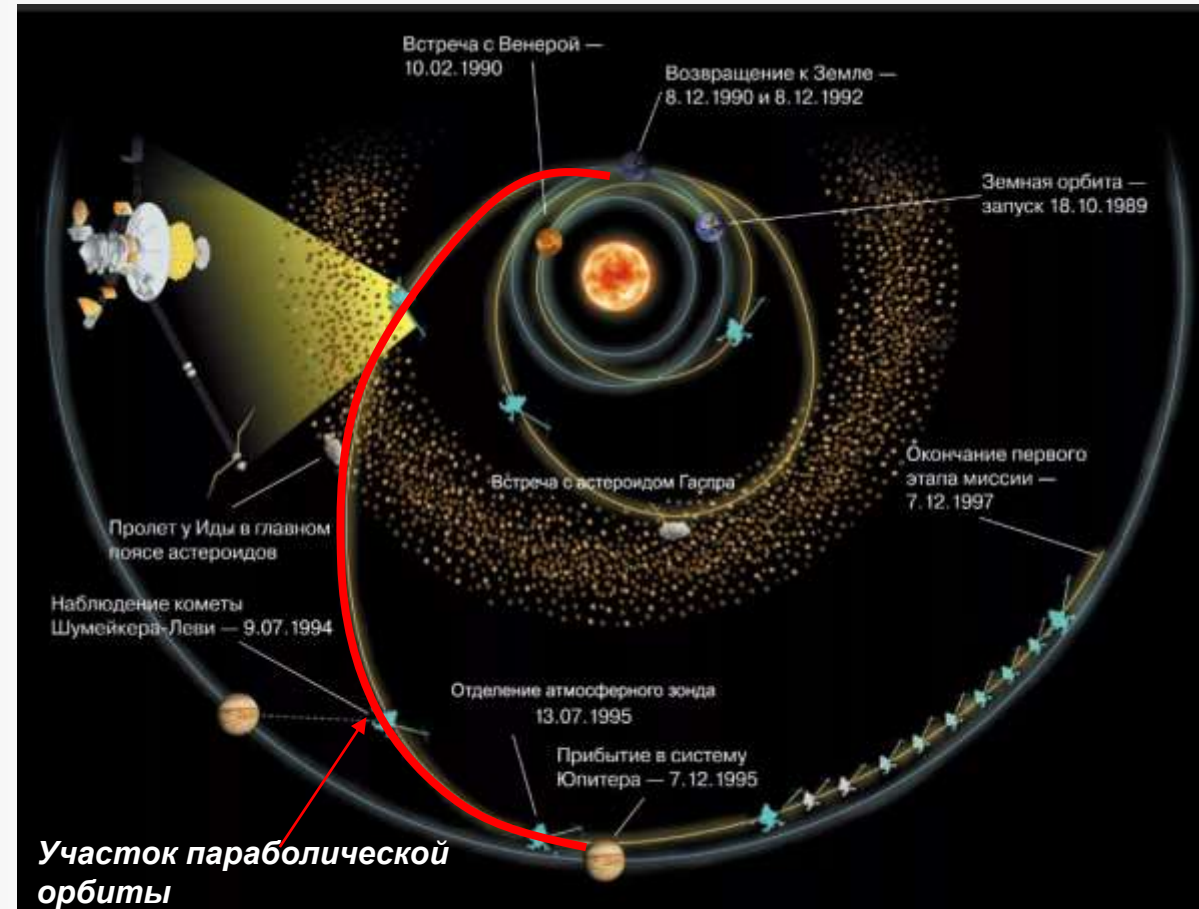
$\mu = f(M + m)$  – гравитационный параметр системы двух точечных масс



Параболическая орбита –  
выход из поля  
притяжения Земли,  
например для перелета к  
другим планетам

Траектория полета АМС "Галилео"  
к Юпитеру.

26



# Гиперболическая орбита

Эксцентриситет:  $e > 1$

Движение по гиперболическим орбитам редко наблюдается в природных явлениях, однако данный тип орбит широко используется при межпланетных полетах КА в пределах сфер действия полей тяготения планет.

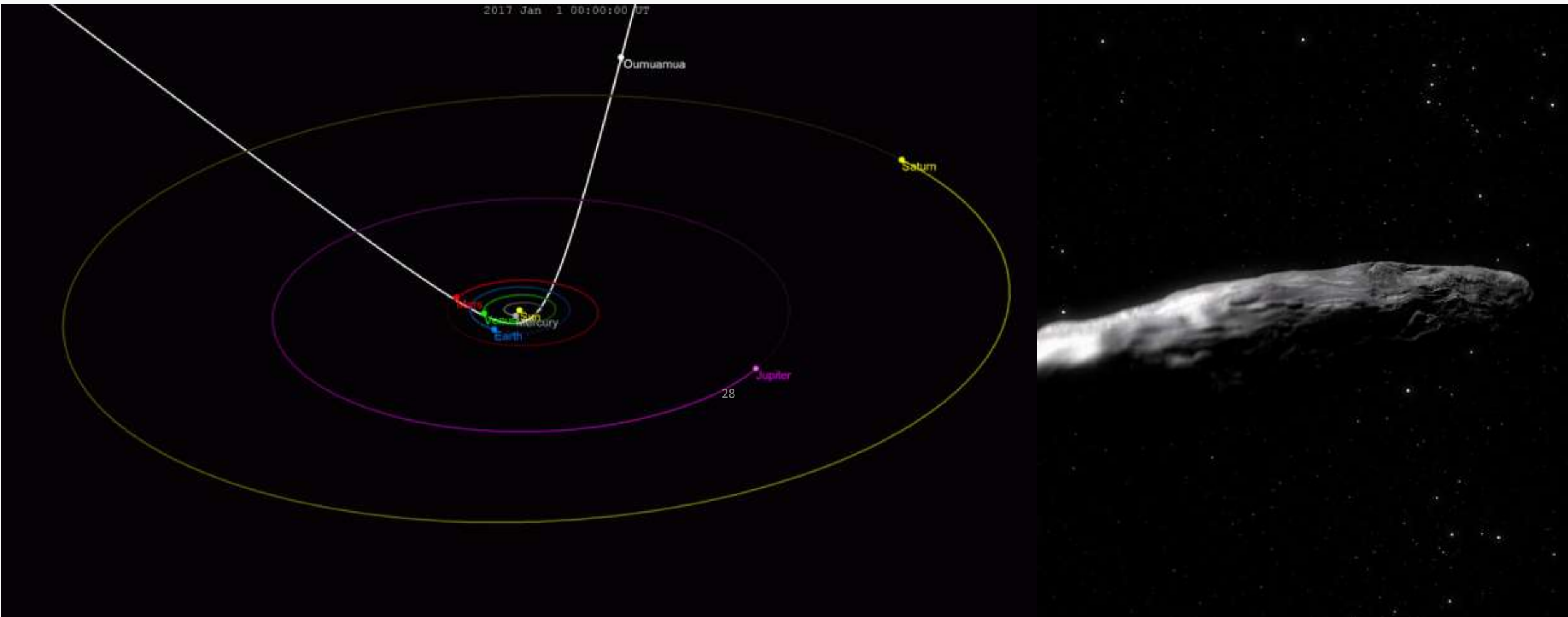
Скорость движения по гиперболической орбите:

27

$$V_{\Pi} = \sqrt{\frac{\mu}{r_{\Pi}} (1 + e)}$$



# Астероид Оумуамуа – гиперболическая орбита



# Классификация орбит по высоте



# Куда летим дальше?

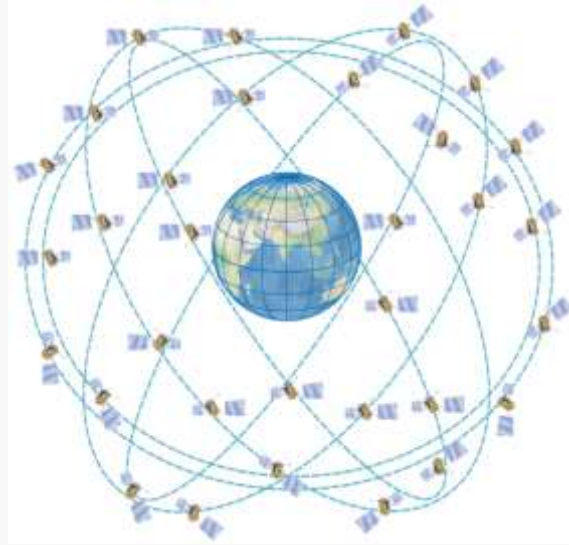
**1. Спутниковые  
навигационные  
системы**

**2. Орбитальные  
станции**

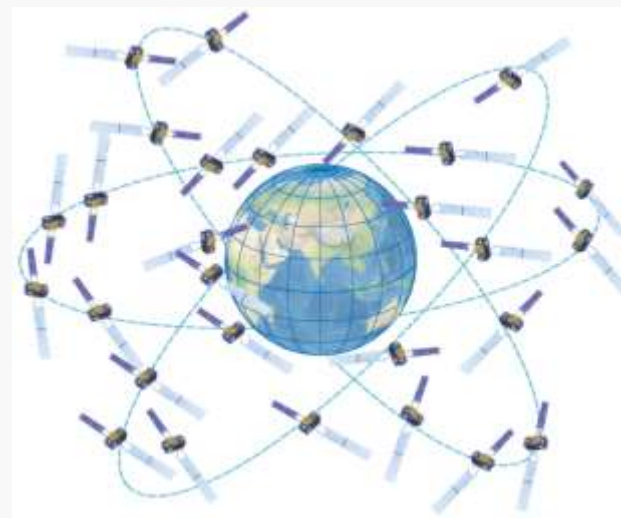
# Спутниковые системы навигации мира



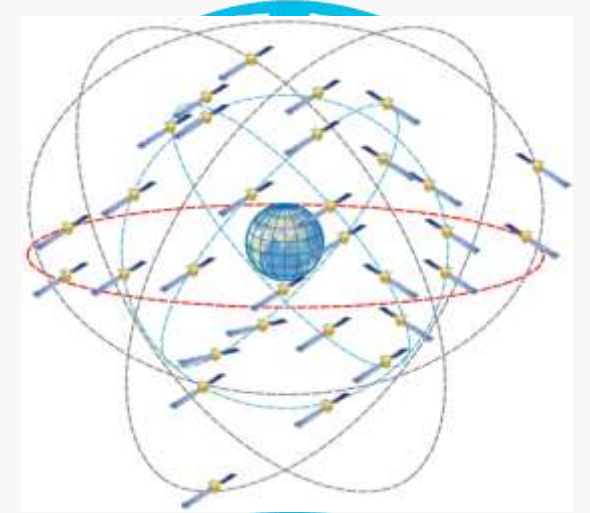
**ГЛОНАСС/Россия**



**GPS/США**

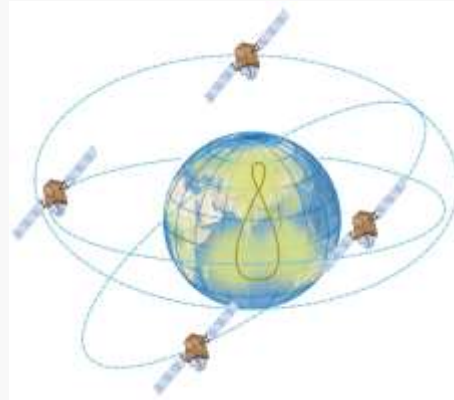


**Galileo/Европа**



**BeiDou/КНР**

**Региональные  
системы:**



**QZSS/Япония**



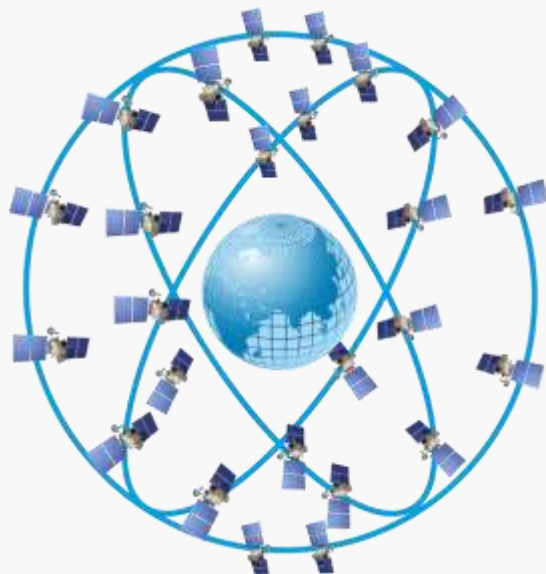
**NAVIC/Индия**

# ГЛОНАСС

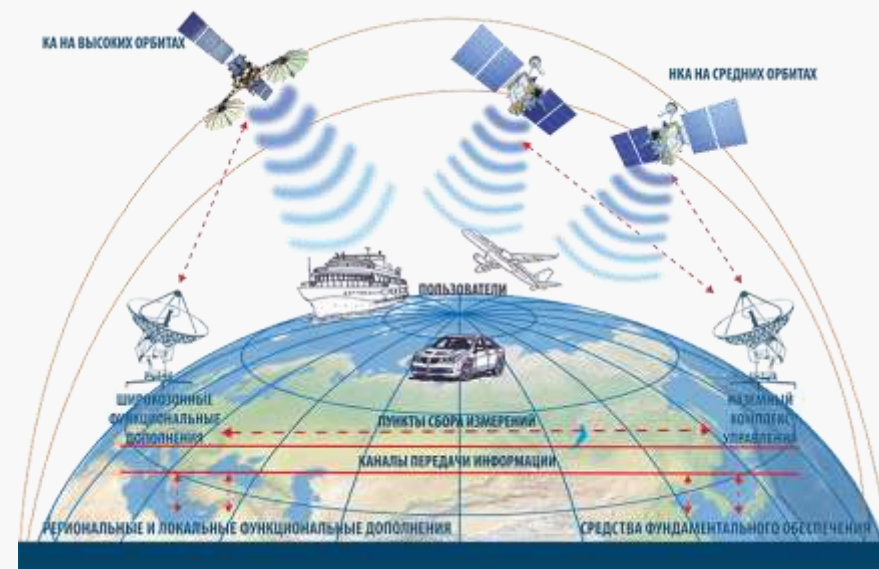


Летные испытания высокоорбитальной отечественной навигационной системы, получившей название ГЛОНАСС, были начаты в октябре 1982 года запуском спутника «Космос-1413». Система ГЛОНАСС была принята в опытную эксплуатацию в 1993 году.

В 1995 году развернута ОГ полного состава (24 КА «Глонасс» первого поколения) и начата штатная эксплуатация системы.



|                   |                  |
|-------------------|------------------|
| Количество КА     | 24               |
| Высота орбиты     | 19 199 км        |
| Большая полуось   | 25 518 км        |
| Период            | 11 ч 15 мин 44 с |
| Наклонение        | 64,8°            |
| Кол-во плоскостей | 3                |



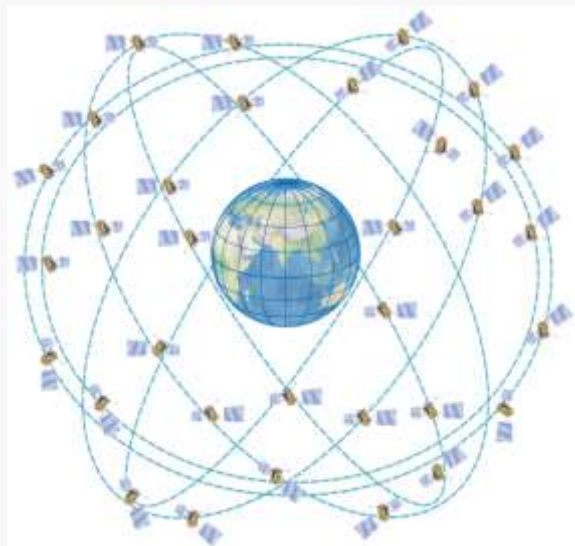


# GPS

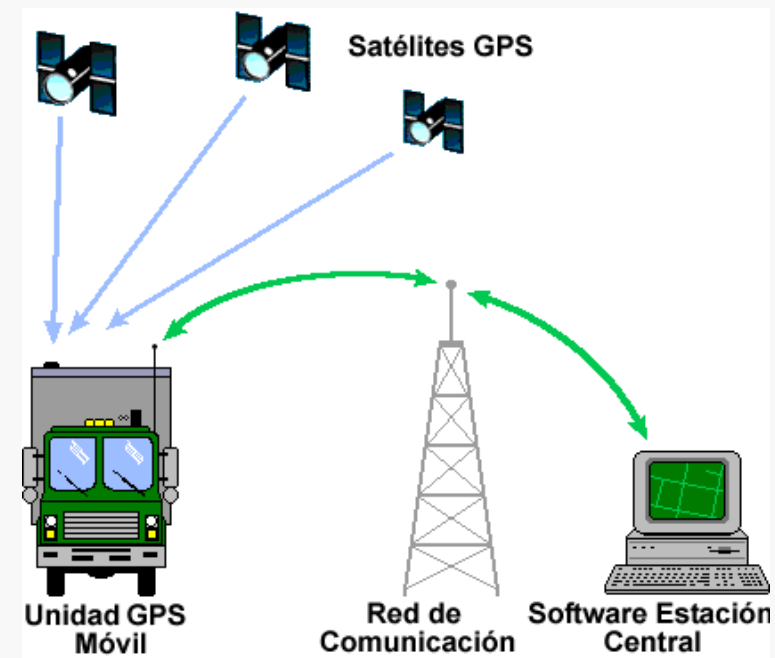


Выделяют два важных этапа развёртывания системы GPS – фазу первоначальной работоспособности (IOC) и фазу полной работоспособности (FOC). Этап IOC начался в 1993 году, когда в составе ОГ насчитывалось 24 КА различных модификаций (Block I/II/IIA), готовых к использованию по целевому назначению. Переход в режим FOC состоялся в июле 1995 года, после завершения всех лётных испытаний, хотя фактически система начала предоставлять услуги в полном объеме с марта 1994 года.

Система GPS является единственной спутниковой системой навигации в настоящее время, которая обеспечивает предоставление услуг в глобальном масштабе.



|                   |             |
|-------------------|-------------|
| Количество КА     | 24+         |
| Высота орбиты     | 20 200 км   |
| Большая полуось   | 26 560 км   |
| Период            | 11 ч 58 мин |
| Наклонение        | 55°         |
| Кол-во плоскостей | 6           |

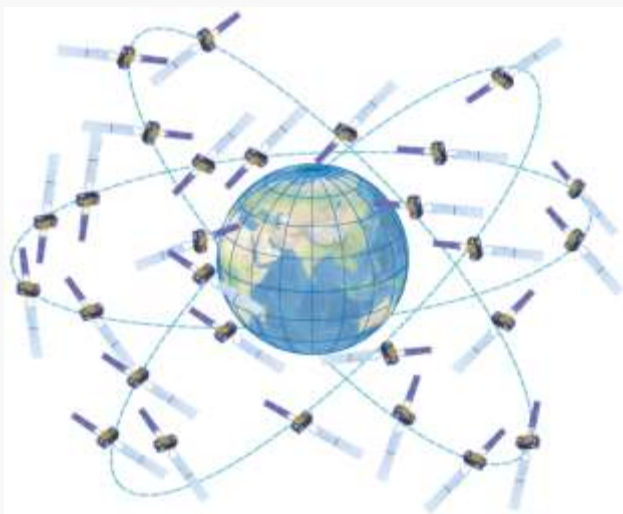


# Galileo

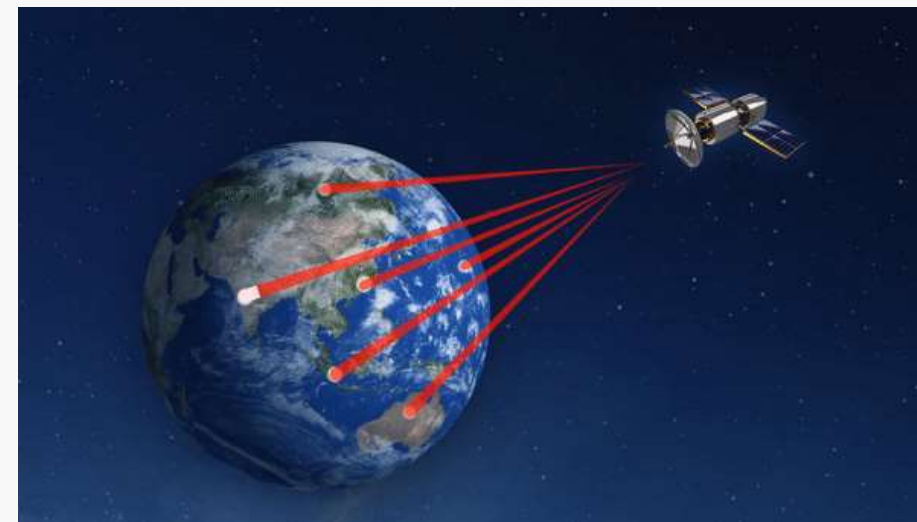


Экспериментальные спутники GIOVE-A и GIOVE-B были запущены на орбиту 28 декабря 2005 года и 27 апреля 2008 года соответственно. Основная задача GIOVE-A состояла в оценке точностных характеристик навигационных радиосигналов Galileo во всех частотных диапазонах, а GIOVE-B - в тестировании навигационной полезной нагрузки.

Два первых навигационных КА были запущены 20 октября 2011 года с помощью ракеты «Союз-СТБ» с космодрома в Куру. Технология выведения КА Galileo предполагает групповые запуски по два КА на российской ракете-носителе «Союз» и по четыре КА на европейской ракете «Ариан-5». В 2016 году развертывание системы, в орбитальной группировке 8 спутников.



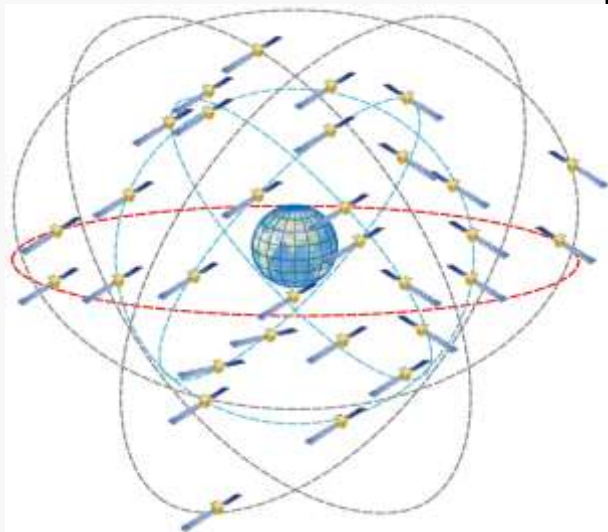
|                   |                 |
|-------------------|-----------------|
| Количество КА     | 24(+3 резерв)   |
| Высота орбиты     | 23 222 км       |
| Большая полуось   | 29 600 км       |
| Период            | 14 ч 4 мин 45 с |
| Наклонение        | 56°             |
| Кол-во плоскостей | 3               |



# Beidou



Идея создания китайской национальной региональной навигационной системы была предложена в 1983 году. Система развертывалась в три этапа. Аппараты системы Beidou-1 построены на базе связной геостационарной платформы DFH-3. Развитие системы Beidou второго поколения Beidou-2 началось в 2004 году. К концу 2012 года было запущено еще 14 спутников (5 геостационарных спутников, 5 спутников на наклонной геосинхронной орбите (ГСНО) и 4 спутника на средних орбитах), что позволило завершить развертывание ОГ. Третий этап — создание системы третьего поколения Beidou-3, начат в 2009 году. Завершение развертывания ОГ из 35 КА, предназначенной для обеспечения глобальных услуг пользователей.



|                   |                  |
|-------------------|------------------|
| Количество КА     | 24+              |
| Высота орбиты     | 21 528 км        |
| Период            | 12 ч 53 мин 24 с |
| Наклонение        | 55°              |
| Кол-во плоскостей | 3                |



# Куда летим дальше?

**1. Луна**

**2. Марс**

03

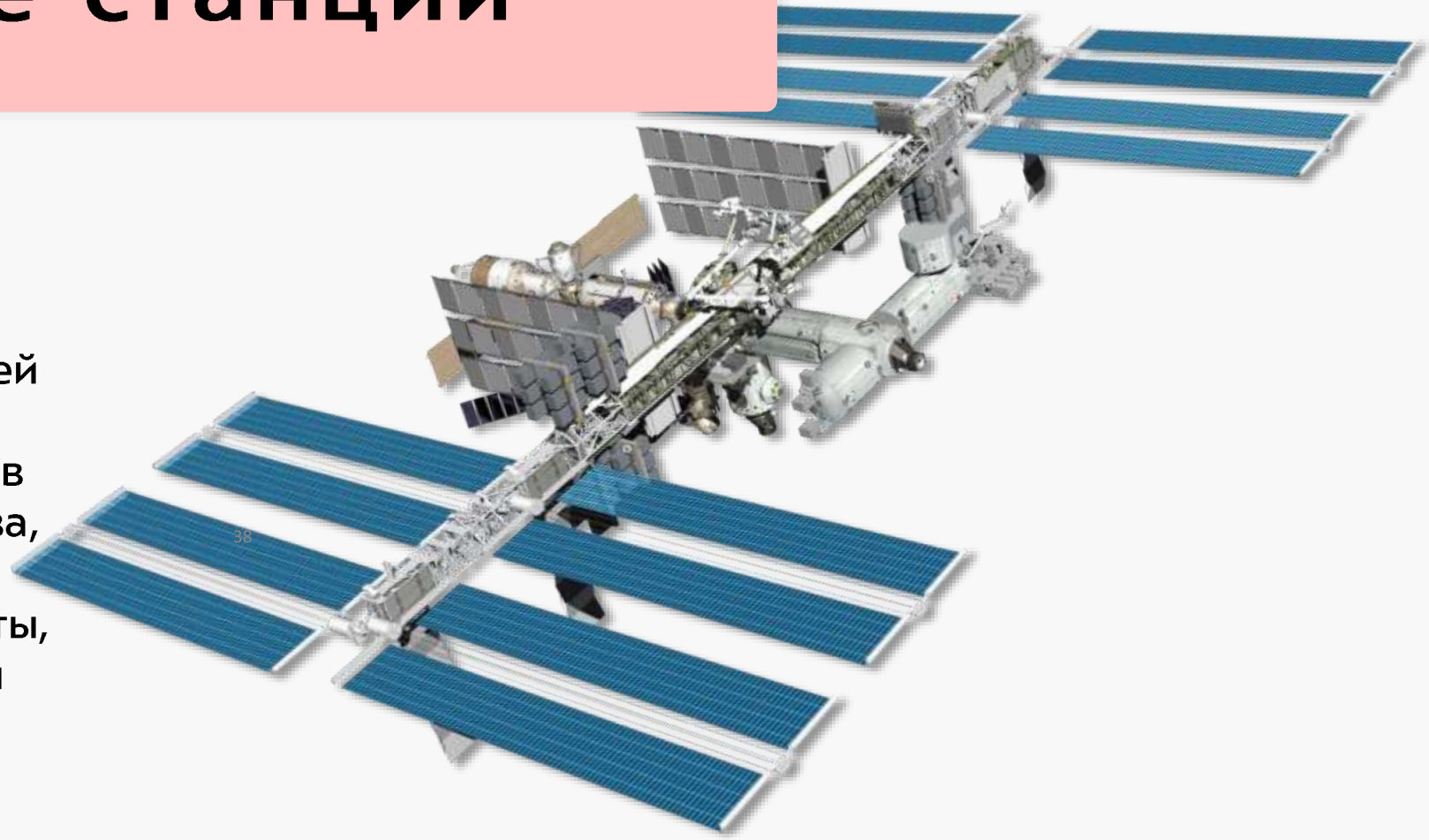
Путешествие в  
КОСМОС



# Орбитальные станции

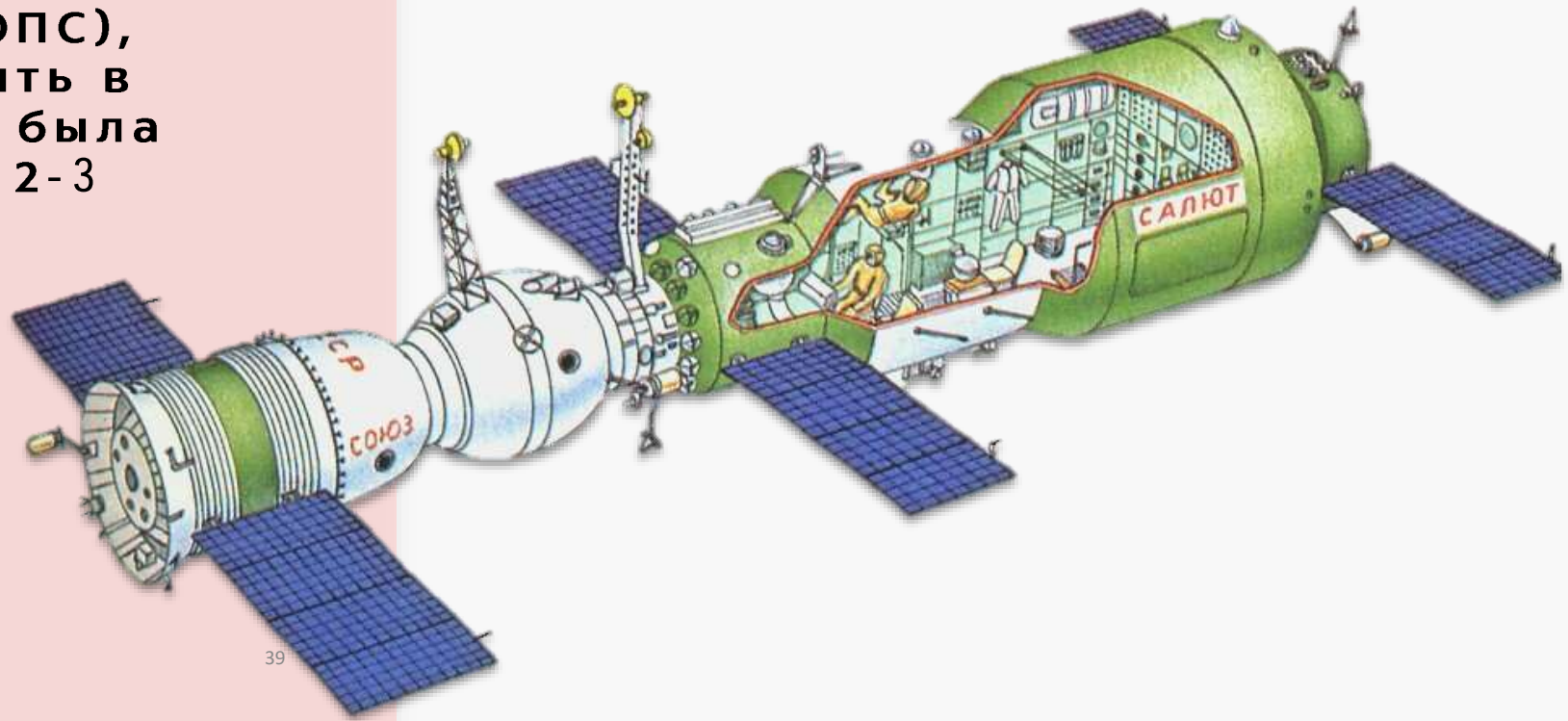
## Орбитальная станция (ОС)

Космический аппарат, предназначенный для длительного пребывания людей на околопланетной орбите с целью проведения научных исследований в условиях космического пространства, разведки, наблюдений за поверхностью и атмосферой планеты, астрономических наблюдений и т. п.



**В 1964 г. генеральный конструктор В. Челомей предложил советскому правительству идею орбитальной пилотируемой станции (ОПС), которая смогла бы пробыть в космосе несколько лет и была рассчитана на экипаж из 2-3 космонавтов.**

11 октября 1971 года СССР вывел на орбиту обитаемую станцию под названием «ДОС 1» (Долговременная орбитальная станция).  
Станция «ДОС 1» - Салют -1



39

Данная станция изначально создавалась для ведения космической разведки, а также для проведения научных и технических экспериментов.  
Далее создавались модификации данной станции Салют-2, Салют-3, Салют-4 и Салют- 5.

«Салют-6» - первая станция нового поколения. Системы орбитального аппарата получили серьезный апгрейд, а объем ее внутреннего пространства был увеличен. Станция была запущена 29 сентября 1977 года.

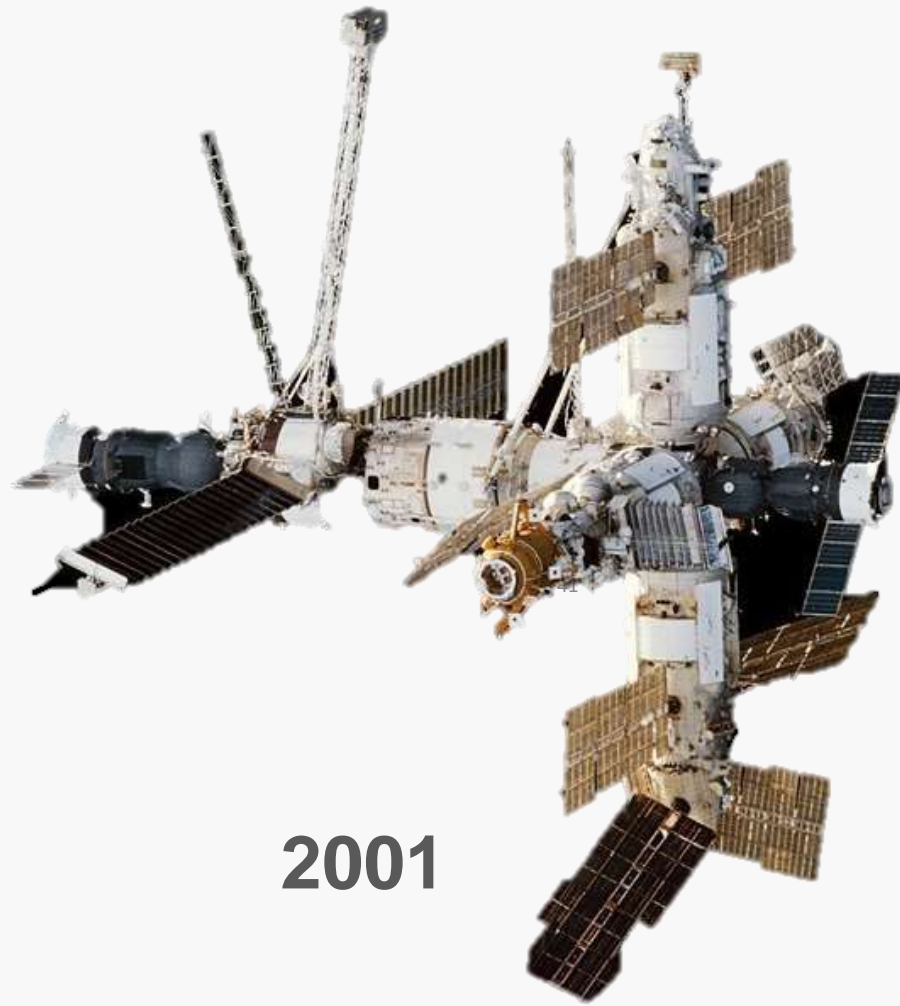


«Салют-7» стала последней станцией космической программы "Салют". Выведена на орбиту 19 апреля 1982 года. За время работы станции на ней долговременно находилось шесть экипажей.



# Орбитальная станция «Мир»

1986



2001

Станция «Мир» была выведена на орбиту **20 февраля 1986 года**. Ее доставляли по частям и собирали уже на месте. «Мир» состоял из семи блоков. Всего станция провела на орбите 5511 суток, а люди на ней находились 4594 дня.

# Международная космическая станция

Первый блок МКС – «Заря» был выведен на орбиту планеты в 1998 году.



Пришла на смену станции «Мир». Ее строительство и запуск осуществлялся силами 14-ти стран: России, США, Японии, Канады, а также государств, входящих в состав Европейского космического агентства. Стоимость «МКС» оценивается в 150 миллиардов долларов США. Вывод станции на орбиту осуществлялся в несколько этапов.



РОСКОСМОС

# Конфигурация МКС

ПО СОСТОЯНИЮ НА 01.12.21

- 10 4 ПАССИВНЫХ СТЫКОВОЧНЫХ УЗЛА** для стыковки дополнительных модулей
- 11 НАДИРНЫЙ ПОРТ** для стыковки транспортных кораблей

МОДУЛИ РОССИЙСКОГО СЕГМЕНТА МКС

- 1 ЗВЕЗДА**
- 2 ЗАРЯ**
- 3 РАССВЕТ**
- 4 ПОИСК**
- 5 НАУКА**

ПРИСТЫКОВАННЫЕ КОРАБЛИ

- 7 СОЮЗ МС-19**
- 8 ПРОГРЕСС МС-18**



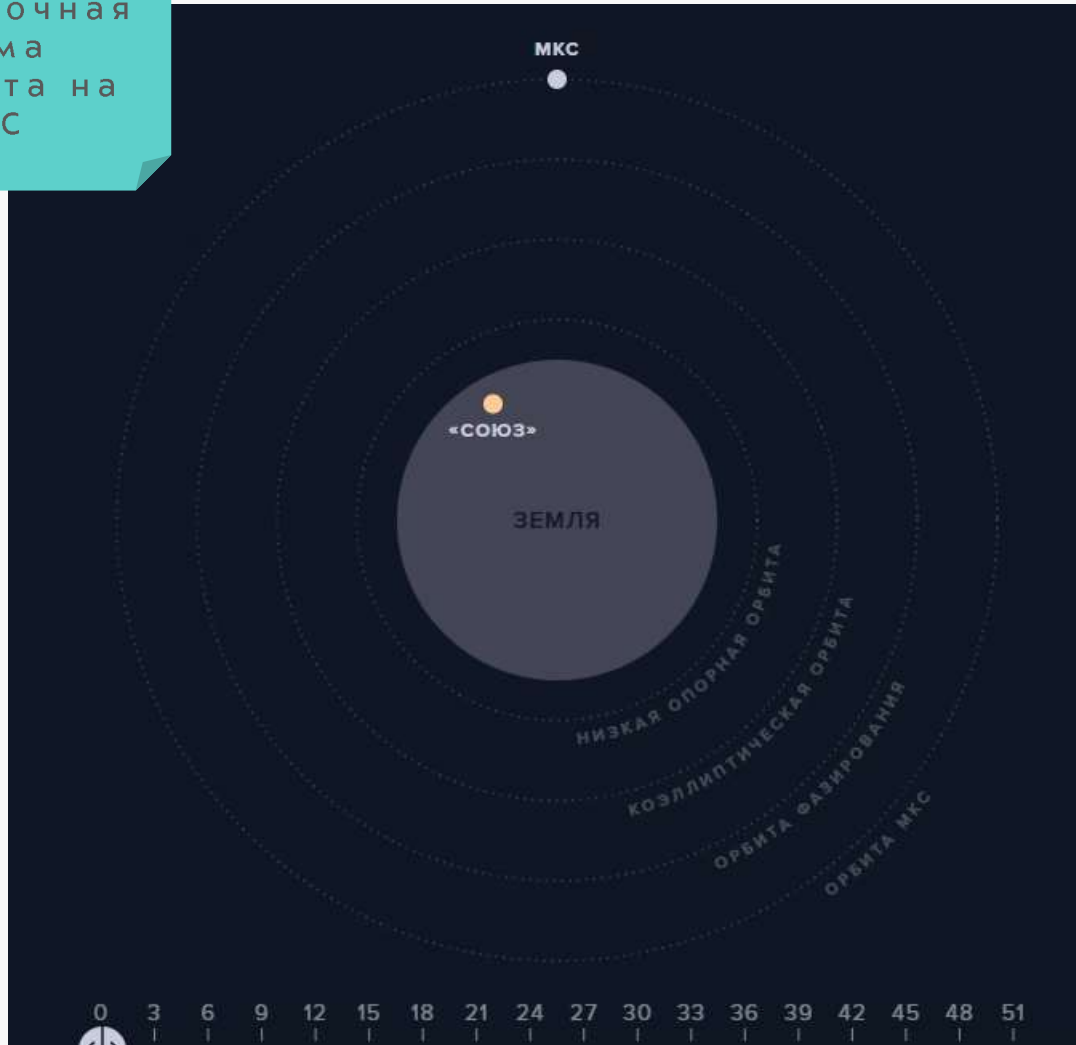
# Как долететь до станции?

Рассмотрим схемы сближения с МКС применимые для кораблей Союз и Прогресс

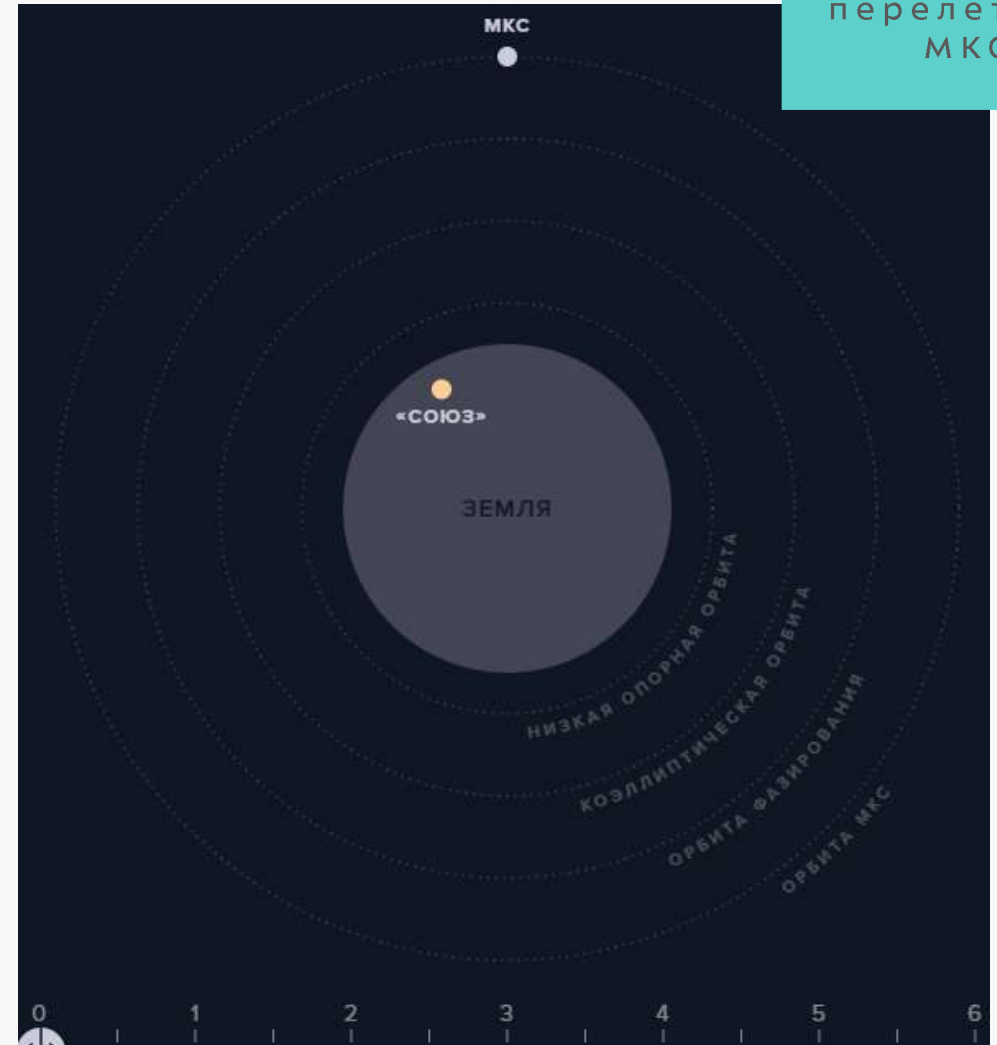


# Как долететь до станции?

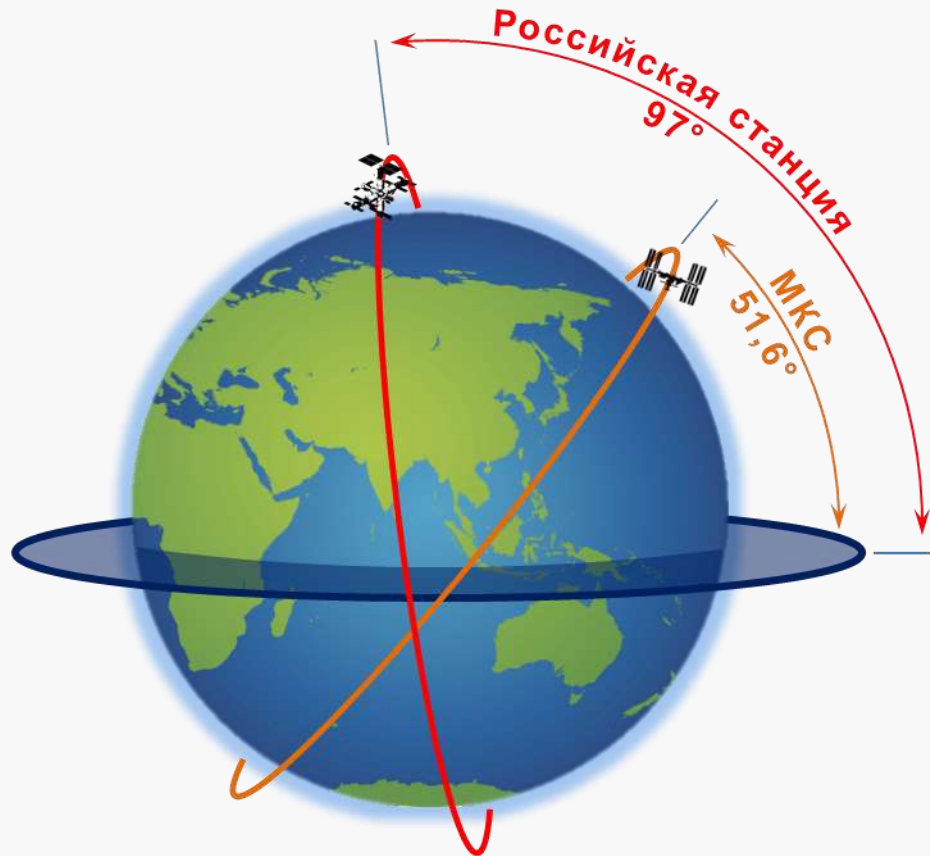
Двухсуточная  
схема  
перелета на  
МКС



Шестичасовая  
схема  
перелета на  
МКС



# Российская орбитальная служебная станция (РОСС)



Некоторые предполагаемые возможности РОСС:

- Наблюдение всей территории Российской Федерации;
- Сборка транспортной системы для реализации Лунной программы.

Высота орбиты станции — от 300 до 350 км.

Наклонение  $97^\circ$  (МКС —  $51,6^\circ$ )

**РОСС**

Каждые 1,5 часа позволяет видеть Арктику, а любую точку планеты — раз в двое суток.

Солнечно-синхронная орбита

Источник: Муртазин Р.Ф., Круглый стол XLVI академических чтений по космонавтике «Королёвские чтения»



# Куда летим дальше?

1. Луна

2. Марс

04

Ещё немного  
теории



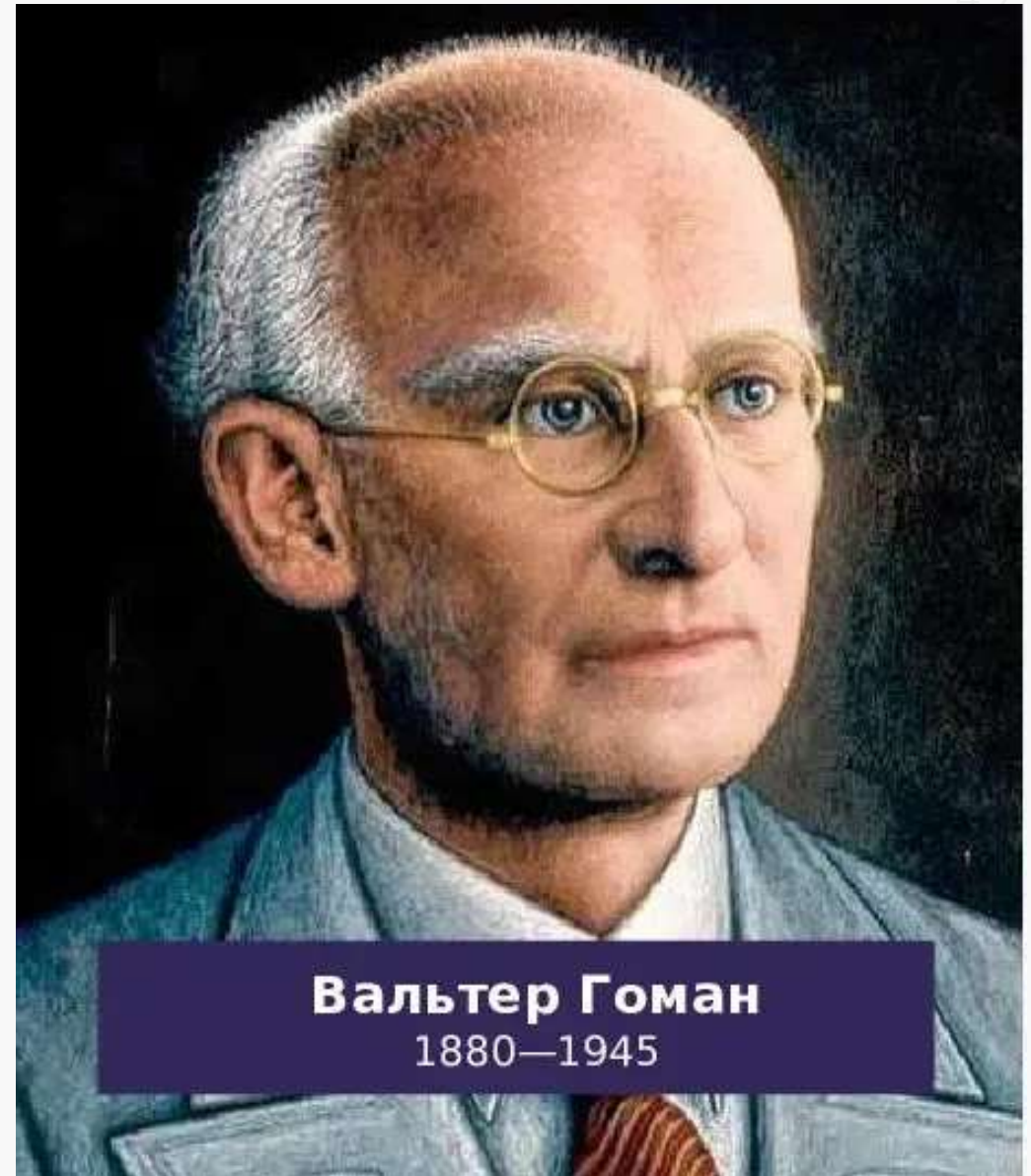


# Кто такой Гоман?

Вальтер Гоман  
(нем. Walter Hohmann, 18 марта 1880—11 марта 1945) — немецкий инженер, сделавший важный вклад в понимание орбитального движения.

В опубликованной в 1925 году книге, он математически обосновал способ перехода космического корабля между двумя орбитами с минимальными затратами топлива, впоследствии названный гомановской траекторией или Эллипсы Гомана

Источник: Wikipedia

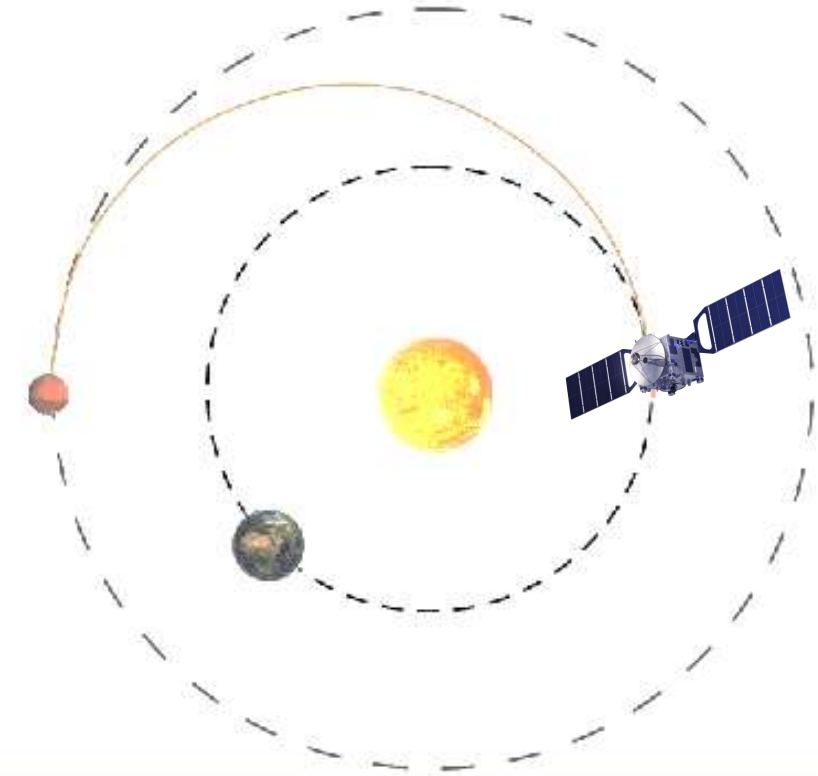


**Вальтер Гоман**  
1880—1945

# Гомановская траектория

## Определение

В небесной механике эллиптическая орбита, используемая для перехода между двумя другими орбитами, обычно находящимися в одной плоскости. В простейшем случае она пересекает эти две орбиты в апоцентре и перигеентре.



Полуэллиптическая  
(гомановская) орбита

# Как же перемещаться в космосе?

Во всех случаях перехода КА с одной орбиты на другую имеют место два участка траектории



Этап дальнего выведения

КА переводится с одной орбиты (ожидания) на другую орбиты в район цели.

При этом различают компланарные и некомпланарные переходные орбиты, необходимые для осуществления маневра.

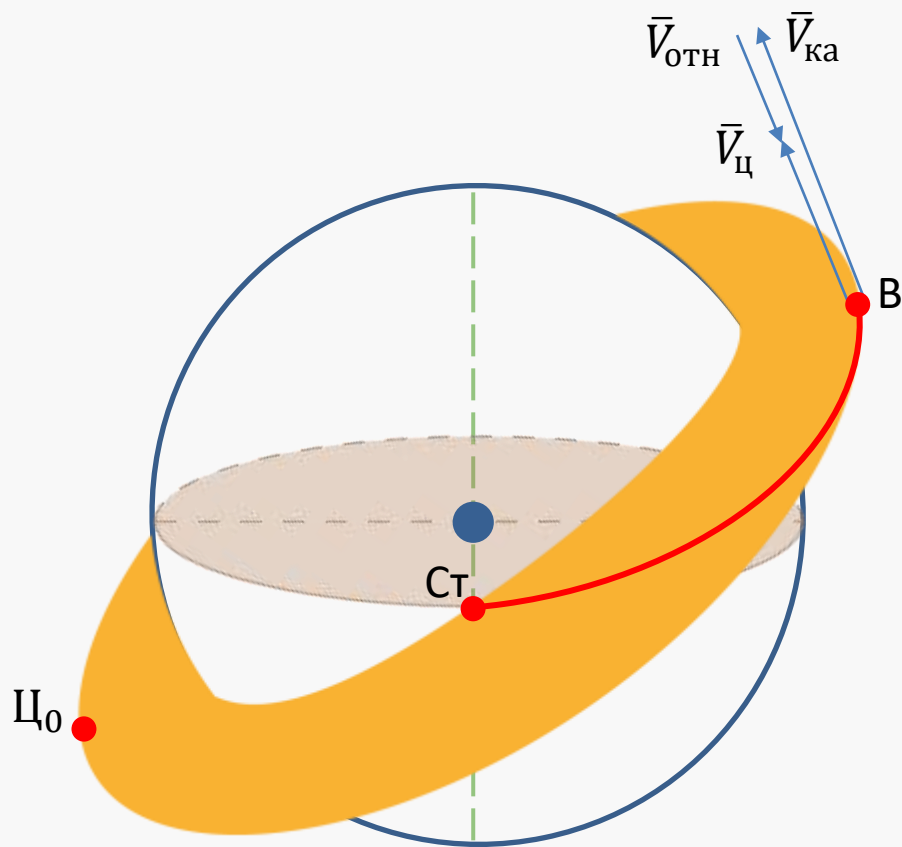


Этап ближнего наведения

На этом этапе движения КА с помощью системы наведения сближается с КА цели.

В этом случае необходимо иметь угловую стабилизацию КА, а также специальную систему наведения с двигательными установками.

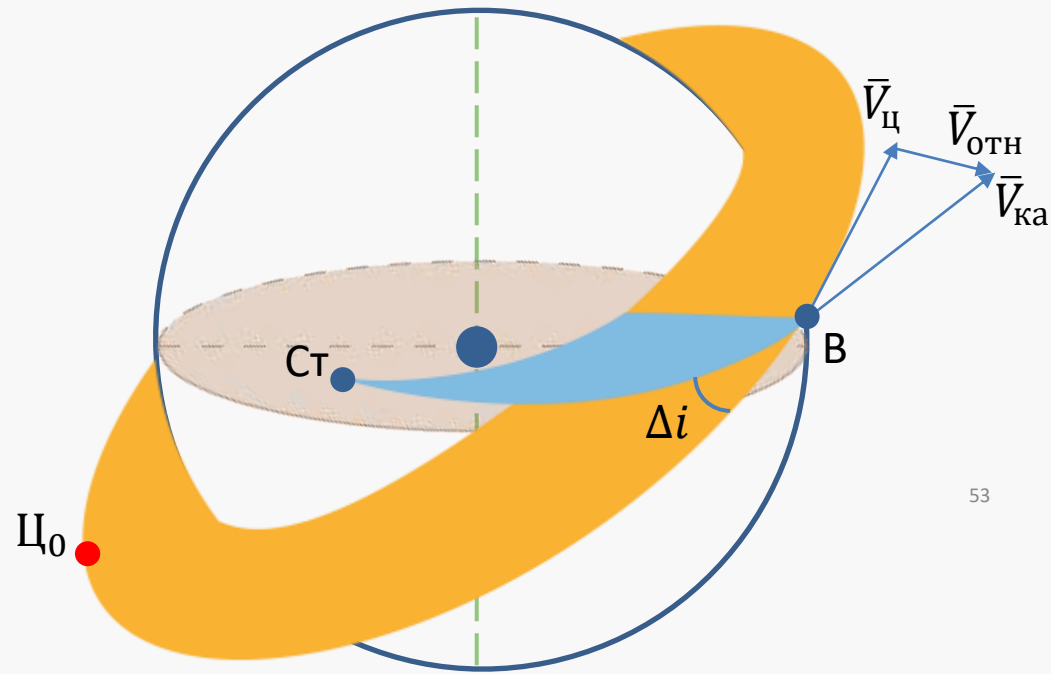
## Этап дальнего выведения. Старт носителя с КА с Земли в плоскости орбиты КА-цели и непосредственно выход к цели



В этом случае необходимо, чтобы момент, когда Земля повернется таким образом, точка старта находилась в плоскости орбиты КА-цели

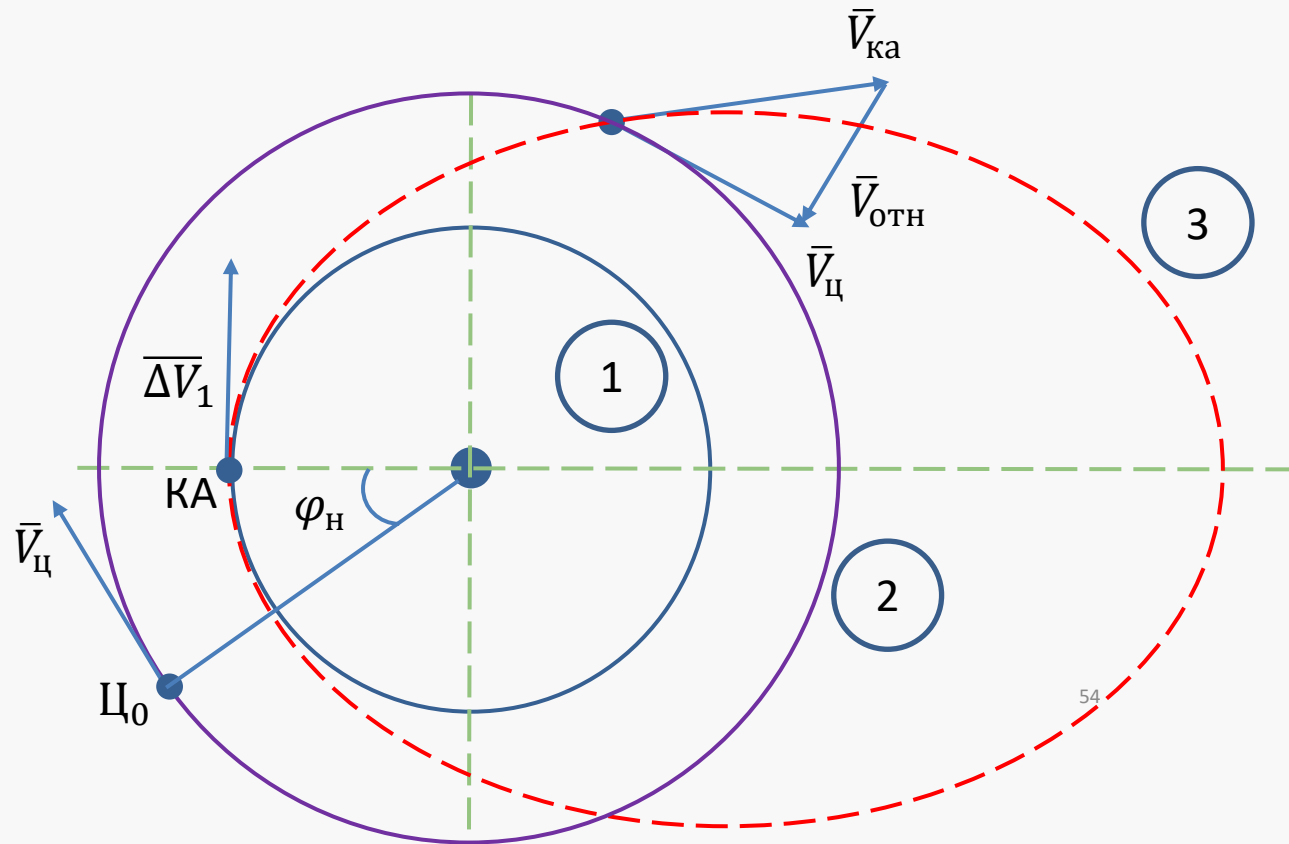
Кроме этого, трудно обеспечить достаточную точность выхода к цели без промежуточной орбиты ожидания, так как требуется, чтобы в момент встречи КА-цель находился в определенном положении на орбите, то есть  $t_{ВКА} = t_{ВКА-Ц}$

Старт носителя с КА с Земли и непосредственно выход к КА-цели с плоскости переходной орбиты не компланарно плоскости орбиты цели



С точки зрения минимума времени выхода к КА-цели метод достаточно хорош, но требует большого количества топлива на переход.

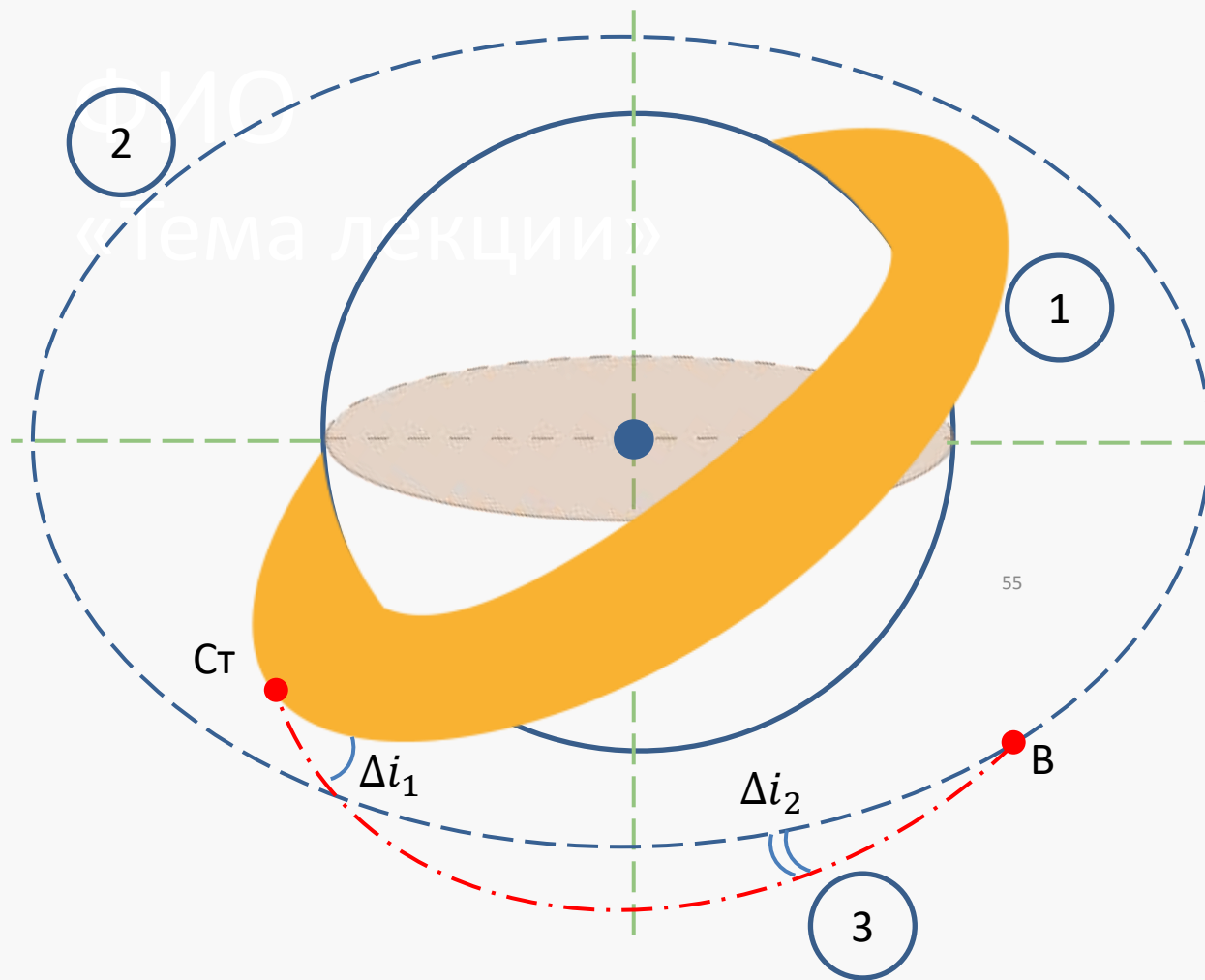
## Переход КА на орбиту цели с орбиты ожидания, находящейся в плоскости орбиты цели



КА находится на орбите ожидания и выжидает, чтобы получилось требуемое угловое положение КА и цели ( $\varphi_n$ ), при котором возможен синхронный выход КА к цели в точке встречи.

- 1 – орбита ожидания
- 2 – орбита КА-цели
- 3 – переходная орбита

## Переход КА на орбиту цели с орбиты ожидания, не находящейся в плоскости орбиты цели (некомпланарный переход)



Этот случай перехода требует повышенного расхода топлива на переход

$$V_{\text{отн}} = V_{\text{ц}} - V_{\text{КА}}$$

Однако можно выбрать значительно раньше по времени момент на переход с орбиты на орбиту.

К этому же варианту относится случай перехода, когда орбита перехода не компланарна как орбите ожидания, так и орбите цели.

# Общие сведения о Луне

2007 Apr 2 05:58:54 UT

**Луна - единственный естественный спутник Земли. Самый близкий к Солнцу спутник планеты, так как у ближайших к Солнцу планет (Меркурия и Венеры) их нет.**

**Какой формы Луна?** Близка к правильной сфере со средним радиусом 1737,5 км. Площадь поверхности лунного шара составляет около 38 млн. кв. км, что составляет лишь 0,074 площади земной поверхности.

**Как далеко Луна от Земли?** Расстояние от Земли до Луны <sup>56</sup>  
384 401 км.

**Какая атмосфера на Луне?** Атмосфера Луны крайне разрежена. Разрежённость атмосферы приводит к высокому перепаду температур на поверхности Луны (от  $-173\text{ }^{\circ}\text{C}$  ночью до  $+127\text{ }^{\circ}\text{C}$  в подсолнечной точке), в зависимости от освещённости.





# Достижения нашего прошлого

## Пионер-3

6 декабря 1958

Изучение Луны с пролётной траектории. Из-за недобора скорости не достиг орбиты Луны, максимальное удаление от Земли составило 102 320 км. В ходе полёта обнаружил второй радиационный пояс Земли. Сгорел в верхних слоях атмосферы через день после запуска.

## Луна-1

2 января 1959

В целях полёта ставилась задача достижения станцией поверхности Луны. Попадания не произошло, но несмотря на это, на выполнении бортовых экспериментов это не сказалось. «Луна-1» также стала первым в мире космическим аппаратом, достигшим второй космической скорости, преодолевшим притяжение Земли и ставшим искусственным спутником Солнца.

## Луна-2

12 сентября 1959

Первый в истории человечества рукотворный объект, достигший поверхности другого космического тела.

Одним из основных научных достижений миссии было прямое измерение солнечного ветра. На поверхность Луны был также доставлен вымпел с изображением герба СССР.

## «Пионер-4»

3 марта 1959

Аппарат аналогичен Пионеру-3. Исследовал радиационную обстановку около Луны с пролётной траектории. Минимальное расстояние до Луны составило 60 050 км, что не позволило задействовать фотоэлектрический сенсор и получить фотографии. Стал первым американским аппаратом и вторым в мире после советского, развившим вторую космическую скорость.

### Луна-3

4 октября 1959

В ходе полёта были впервые получены изображения обратной стороны Луны. Несмотря на плохое качество, полученные снимки обеспечили Советскому Союзу приоритет в наименовании объектов на поверхности Луны. В очередной раз было продемонстрировано первенство СССР в космической гонке.

### Зонд-3

18 июля 1965

Фотографирование обратной стороны Луны и другие научно-технические задачи. По фотографиям, сделанным АМС «Луна-3» и «Зонд-3», Государственным астрономическим институтом им. П. К. Штернберга был выпущен «Атлас обратной стороны Луны» с каталогом, содержащим описания около 4000 впервые обнаруженных образований.

### Сервейер-1

30 мая 1966

Первый для США спускаемый аппарат, совершивший мягкую посадку на небесное тело. Исследование Луны с её поверхности.

### Луна-10

31 марта 1966

Первый в мире искусственный спутник Луны. Проведены исследования Луны и окололунного пространства.

### Луна-9

31 января 1966

3 февраля 1966 года советская станция «Луна-9» впервые в мире совершила мягкую посадку на поверхности Луны в Океане Бурь. Со станцией были проведены 7 сеансов связи общей продолжительностью более 8 часов. Во время этих сеансов АМС передавала панорамное изображение поверхности Луны в районе места посадки.

## Луна-14

**7 апреля 1968**

Эксперименты, проведённые на станции, позволили сделать окончательный выбор материалов для уплотнений приводов колёс, а также подшипников для шасси «Лунохода». Были получены уточнённые данные по определению гравитационного поля Луны и для построения точной теории движения Луны.

## Аполлон-8

**21 декабря, 1968**

Пилотируемый космический корабль серии Аполлон, который впервые доставил людей на орбиту другого космического тела.

## Аполлон-9

**3 марта, 1969**

Пилотируемый космический корабль, совершивший первый испытательный полёт на околоземной орбите в полной конфигурации (командный и лунный модули).

## Аполлон-12

**14 ноября 1969**

Второй пилотируемый полёт на Луну. Вторая высадка людей на Луне.

## Аполлон-11

**16—24 июля 1969** Доставка на Луну астронавтов. Первый пилотируемый полёт на Луну. Первый человек на Луне. Астронавты установили в месте посадки флаг США, разместили комплект научных приборов и собрали 21,55 кг образцов лунного грунта, которые были доставлены на Землю.

## Аполлон-10

**18 мая 1969**

Пилотируемый полёт на орбиту Луны, генеральная репетиция экспедиции без высадки на Луну.

### Луна-16

12 сентября 1970

На Землю были доставлены образцы лунного грунта, взятые в районе Моря Изобилия. «Луна-16» стала первым автоматическим аппаратом, доставившим внеземное вещество на Землю.

### Луна-17

10 ноября 1970

Доставка первого лунохода на поверхность Луны. «Луноход-1» (Аппарат 8ЕЛ № 203) — первый в мире планетоход, успешно работавший на поверхности другого небесного тела.

### Аполлон-15

26 июля, 1971

Четвёртый пилотируемый полёт на Луну. Четвёртая высадка людей на Луне. В этой миссии astronautами впервые был испытан лунный автомобиль.

### Луна-24

9 августа 1976

На Землю доставлена колонка лунного грунта длиной около 160 сантиметров и весом 170 граммов. В результате анализа результатов этого полёта было впервые получено убедительное доказательство наличия на Луне воды

### Луна-21 —

8 января 1973

Доставка Лунохода-2 на поверхность Луны.

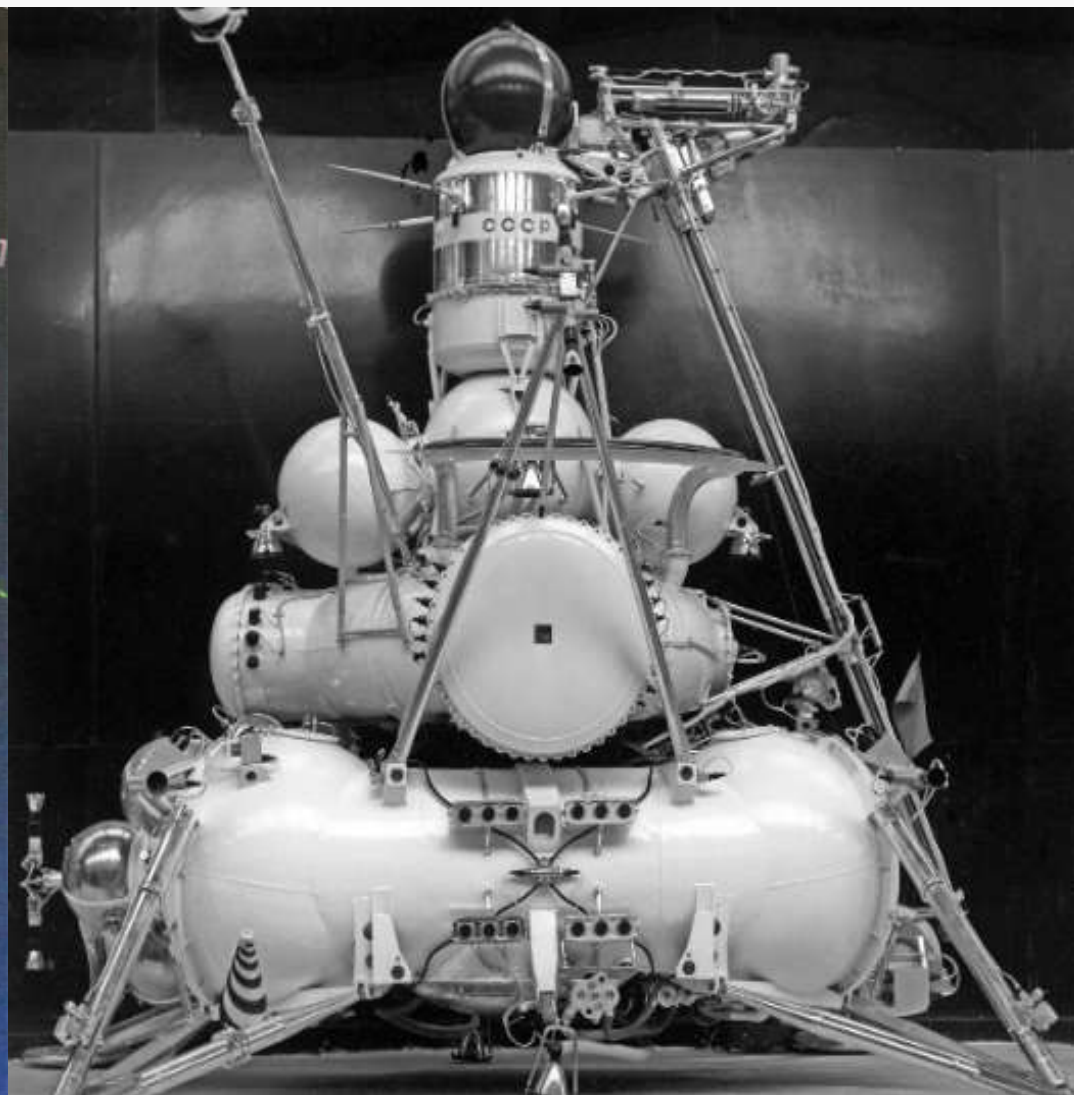
### Аполлон-16

16 апреля, 1972

Пятый пилотируемый полёт на Луну. Пятая высадка людей на Луне. В распоряжении astronautов (как и у экипажа предыдущей экспедиции) был лунный автомобиль, «Лунный Ровер № 2».

# Как долететь до Луны?

Схема движения КА «Луна-24»



# Как долететь до Луны? Наше время.

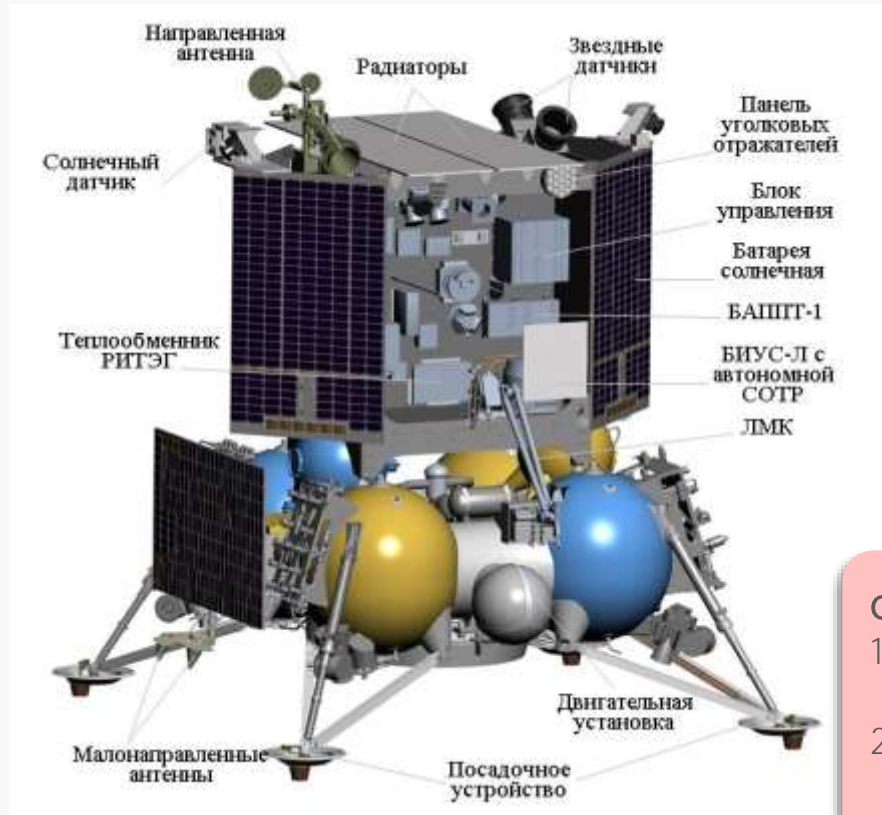
## Автоматическая межпланетная станция «Луна-25»

Дата запуска – июль 2023 г.

Космодром: Восточный; Средства выведения «Союз-2/16» с РБ «Фрегат»

Масса аппарата 1750 кг

Срок активного существования - Не менее 1 года.



Источник: © Роскосмос; © НПО им. С.А. Лавочкина

Основные задачи АМС «Луна-25»:

1. Оработка <sup>62</sup>технологии мягкой посадки;
2. Изучение внутреннего строения и разведка природных ресурсов, в том числе воды, в околополярной области Луны;
3. Исследование воздействий на поверхность Луны космических лучей и электромагнитных излучений.

# Как долететь до Луны? Наше время.

## Автоматическая межпланетная станция «Луна-25»

Этап полета от старта до прибытия к Луне займет 5 суток.

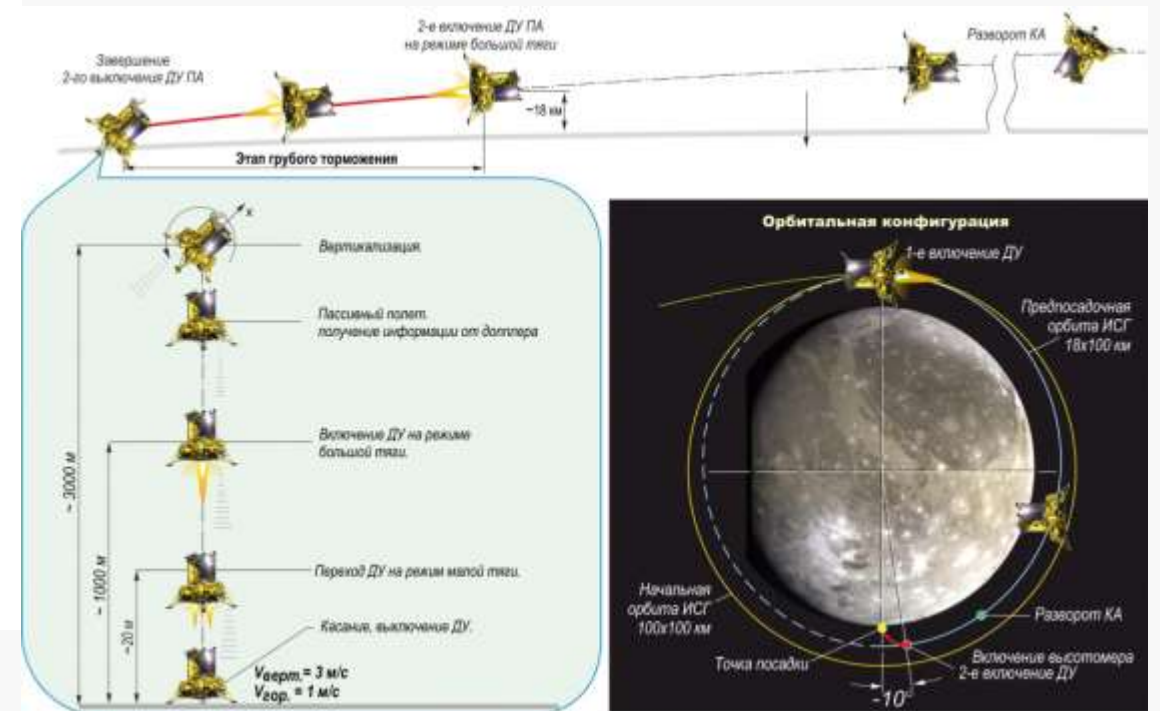
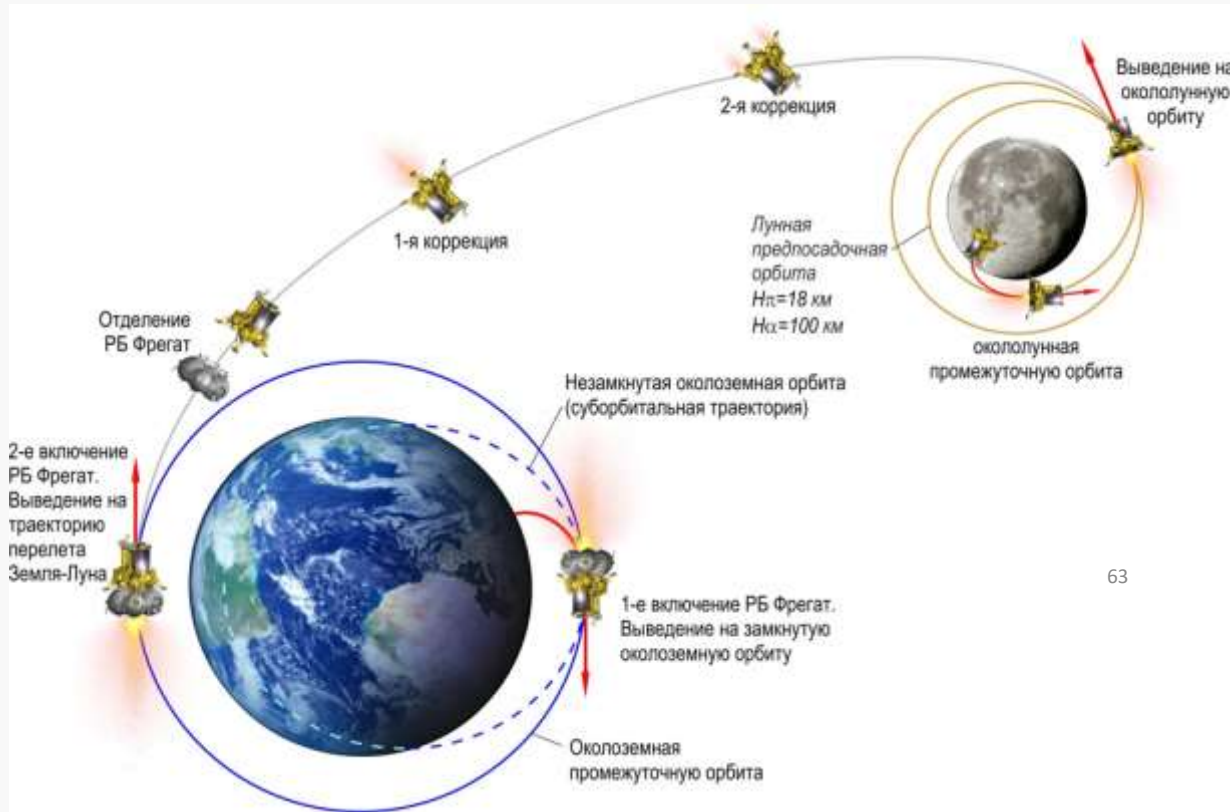
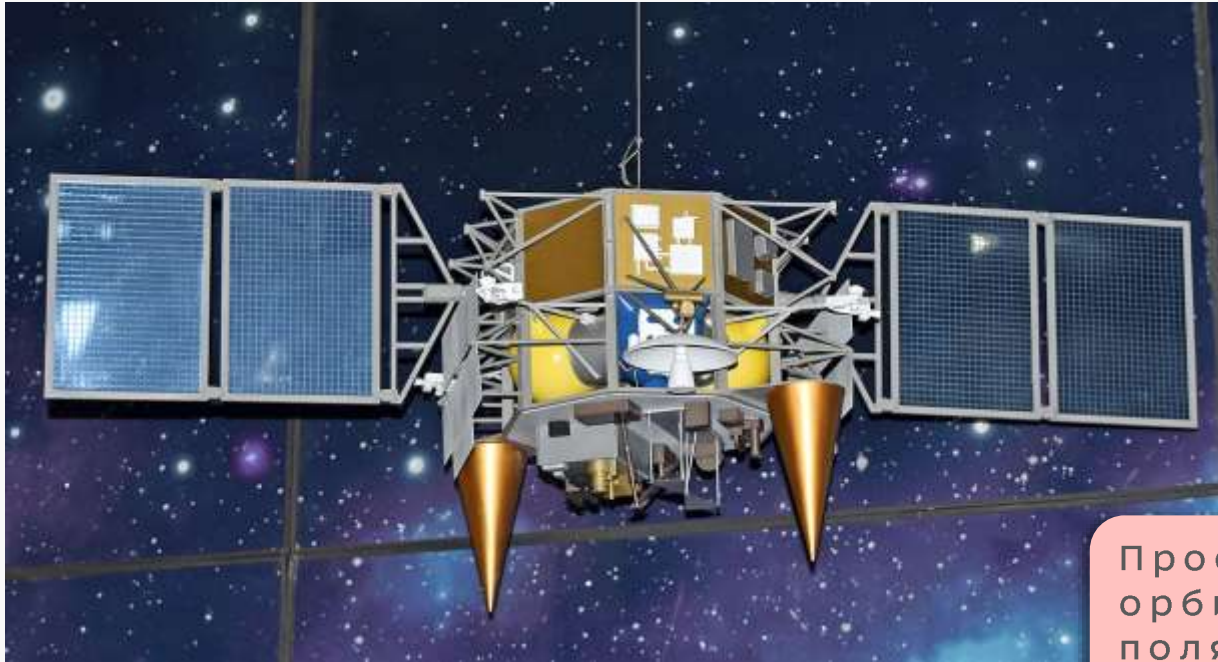


Схема полёта АМС «Луна-25»

Источник: © Роскосмос; © НПО им. С.А. Лавочкина

# Как долететь до Луны? Наше время.

## Автоматическая межпланетная станция «Луна-26»



«Луна-26» — первая часть миссии «Луна-Ресурс-1», в свою очередь являющейся частью российской лунной программы; также это название аппарата, используемого в данной части миссии (ранее автоматическая лунная орбитальная станция называлась «Луна-Глоб орбитальная», затем «Луна-Глоб-2», затем «Луна-Ресурс-1 ОА»).

Проект включает в себя доставку лунного орбитального аппарата (ОА) на окололунную полярную орбиту для проведения дистанционных исследований поверхности Луны. Миссия «Луна-Ресурс-1» разделена на две части, орбитальную («Луна-26») и посадочную («Луна-27»).

Автор: Pline - собственная работа, CC BY-SA 4.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=68640952>



# Автоматическая межпланетная станция «Луна-26»

## Основные данные об экспедиции:

Дата запуска: ноябрь 2024 г.

Космодром Восточный

Средства выведения: «Союз-2/1б» с РБ «Фрегат»

Масса аппарата 2250 кг.

Рабочая орбита: полярная: высотой от 50 до 80 км (1 год эксплуатации), с начальной высотой 150 Не менее 3 лет



## Основные задачи «Луны 26»

Изучение лунной поверхности

- Построение топографической карты лунной поверхности.
- Определение структуры и состава недр.
- Поиск богатых водородом районов на Луне.
- Определение химического и элементного состава реголита.
- Определение неоднородности лунного гравитационного поля.

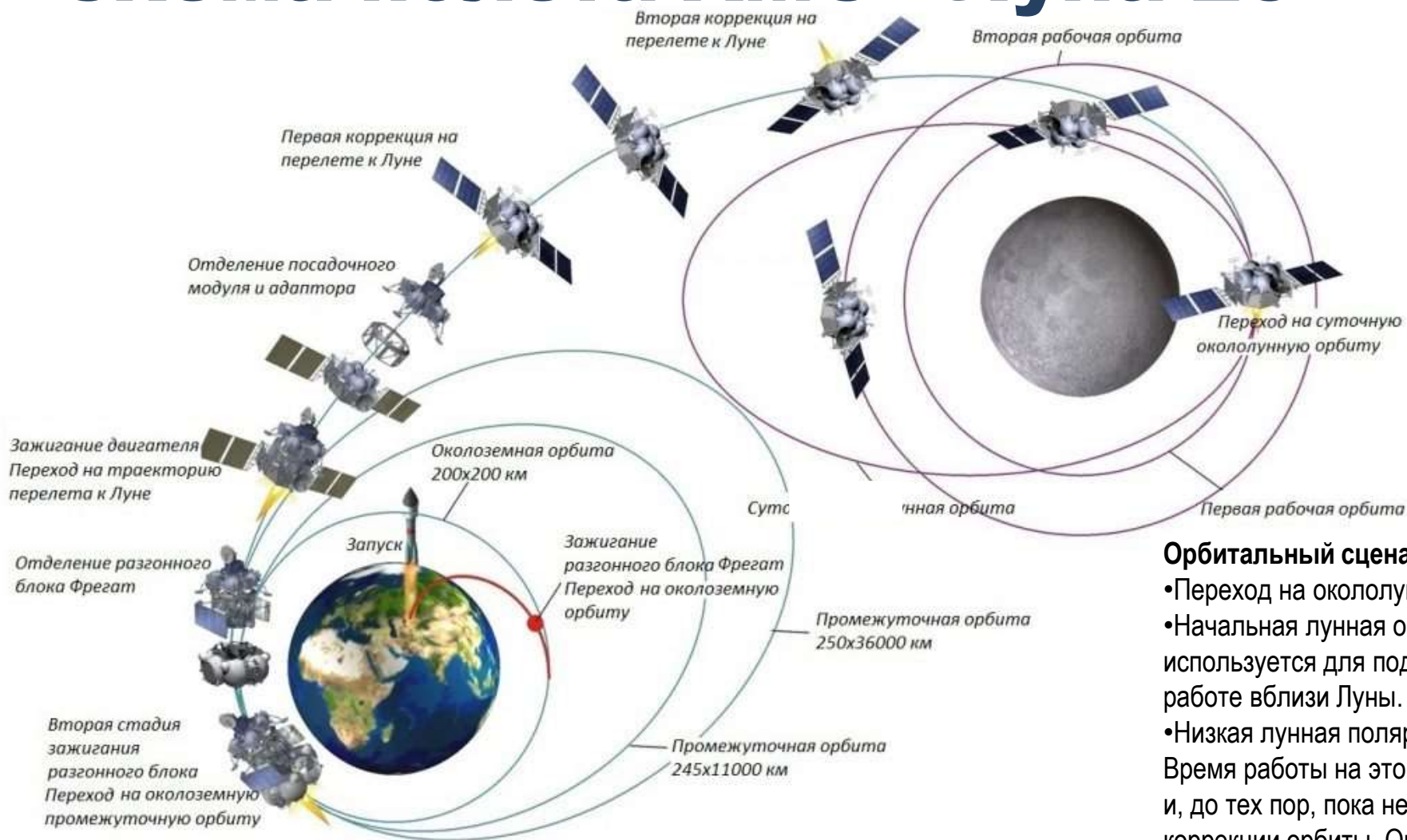
Окололунная наука

- Изучение состава и динамики экзосферы.
- Исследования взаимодействия солнечного ветра и Луны.
- Исследования лунных магнитных аномалий и динамики плазмы в них.
- Определение спектров микрометеоров вокруг Луны.

65



# Схема полёта АМС «Луна-26»



## Орбитальный сценарий миссии включает в себя:

- Переход на окололунную орбиту.
- Начальная лунная орбита (высотой около 150 км). Эта орбита используется для подготовки космического корабля к регулярной работе вблизи Луны.
- Низкая лунная полярная орбита с высотой от 60 до 80 км. Время работы на этой орбите составляет не менее одного года, и, до тех пор, пока не будет исчерпан запас топлива для коррекции орбиты. Орбита предназначена для проведения стереосъемки поверхности Луны.
- Высокая круговая полярная орбита с начальной высотой 150 км. Эта орбита позволит космическому аппарату работать до окончания проекта без коррекций орбиты.

# Как долететь до Луны? Наше время.

«Луна-27» - Посадочный аппарат для отработки технологии высокоточной и безопасной посадки, контактных исследований Луны в районе Южного полюса, включая бурение на глубину до 2 м с помощью криогенной глубинной бурильной установки.

Луна 27 это совместный проект Роскосмоса и Европейской космической ассоциации (ЕКА) по освоению естественного спутника Земли и часть российской лунной программы первого этапа. Другие названия этого же космического аппарата: «Луна-Ресурс-1 ПА» (сокр. от Посадочный Аппарат). Представляет собой тяжелый посадочный аппарат для извлечения с глубины и анализа образца лунного льда.



Автор: Vitaly V. Kuzmin - <http://vitalykuzmin.net/?q=node/525>, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=29470139>

# Автоматическая межпланетная станция «Луна-27»

Основные данные об экспедиции:

Дата запуска: август 2025 г.

Космодром Восточный

Средства выведения: «Союз-2/16» с РБ  
«Фрегат»

Масса аппарата 2200 кг.

Срок активного существования: Не менее  
1 года



Задачи, выполняемые АМС «Луна-27»

- Проведения контактных исследований в районе южного полюса Луны
- Поиска водяного льда при помощи нейтронного детектора, внедренного в поверхность Луны;
- Изучения магнитных аномалий на поверхности Луны.
- Исследования минералогического, химического, элементного и изотопного состава лунного реголита в образцах, доставляемых с различных глубин от поверхности до 2 метров из 2 - 3 разных мест около космического аппарата, и в образцах реголита поверхностного слоя;
- Исследования ионной, нейтральной и пылевой составляющих экзосферы Луны и эффектов взаимодействия поверхности Луны с межпланетной средой и солнечным ветром;

# Как долететь до Луны? Наше время.

## Автоматическая межпланетная станция «Луна-28»



«Луна-28» («Луна-Грунт») — планируемая российская автоматическая межпланетная станция (АМС) для посадки на Луну и доставки лунного грунта на Землю. В состав АМС входит посадочный аппарат с грунтозаборным устройством, техническими средствами забора и термостатирования образцов грунта, возвратной ракетой для доставки образцов лунного полярного грунта на Землю; часть российской лунной программы первого этапа. Задача станции — доставка на Землю герметично упакованного образца лунного льда в криогенном, замороженном состоянии, то есть в первозданном виде, без нарушения его структуры. В советский период образцы лунного грунта доставлялись на Землю в 1970-1976 годах станциями "Луна-16", "Луна-20" и "Луна-24".

# Как долететь до Луны? Наше время.

Дата запуска: 2027 г.

Космодром: Восточный

Средства выведения: РН «Протон» с РБ «Бриз-М»

Масса аппарата: до 4000 кг.

Срок активного существования: не менее



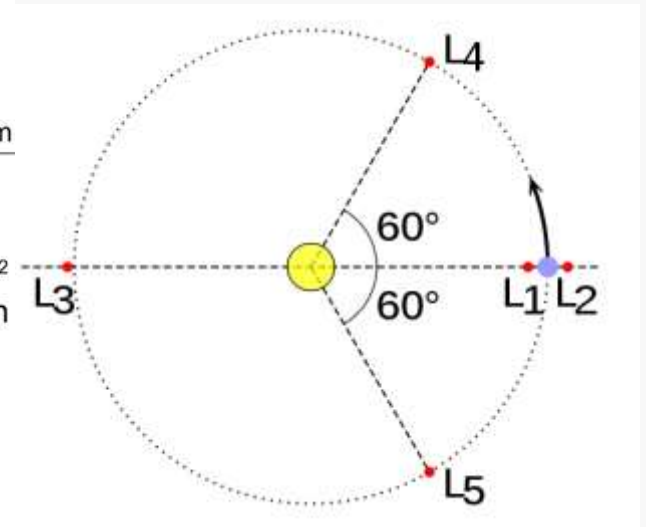
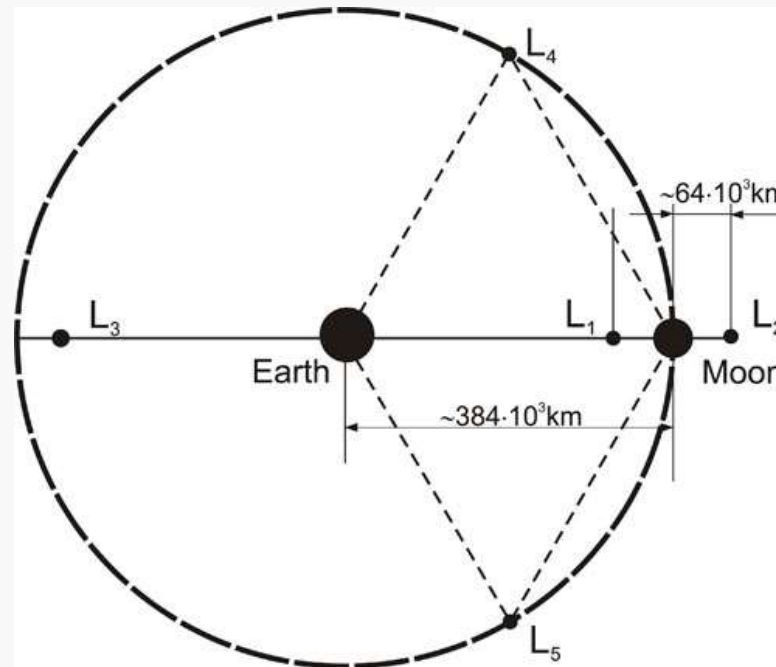
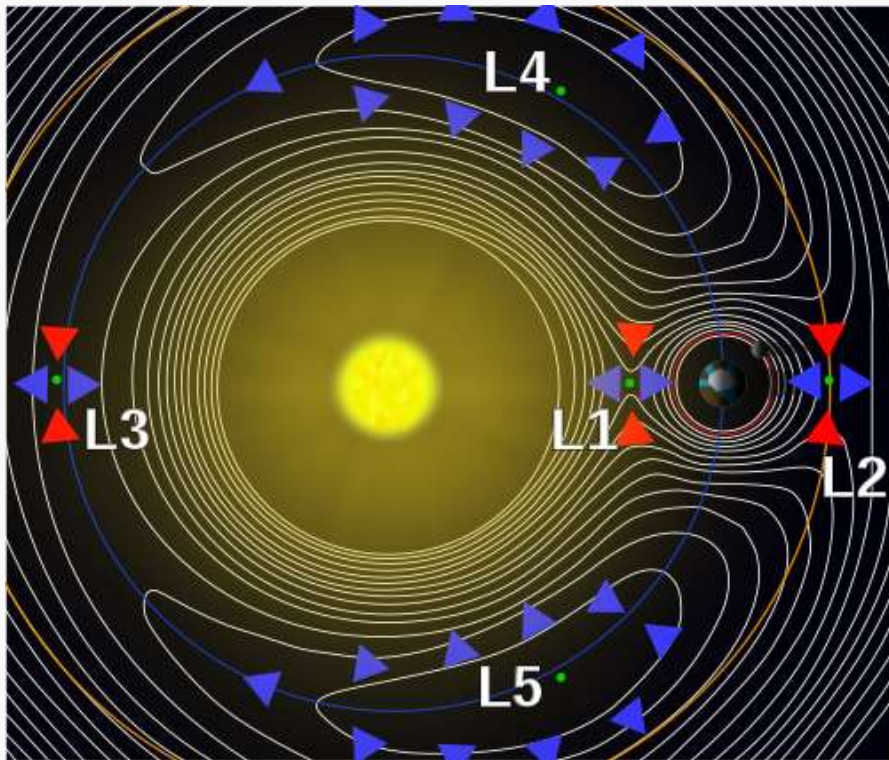
Цель миссии: Луна-Грунт – посадочный аппарат с грунтозаборным устройством, техническими средствами забора и термостатирования образцов грунта, возвратной ракетой для доставки образцов грунта на Землю. Задача станции - доставка на Землю герметично упакованного образца лунного льда ненарушенной структуры.

70



# «Особые точки» в космическом пространстве

Точки Лагранжа, точки либрации (лат. *librātiō* — раскачивание) или L-точки — точки в системе из двух массивных тел, в которых третье тело с пренебрежимо малой массой, не испытывающее воздействия никаких других сил, кроме гравитационных, со стороны двух первых тел, может оставаться неподвижным относительно этих тел.



Либрация — очень медленное колебание спутника, наблюдаемое с поверхности тела, вокруг которого он вращается.

# Результаты моделирования орбит Lunar Orbital Platform – Gateway выполненного студентами кафедры СМЗ

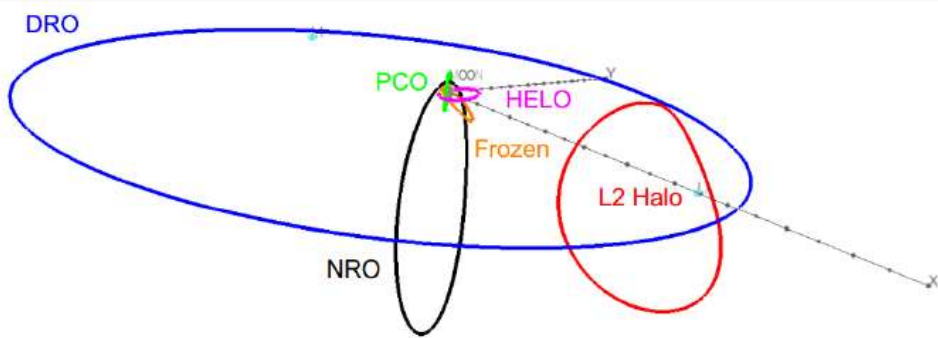


Figure 1. Orbit Types considered for Deep Space Gateway.

Table 1. Orbit Types considered for Deep Space Gateway.

Orbit Type

Near Rectilinear Halo Orbits, NRHO

Distant Retrograde Orbit, DRO

L<sub>2</sub> Halo

Low lunar Orbit, LLO

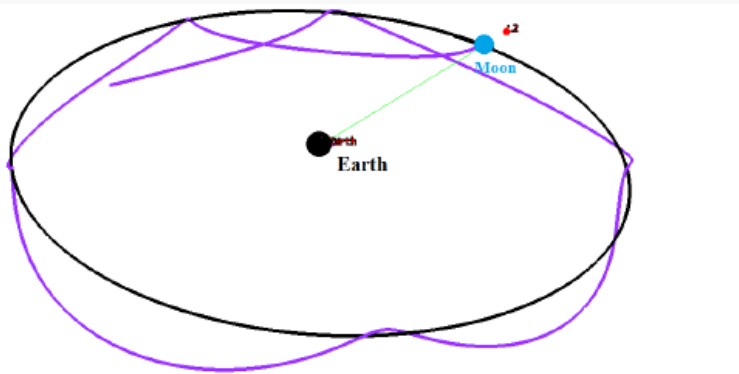


Figure 10. Near Rectilinear Halo Orbits in the system of central gravity of the Earth

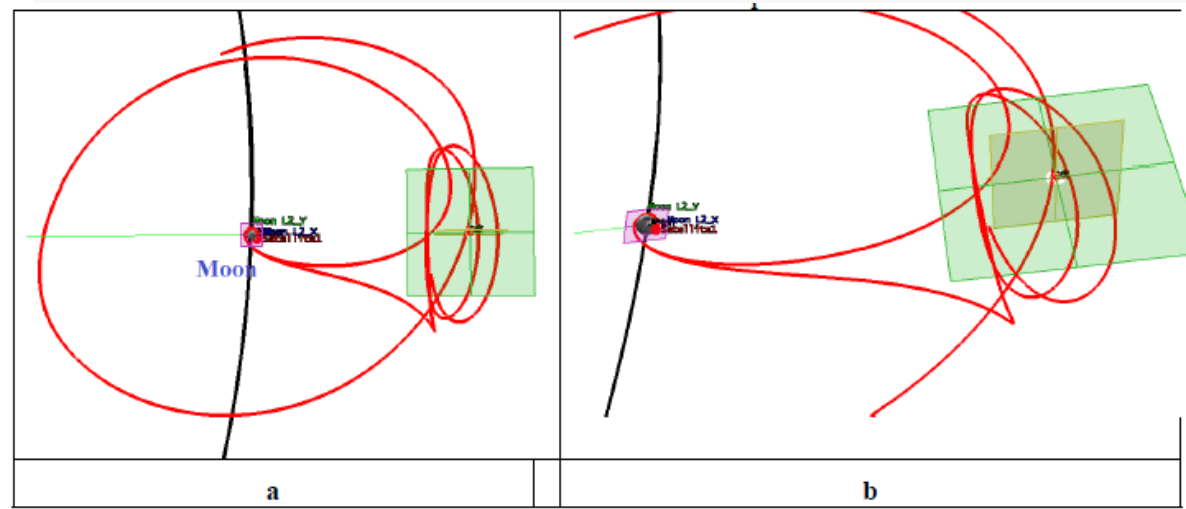
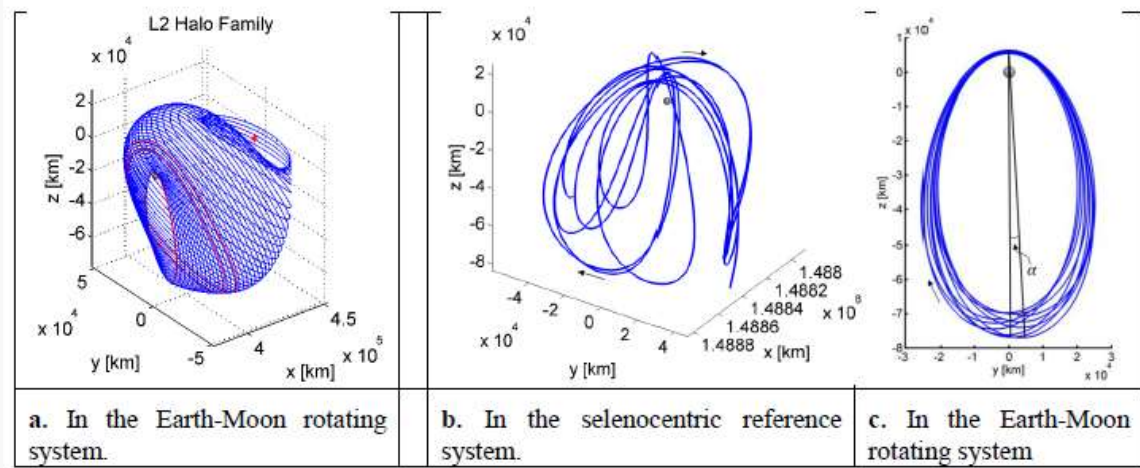
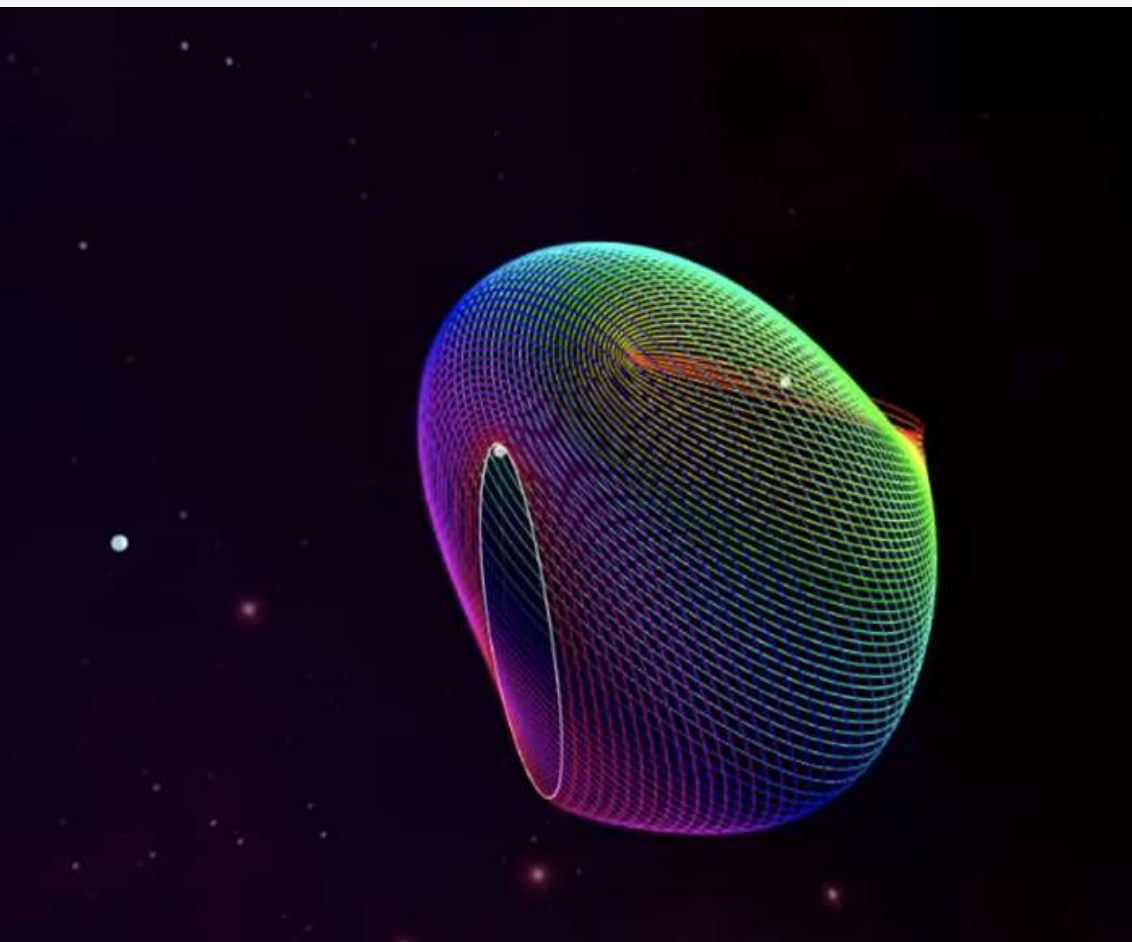


Figure 5. Halo orbit at libration point





# Deep Space Gateway – Lunar Orbital Platform - Gateway



NASA выбирала орбиту из следующего списка:

1. LLO. Низкая окололунная орбита. Высота около 100 км, период обращения около 2 часов.
2. PCO. Круговая орбита. Наклонение около  $75^\circ$ , высота 3-5 тысяч км, период обращения около 11 часов.
3. FLO. Замороженная орбита. Наклонение около  $40^\circ$ , высота 880-8'800 км, период обращения около 13 часов.
4. ELO. Эллиптическая орбита. Экваториальная, высота 100-10'000 км, период обращения около 14 часов.
5. NRO. Near Rectilinear orbit - собственно, о которой пост. Почти полярная, высота 2'000-75'000 км, период обращения 6-8 дней.
6. EMH. Гало-орбита вокруг  $L_2$ . Наклонение зависит от размера, расстояние от  $L_2$  - 0-60'000 км, период - 8-14 дней.
7. DRO. Высокая ретроградная орбита. Экваториальная, высота около 70'000 км, период обращения 14 дней.

73

Здесь средняя точка - Луна, левая точка -  $L_1$ , правая -  $L_2$ , красный овал - гало-орбита вокруг  $L_2$ . А вот белый эллипс - это как раз наша Near Rectilinear Halo Orbit, на которую и планируется вывести станцию.

Несмотря на название, содержащее слово "прямолинейный" (rectilinear), космический аппарат на такой орбите не двигается по прямолинейной траектории:

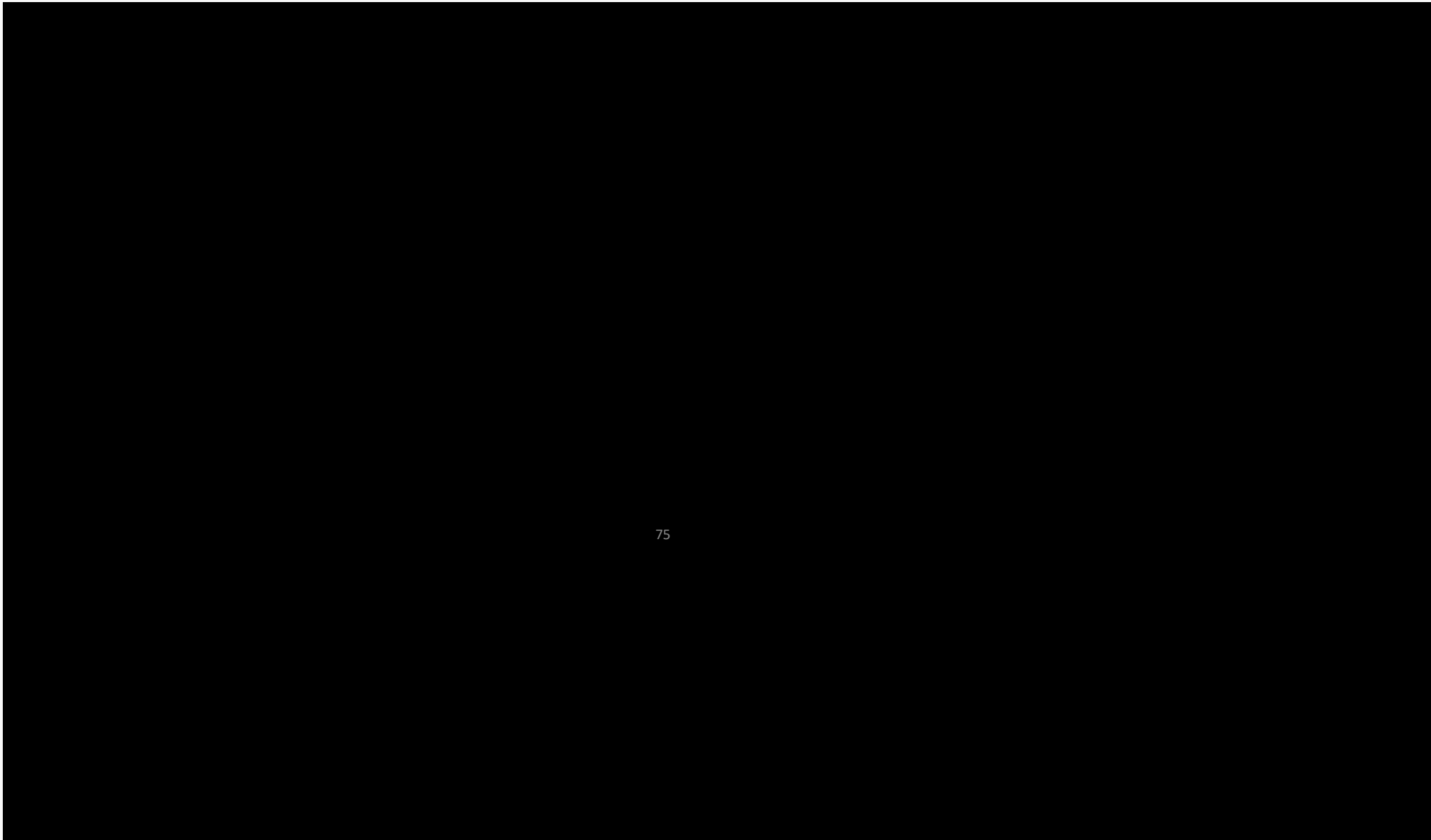
## Некоторые преимущества:

1. NRO обеспечивает простой доступ к точкам Лагранжа системы Земля-Луна. настолько простой, что можно без проблем осуществлять ремонт, обслуживание или дозаправку аппаратов.
2. Из точек Лагранжа системы Земля-Луна можно довольно просто добраться в точки Лагранжа системы Земля-Солнце (затраты - десятки м/с дельты). То есть, тоже можно осуществлять поддержку космических аппаратов.
3. Из  $L_2$  системы Земля-Луна можно с низкими затратами дельты отправляться в межпланетные путешествия (например, к Марсу). Это хорошо соответствует одной из основных целей станции - "служить испытательным полигоном для технологий межпланетных перелетов".

# Путешествие к Луне и обратно на Землю



# Визуализация перелета к Луне



75

# Запланированные пилотируемые лунные программы

2029 год

## Орёл (космический корабль)

Пилотируемый полет корабля Орёл на окололунную орбиту (к станции), испытательный полет ЛВПК, стыковка с пилотируемым кораблем (станцией), посадка ЛВПК без экипажа

2031 год

## Лунный взлетно-посадочный комплекс/Орёл (космический корабль)

Высадка на Луну экипажа из 3 космонавтов с 14-суточной миссией

2034 год

## Лунный взлетно-посадочный комплекс/Орёл (космический корабль)

Высадка на Луну космонавтов в целях начала строительства лунной базы



# Запланированные пилотируемые лунные программы

2035 год

**Лунный взлетно-посадочный комплекс/Орёл (космический корабль)**  
Высадка на Луну космонавтов в целях проведения поездок на луномобиле и тестирования робототехнических комплексов

После  
2035

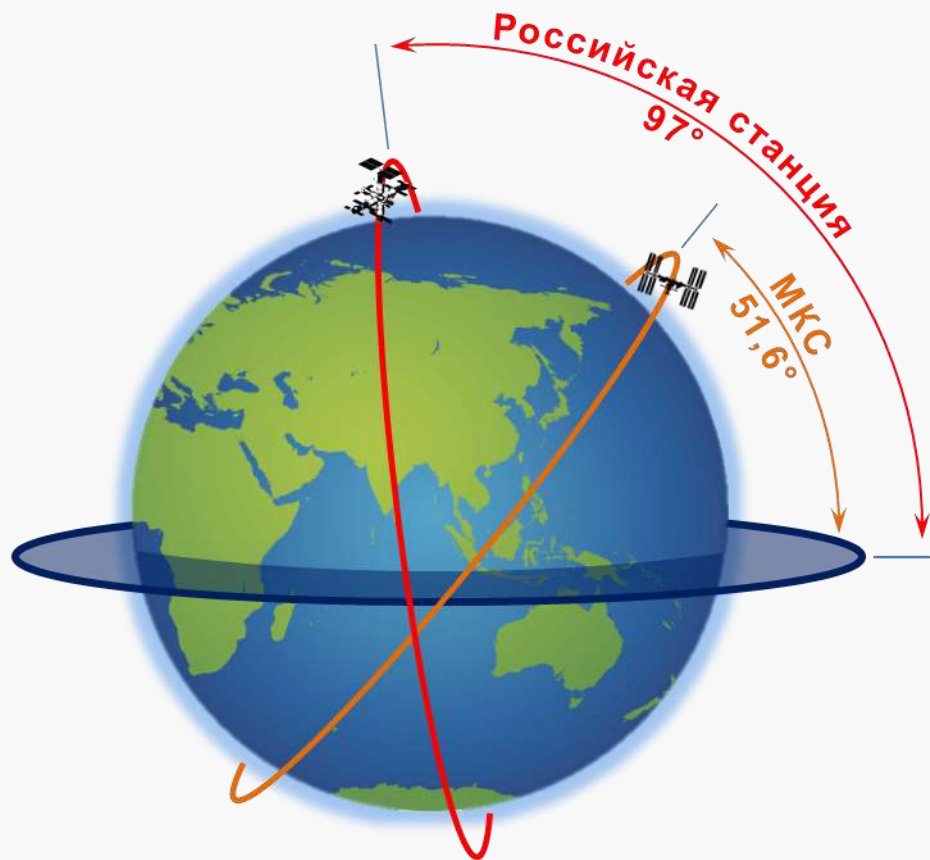
**Лунный взлетно-посадочный комплекс/Орёл (космический корабль)**  
Высадка на Луну космонавтов в целях продолжения строительства лунной базы

После  
2035

**Лунный взлетно-посадочный комплекс/Орёл (космический корабль)**  
Высадка на Луну космонавтов в целях продолжения строительства лунной базы и проведения экспериментов

77

# Применение околоземной станции для Лунной миссии



## Российская орбитальная служебная станция (РОСС)

Некоторые предполагаемые возможности РОСС:

- Наблюдение всей территории Российской Федерации;
- Сборка транспортной системы для реализации Лунной программы.

Высота орбиты станции — от 300 до 350 км.

Наклонение  $97^\circ$  (МКС –  $51,6^\circ$ )

**РОСС**

Каждые 1,5 часа позволяет видеть Арктику, а любую точку планеты — раз в двое суток.

Солнечно-синхронная орбита

Источник: Муртазин Р.Ф., Круглый стол XLVI академических чтений по космонавтике «Королёвские чтения»



# ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ВТОРОМ ЭТАПЕ РАЗВЕРТЫВАНИЯ



| ХАРАКТЕРИСТИКА  | ЗНАЧЕНИЕ             |
|---|----------------------|
| Объемы гермоотсеков .....   | 667 м <sup>3</sup>   |
| Объемы для целевого оборудования .....  | до 49 м <sup>3</sup> |
| Электроэнергия для научного оборудования .....                                    | 55 кВт               |
| Количество внешних рабочих мест, оснащенных всеми необходимыми интерфейсами ..... | 48                   |
| Хранение топлива АТ+НДМГ .....  | до 9100 кг           |
| Информационный обмен .....  | до 300 Мбит/с        |
| Экипаж, человек .....   | 2 (4)                |
| Кораблей посещения в год (пилотируемых / грузовых) .....                          | 1–2 / 1–3            |
| Космодром   | Восточный, Плесецк   |

# Лунная база



## ЛВПК

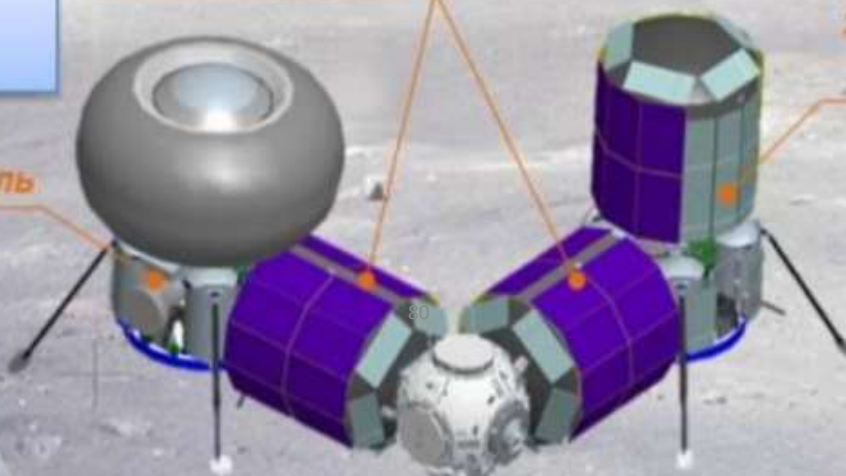
- ❖ Доставка экипажа
- ❖ Доставка научного оборудования и образцов
- ❖ Обеспечение работы экипажа на поверхности

**Автоматические аппараты**  
Разведка района перед высадкой

*Лабораторный модуль*

*Энергетический модуль*

*Базовый модуль*



## Модули лунной базы

- ❖ Длительная работа экипажа на поверхности
- ❖ Проведение ВнеКД
- ❖ Возможность стыковки с луноходом
- ❖ Размещение научного оборудования

## Самоходный модуль (луноход)

- ❖ Передвижение экипажа по поверхности
- ❖ Проведение работ без ВнеКД
- ❖ Сбор образцов в автоматическом режиме



# Точно не хотите на Марс?

1. **ХОТИМ**

81

2. **Давайте  
дальше**

04

Ещё немного  
теории

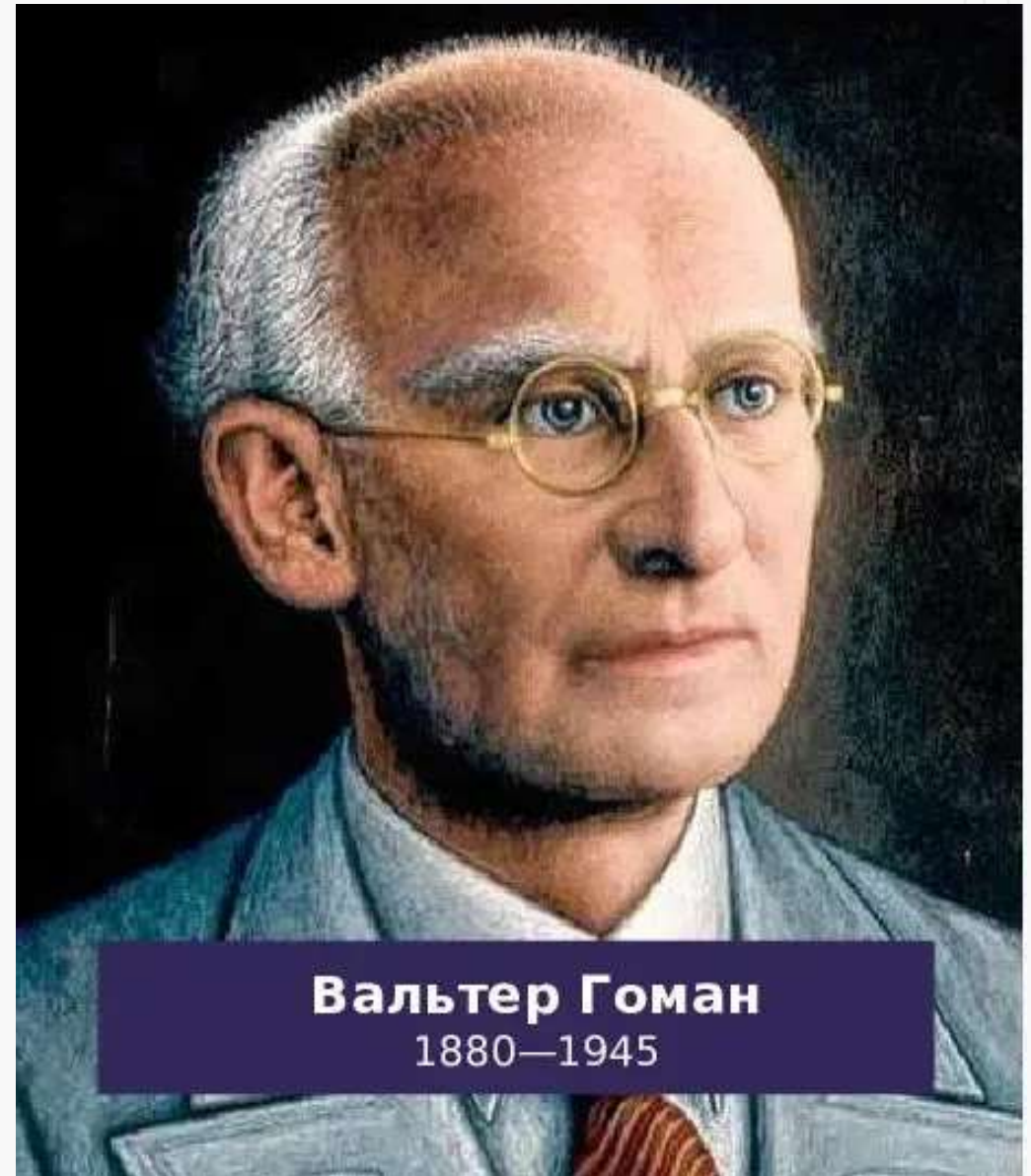


# Кто такой Гоман?

Вальтер Гоман  
(нем. Walter Hohmann, 18 марта 1880—11 марта 1945) — немецкий инженер, сделавший важный вклад в понимание орбитального движения.

В опубликованной в 1925 году книге, он математически обосновал способ перехода космического корабля между двумя орбитами с минимальными затратами топлива, впоследствии названный гомановской траекторией или Эллипсы Гомана

Источник: Wikipedia

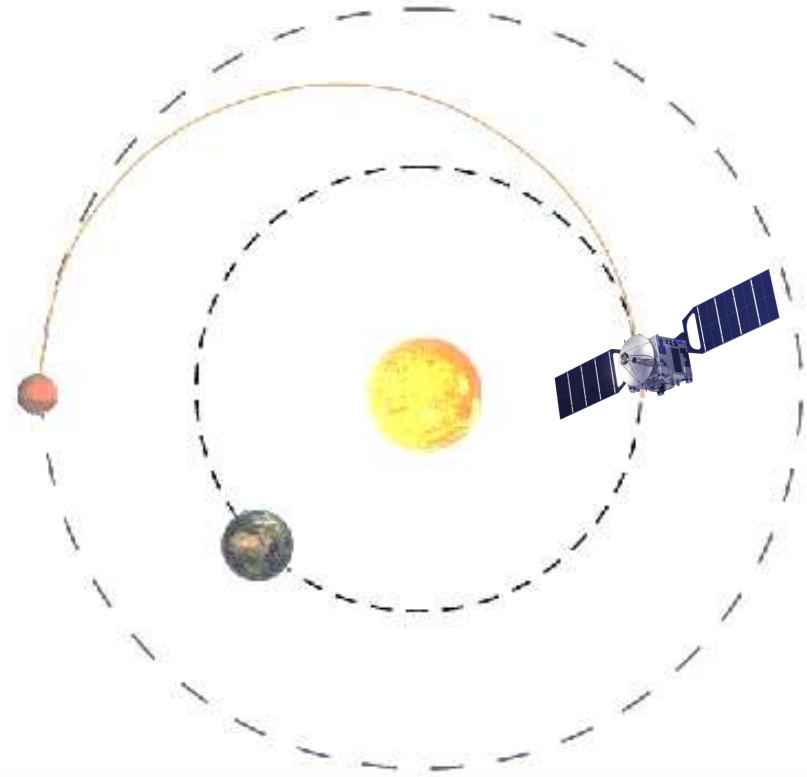


**Вальтер Гоман**  
1880—1945

# Гомановская траектория

## Определение

В небесной механике эллиптическая орбита, используемая для перехода между двумя другими орбитами, обычно находящимися в одной плоскости. В простейшем случае она пересекает эти две орбиты в апоцентре и перигентре.



Полуэллиптическая  
(гомановская) орбита

# Как же перемещаться в космосе?

Во всех случаях перехода КА с одной орбиты на другую имеют место два участка траектории



Этап дальнего выведения

КА переводится с одной орбиты (ожидания) на другую орбиты в район цели.

При этом различают компланарные и некомпланарные переходные орбиты, необходимые для осуществления маневра.

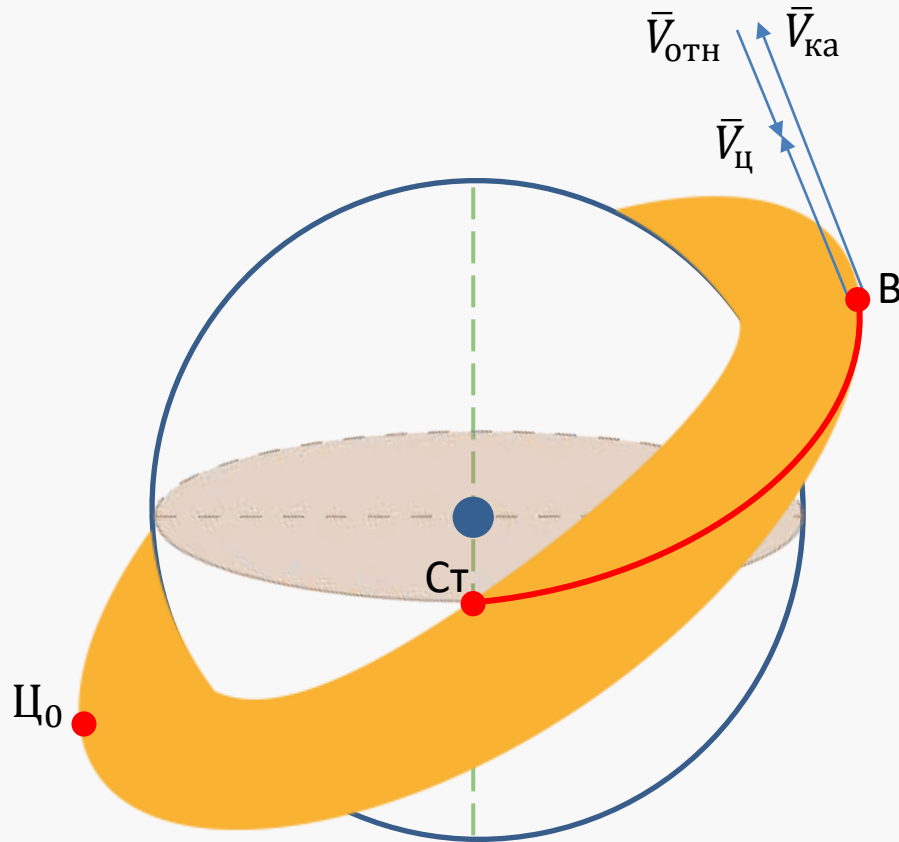


Этап ближнего наведения

На этом этапе движения КА с помощью системы наведения сближается с КА цели.

В этом случае необходимо иметь угловую стабилизацию КА, а также специальную систему наведения с двигательными установками.

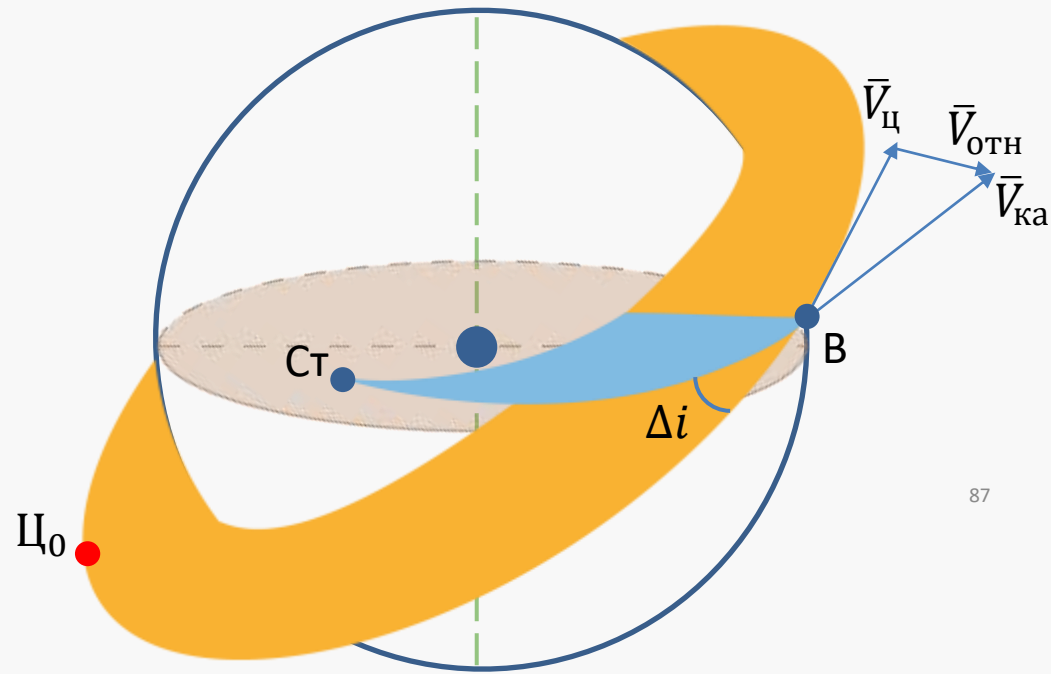
## Этап дальнего выведения. Старт носителя с КА с Земли в плоскости орбиты КА-цели и непосредственно выход к цели



В этом случае необходимо, чтобы момент, когда Земля повернется таким образом, точка старта находилась в плоскости орбиты КА-цели

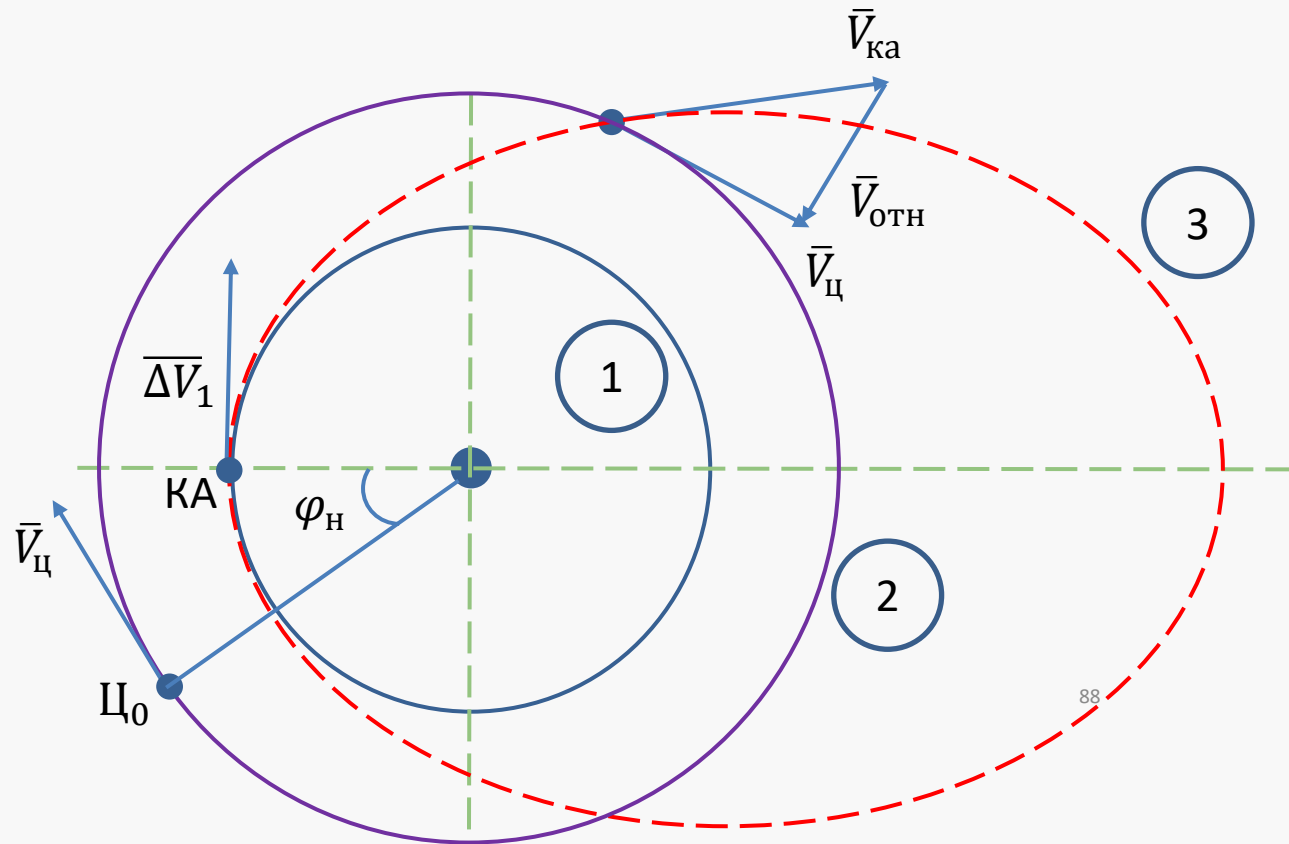
Кроме этого, трудно обеспечить достаточную точность выхода к цели без промежуточной орбиты ожидания, так как требуется, чтобы в момент встречи КА-цель находился в определенном положении на орбите, то есть  $t_{ВКА} = t_{ВКА-Ц}$

Старт носителя с КА с Земли и непосредственно выход к КА-цели с плоскости переходной орбиты не компланарно плоскости орбиты цели



С точки зрения минимума времени выхода к КА-цели метод достаточно хорош, но требует большого количества топлива на переход.

## Переход КА на орбиту цели с орбиты ожидания, находящейся в плоскости орбиты цели

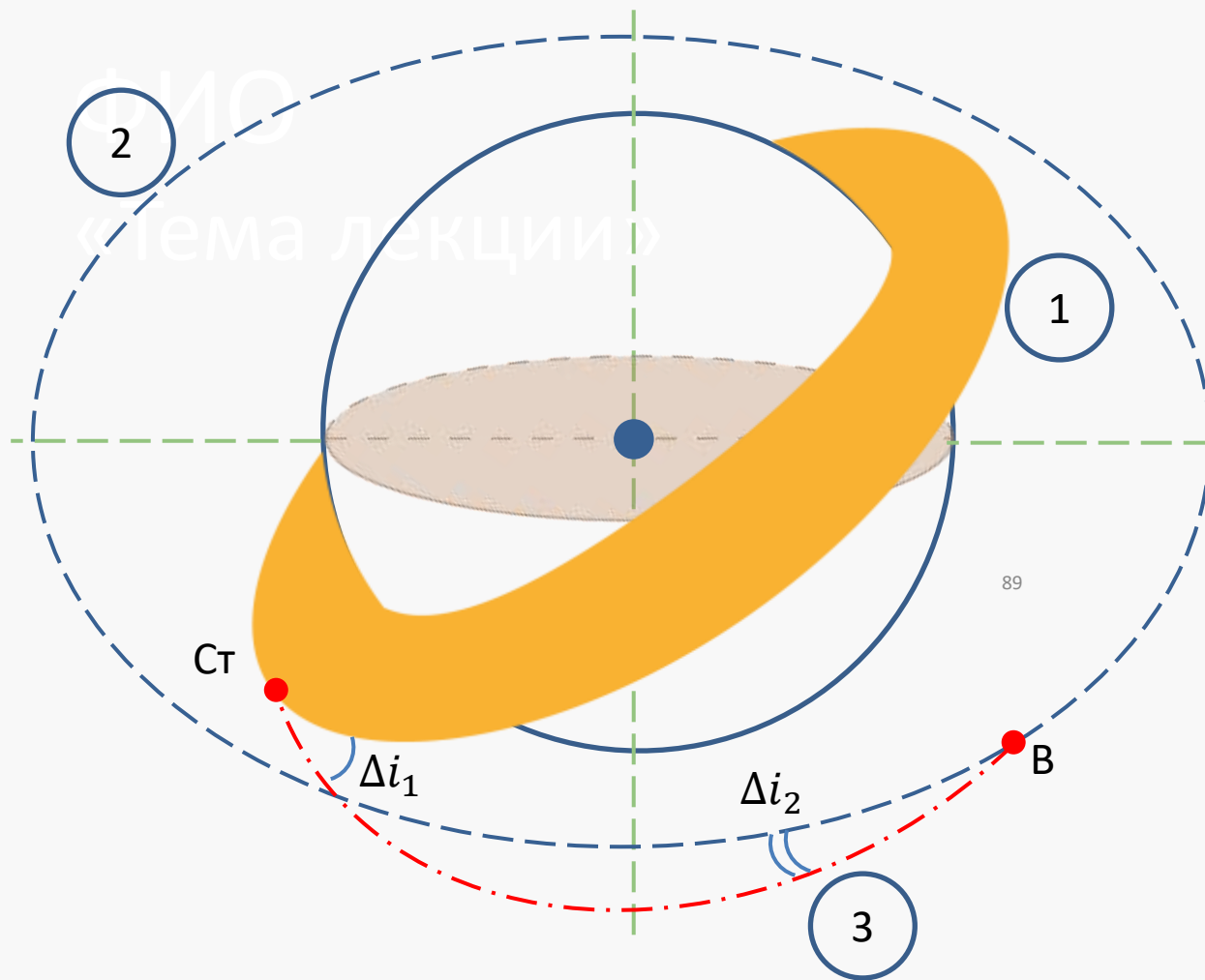


КА находится на орбите ожидания и выжидает, чтобы получилось требуемое угловое положение КА и цели ( $\varphi_n$ ), при котором возможен синхронный выход КА к цели в точке встречи.

- 1 – орбита ожидания
- 2 – орбита КА-цели
- 3 – переходная орбита



## Переход КА на орбиту цели с орбиты ожидания, не находящейся в плоскости орбиты цели (некомпланарный переход)



Этот случай перехода требует повышенного расхода топлива на переход

$$V_{\text{отн}} = V_{\text{ц}} - V_{\text{КА}}$$

Однако можно выбрать значительно раньше по времени момент на переход с орбиты на орбиту.

К этому же варианту относится случай перехода, когда орбита перехода не компланарна как орбите ожидания, так и орбите цели.

# Общие сведения о Марсе

Марс - четвёртая по удалённости от Солнца и седьмая по размерам планета Солнечной системы. Имеет два спутника – Фобос и Деймос (страх и ужас на др. греч.)

**Какой формы Марс?** Основными особенностями поверхностного рельефа Марса считаются ударные кратеры, вулканы, долины, пустыни и полярные ледниковые шапки. Самая высокая гора на планетах Солнечной системы Олимп – это потухший марсианский вулкан.

**Какая поверхность Марса?** планета земной группы с поверхностью, которая состоит из минералов, содержащих кремний и кислород, металлы и другие элементы, которые обычно составляют породу. Марсианская поверхность в основном состоит из толейитового базальта,<sup>[70]</sup> хотя части более богаты кремнеземом, чем типичный базальт, и могут быть похожи на андезитовые породы на Земле или кварцевое стекло.

<sup>90</sup>

**Какая атмосфера на Марсе?**

Атмосфера состоит на 95 % из углекислого газа. Температура на экваторе планеты колеблется от +30 °С в полдень до -80 °С в полночь. Вблизи полюсов температура может упасть до -143 °С. Ускорение свободного падения на марсе 3,86 м/с<sup>2</sup>

# Для чего лететь на Марс?

Главная причина всех миссий на Марс — наука! Учёные изучают самую доступную для нас (кроме Земли) планету с целью:

Углубится в историю формирования Солнечной системы.

Изучить влияние инопланетных условий на человека.

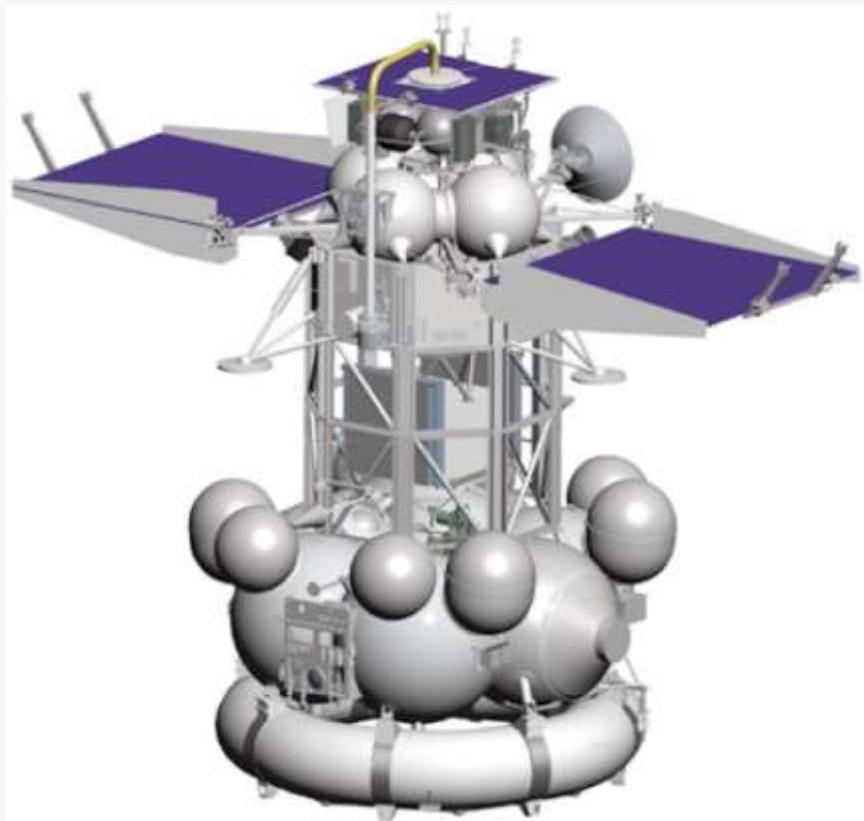
Обнаружить признаки живых организмов.

Появится стимул для решения новых задач и зарождению научных течений.

Запустить новый виток прогресса в области космических разработок, биологии, геологии, психологии и пр.

# Миссии по изучению Марса

## Фобос-Грунт



Пуск 9 ноября 2011 года, нештатная ситуация, межпланетная станция не смогла покинуть окрестности Земли, оставшись на низкой околоземной орбите. 15 января 2012 года сошла с орбиты.

## Цель

В рамках этой миссии планировалась доставка образцов грунта на Землю для его дальнейшего изучения. Научную информацию также планировалось получить методом прямых измерений; после посадки спускаемого модуля и дистанционно - в период сближения с Фобосом. Долговременная посадочная станция на поверхности Фобоса позволила бы провести и наблюдения Марса.

Источник: © Роскосмос;  
© НПО им. С.А.  
Лавочкина

<https://www.laspacespace.ru/projects/planets/fobos-grunt/>

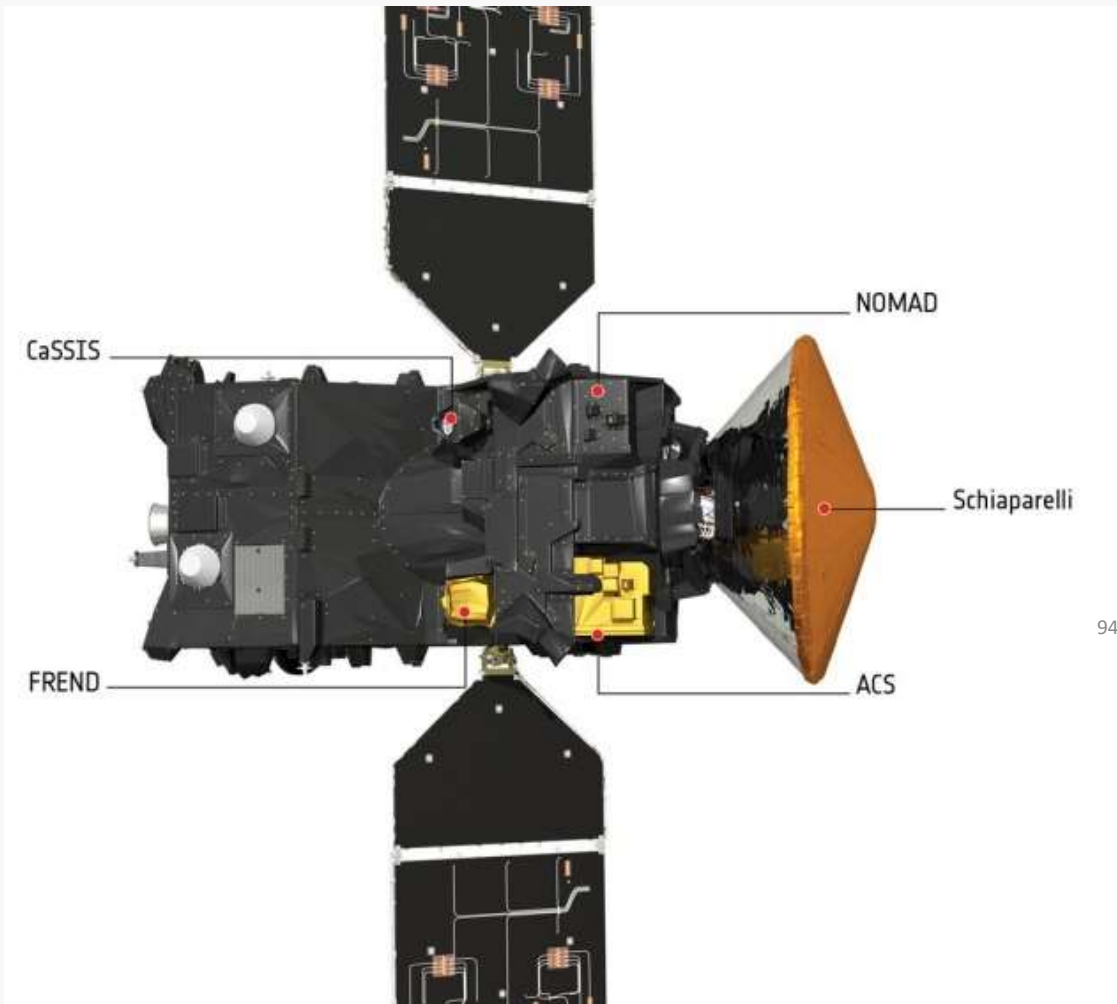
# Миссии по изучению Марса

## Схема экспедиции Фобос-Грунт



<https://www.laspace.ru/projects/planets/fobos-grunt/>

# Миссии по изучению Марса



## ExoMars-2016

14 марта 2016 года в с космодрома БАЙКОНУР успешно стартовала ракета-носитель «Протон-М» с разгонным блоком «Бриз-М» и двумя космическими аппаратами российско-европейской миссии ExoMars-2016 («Экзомарс-2016») :

- Демонстрационным посадочным модулем «Скиапарелли»
- Орбитальным модулем «Трейс Газ Орбитер»

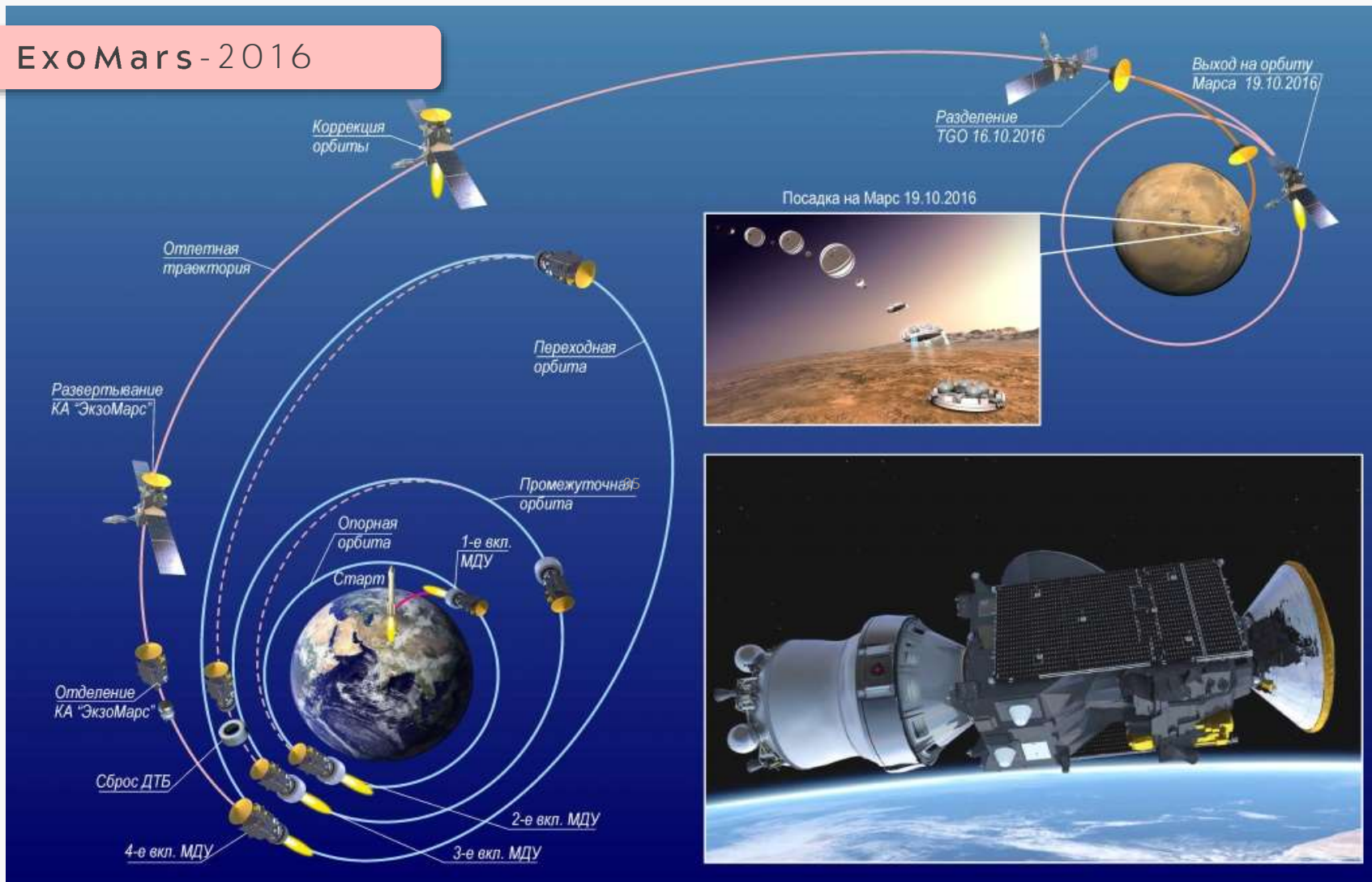
### Научные задачи

- исследовать состав атмосферы и климат планеты с орбитального аппарата;
- измеряя содержание газов в атмосфере, изучить возможный вулканизм Марса с орбиты;
- изучить распространённость воды в подповерхностном слое с орбиты;
- определить теоретическую пригодность поверхности Марса для существования жизни;
- разведать районы посадки ExoMars-2018;
- провести мониторинг радиационной обстановки на траектории перелёта, на орбите и поверхности планеты;

94

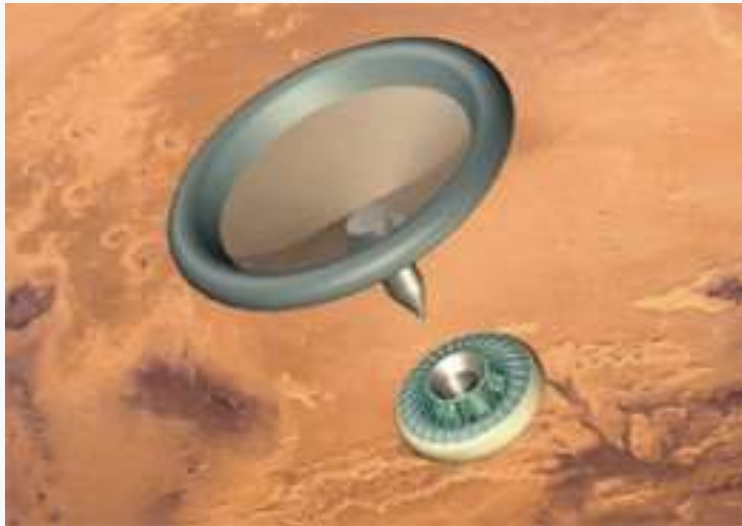
# Миссии по изучению Марса

Схема полета ExoMars-2016

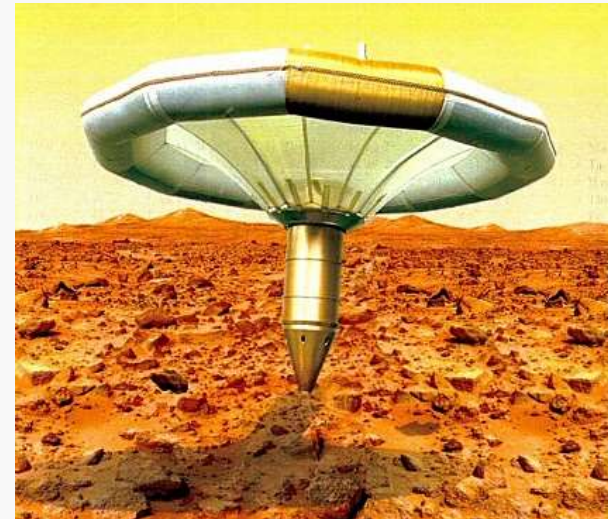


# Как выполнить посадку на Марс?

MetNet, Мет-нет (от англ. meteo network) – малая метеорологическая станция (ММС) по российско-финскому проекту автоматической межпланетной станции (АМС), предназначенная для посадки на поверхность Марса с целью проведения мониторинга состояния атмосферы Марса в точке посадки в течение одного марсианского года. Предполагается, что ММС может стать базовым элементом глобальной сети Марс-нет, MarsNet (от англ. Mars network) долгоживущих мини-метеостанций, которая позволит наблюдать за динамикой изменения параметров атмосферы Марса.



© Роскосмос; © НПО им. С.А. Лавочкина, © FMI



© Роскосмос; © НПО им. С.А. Лавочкина, © FMI



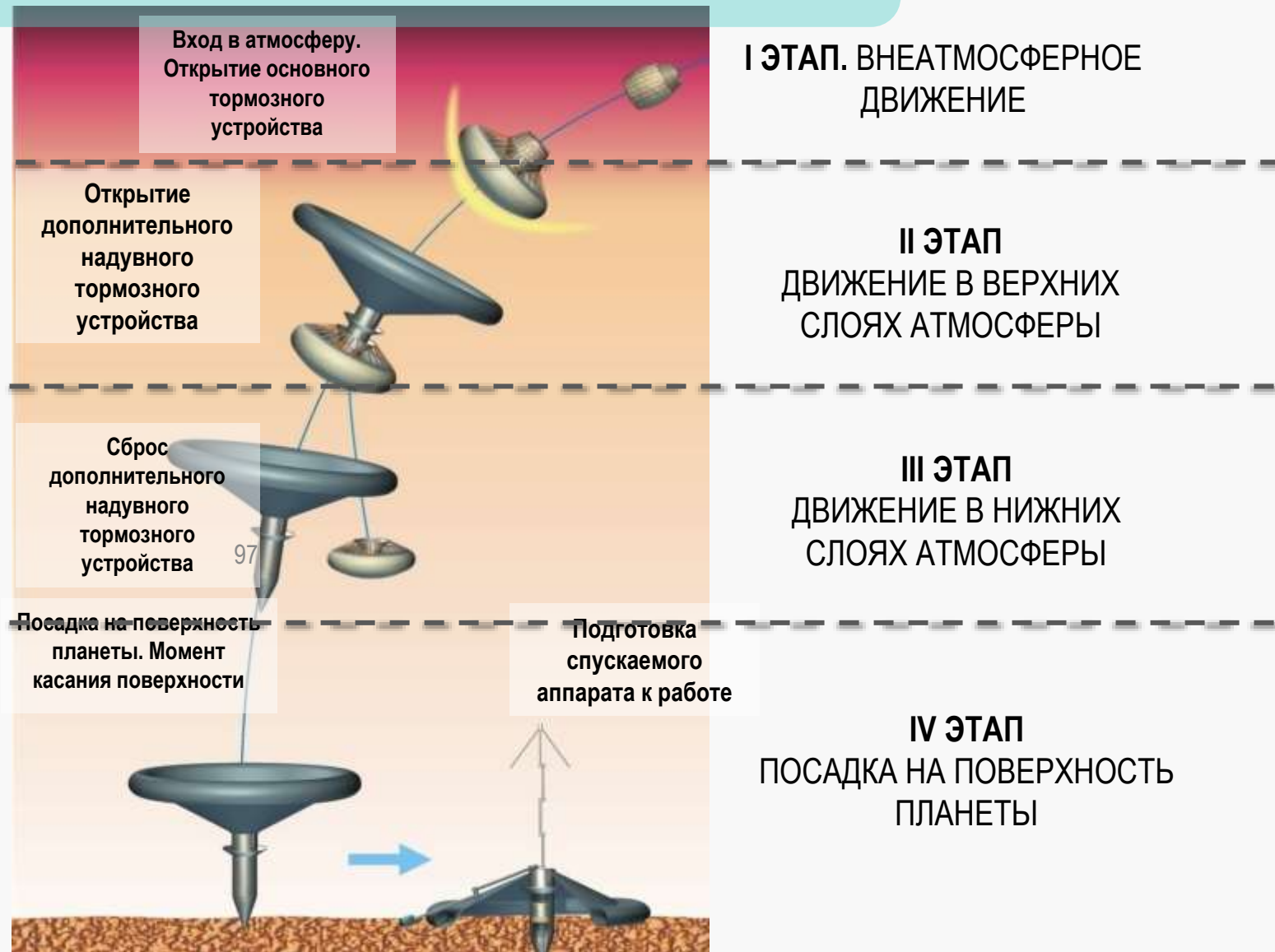


# Как выполнить посадку на Марс?

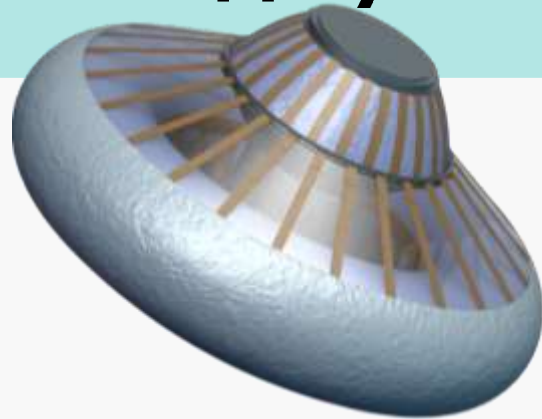
## Основная идея проекта METNET:

Разработать небольшой космический аппарат для спуска в атмосфере Марса с использованием надувных тормозных устройств для снижения скорости

## СХЕМА ДВИЖЕНИЯ



# Как выполнить посадку на Марс?



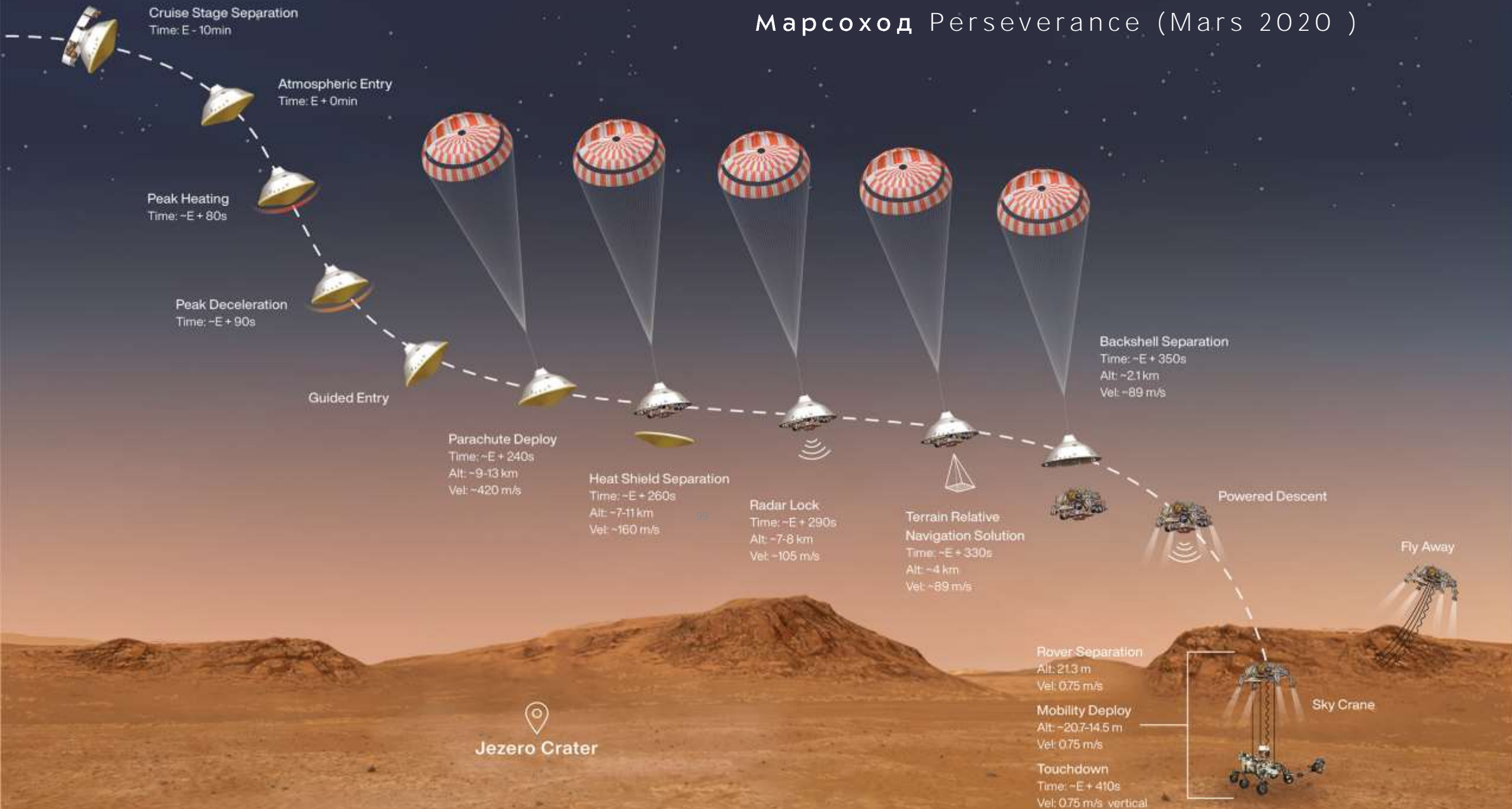
Внешний вид спускаемого аппарата в сложенном состоянии

Внешний вид спускаемого аппарата с раскрытым основным надувным тормозным устройством

Внешний вид спускаемого аппарата с раскрытым дополнительным надувным тормозным устройством

| Размер   | $S, \text{ м}^2$<br>наибольшее по площади поперечное сечение тела | $m, \text{ кг}$<br>масса спускаемого аппарата | $l, \text{ м}$<br>длина спускаемого аппарата с развернутым надувным тормозным устройством |
|----------|---|---|---|
| Значение | 0,785   | 17  | 0,585   |

# Марсоход Perseverance (Mars 2020)



# Общие сведения о Фобосе

Фобос - является самым внутренним и крупным из двух естественных спутников Марса, другим является Деймос.

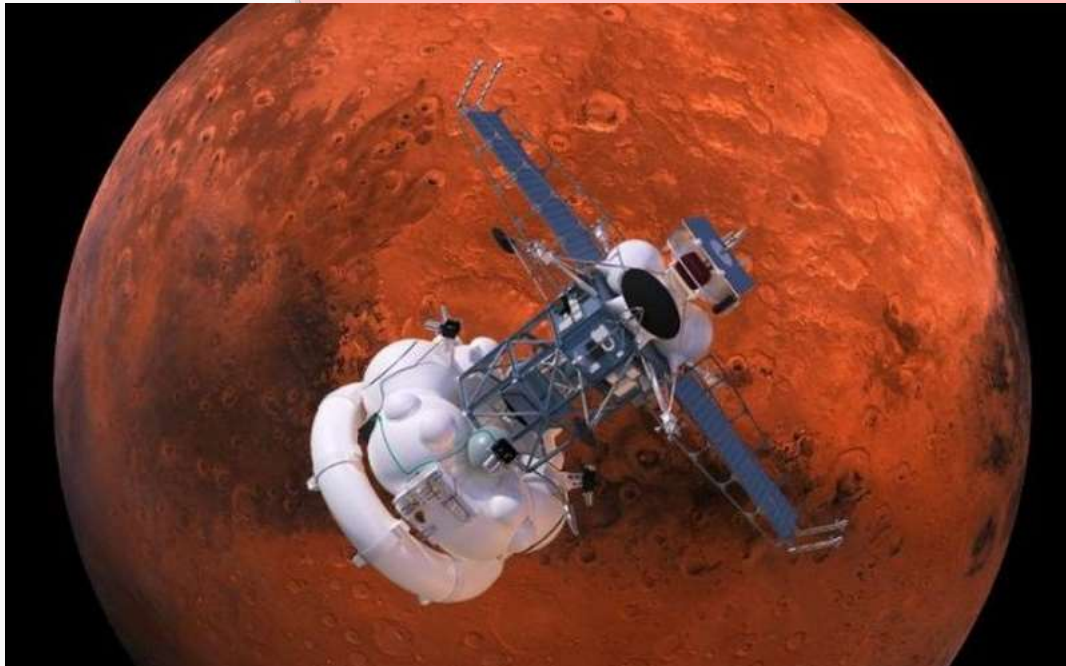
Это небольшой объект неправильной формы со средним радиусом 11 км (7 миль). Фобос вращается в 6000 км (3 700 миль) от поверхности Марса, ближе к своему основному телу, чем любая другая известная планетарная луна. Он настолько близок, что вращается вокруг Марса намного быстрее, чем вращается Марс, и завершает орбиту всего за 7 часов и 39 минут. В результате с поверхности Марса он, кажется, поднимается на западе, перемещается по небу за 4 часа и 15 минут или меньше и устанавливается на востоке, дважды в марсианский день.



# Для чего лететь на Фобос?

Цели миссий к Фобосу:

- Изучение поверхности спутника
- Изучение межпланетной среды
- Наблюдение за Солнцем
- Определение характеристик плазменной среды в окрестностях планеты
- Исследование Марсианской атмосферы



АМС «Фобос Грунт»



Схема посадки АМС «Фобос»

# Общие сведения о Венере

Венера - вторая по удалённости от Солнца и шестая по размеру планета Солнечной системы. По ряду характеристик — например, по массе и размерам — Венера считается «сестрой» Земли.

## Какая атмосфера на Венере?

Венера обладает самой плотной атмосферой среди планет Солнечной системы. На нижних слоях всегда имеется крупное скопление белых облаков. Большую часть атмосферы составляет двуокись углерода (96%). Остальной объём приходится на азот (3%) и серу (1%). Таким составом обуславливается высокая температура поверхности.

**$T > 460^{\circ}\text{C}$**

## Какая поверхность Венеры?

На поверхности Венеры преобладают геологические особенности, которые включают вулканы, большие ударные кратеры, эоловую эрозию и осадочные формы рельефа. Рельеф Венеры отражает ее единую мощную плиту земной коры с одномодальным распределением высот (более 90% поверхности находится в пределах высот -1,0 и 2,5 км), что сохраняет геологические структуры в течение длительных периодов времени.

# Венера – Д - будущая российская автоматическая межпланетная станция (АМС) для изучения Венеры

Усовершенствованный аналог советских аппаратов серии «Венера». Запуск аппарата планируется в 2029 году. В случае удачной реализации «Венера-Д» станет первым с 1984 года венерианским зондом, запущенным Россией.



# «ВЕНЕРА-Д»

## Задачи миссии:

- проведение детальных исследований Венеры дистанционными и контактными методами с борта орбитального аппарата, четырёх аэростатных зондов и посадочного аппарата



Дата начала миссии – 2022 год.  
Заинтересованность в участии в проекте проявлена представителями Европейского космического агентства.



Вход ПА в атмосферу планеты:  
 $H_{вх} = 130 \text{ км}$

Схема спуска ПА класса «несущий корпус» без использования дополнительных тормозных средств спуска ПМ

Прохождение ПА максимальных механических и тепловых нагрузок

Совершение маневров ПА

Совершение ПА нескольких входов в атмосферу

Сброс <sup>105</sup> посадочного модуля:  
 $H = 30 \text{ км}$

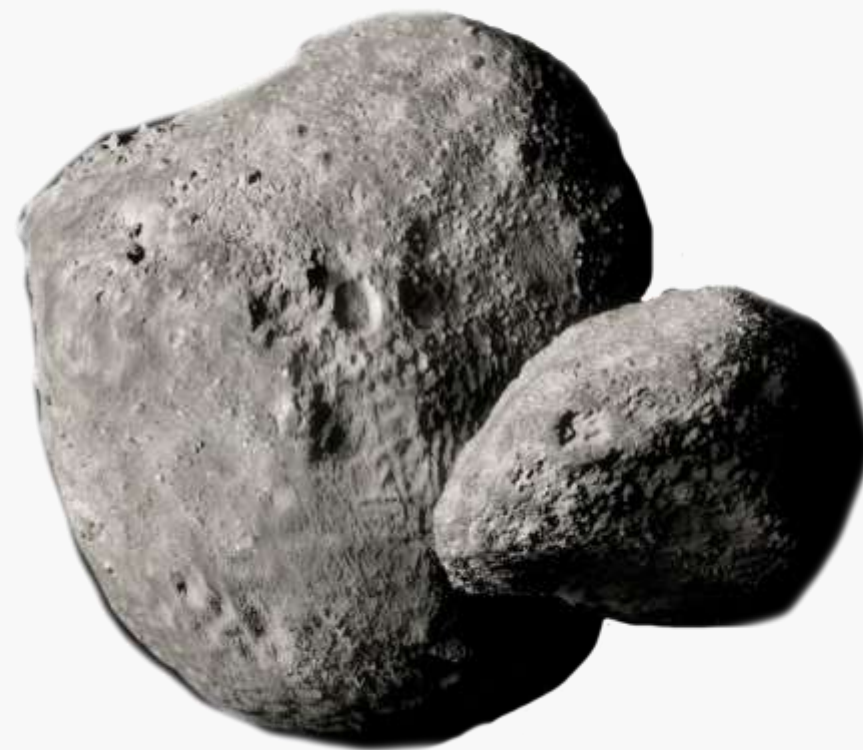
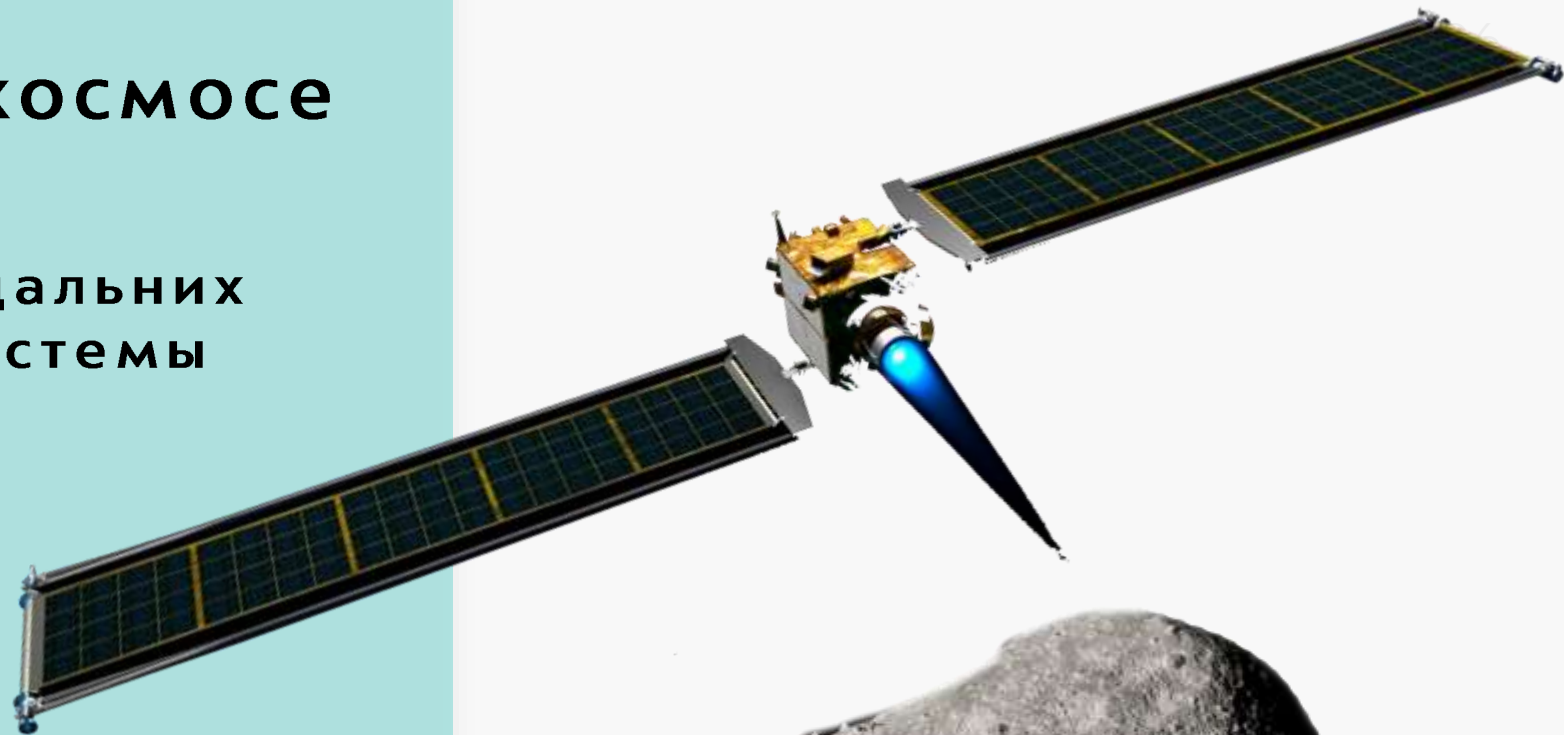
Посадка посадочного модуля:  
 $V = 16,8 \text{ м/с}$



# Другие миссии в космосе

## Миссия по изучению дальних планет Солнечной системы Voyager

Первый в истории проект по изменению траектории астероидов и их перенаправлению, предполагающий запуск беспилотного управляемого космического аппарата к двойному околоземному астероиду Дидим и столкновение с его компонентом Диморф.





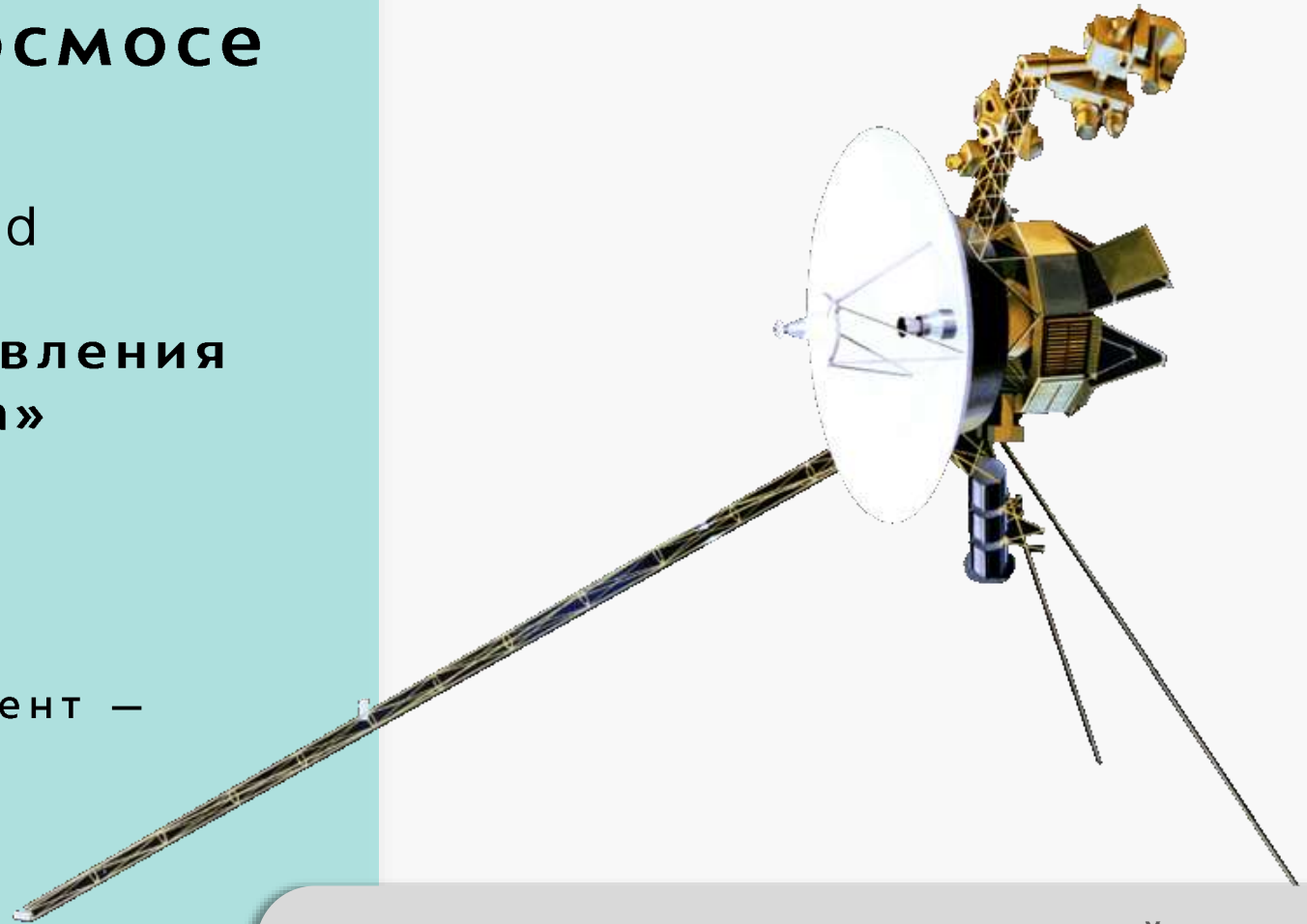
107

# Другие миссии в космосе

## DART Double Asteroid Redirection Teste

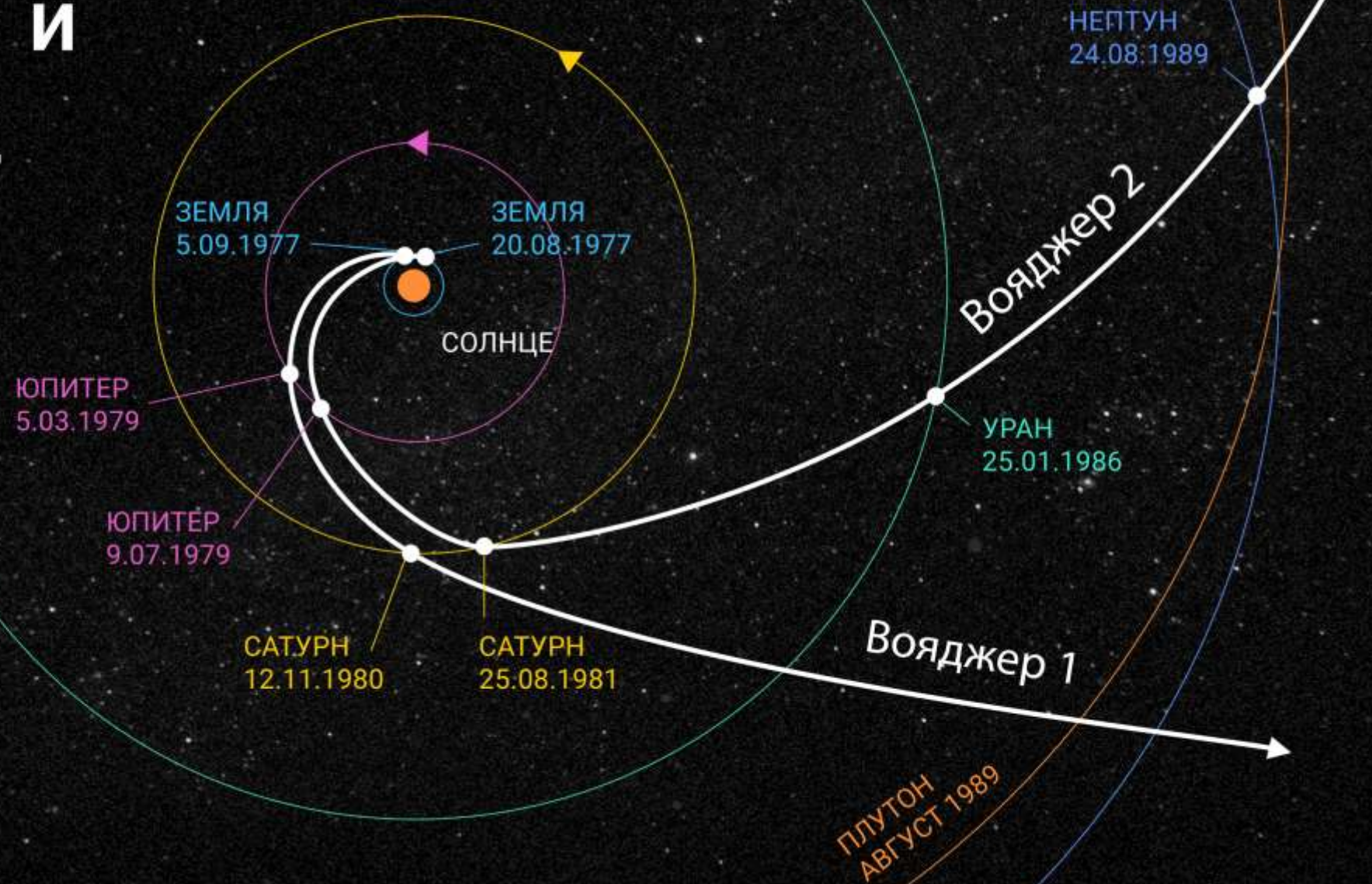
— «испытания перенаправления  
двойного астероида»

- «Вояджер-1» на данный момент — самый удаленный от нашей планеты объект, созданный человеком.
- «Вояджер-2» — первый и единственный пока зонд, который смог нанести визит сразу четырем планетам-газовым гигантам Солнечной системы: Юпитеру, Сатурну, Урану и Нептуну.



«Вояджер-1» — не только самый удаленный от Земли рукотворный объект, но и самый быстрый. Его скорость составляет 17 км/с. Сейчас он находится на расстоянии в 139 астрономических единиц, это 21 миллиард километров.

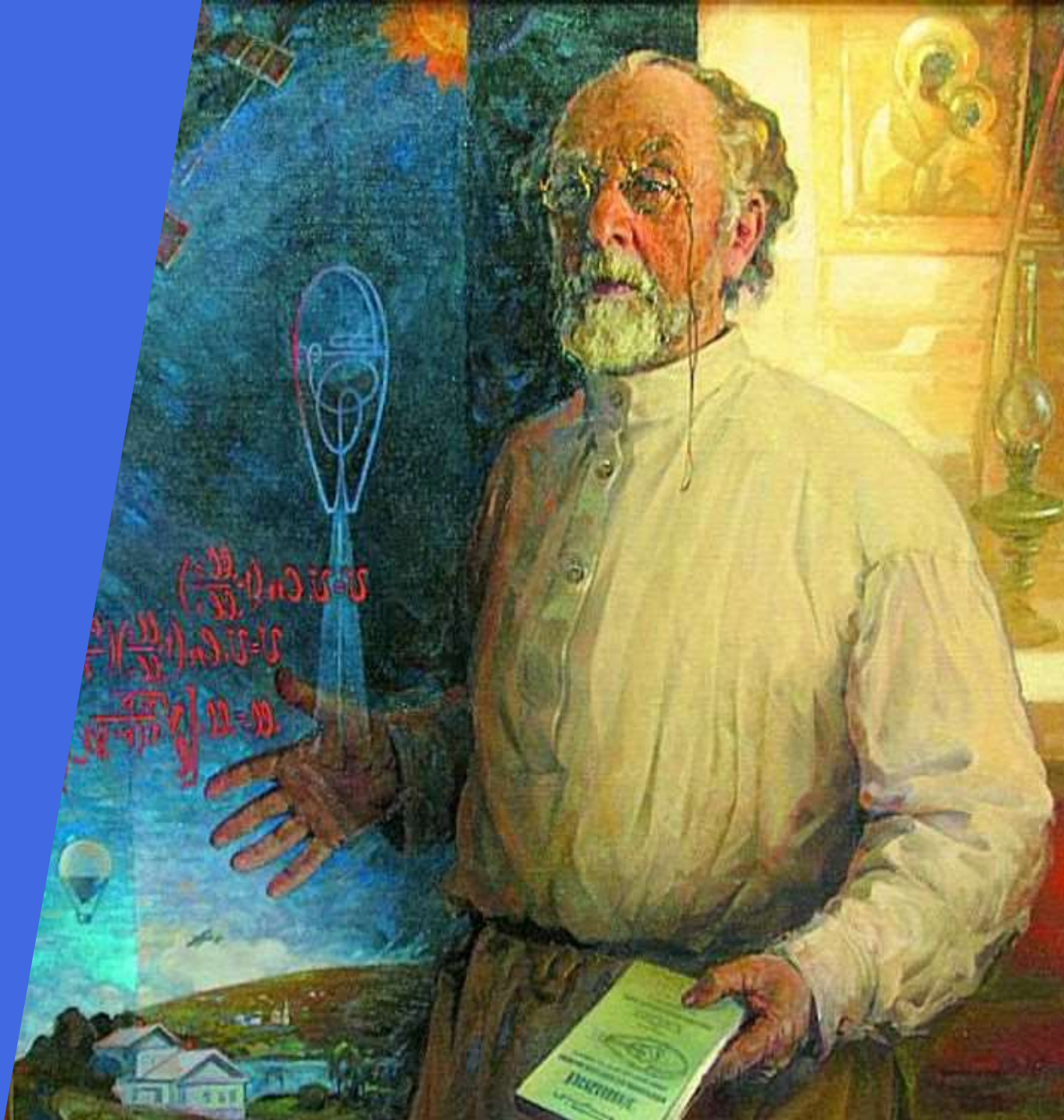
# Траектория полета Вояджер-1 и Вояджер-2



# 05

## ОТ ЛУНЫ В ДАЛЬНИЙ КОСМОС

Человечество не останется вечно на  
Земле, но в погоне за светом и  
пространством сначала робко  
проникнет за пределы атмосферы, а  
затем завоюет себе все  
околосолнечное пространство  
Константин Циолковский



# от Луны - в дальний космос: новые горизонты!

открыта 14 ноября 2003 года  
(Браун, Трухильо и Рабиновиц)



Седна (90377 Sedna) – транснептуновый объект. Получила имя в честь эскимосской богини морских зверей Седны. Перигелий Седны в два с половиной раза дальше от Солнца, чем орбита Нептуна, а большая часть орбиты расположена ещё дальше (афелий примерно равен 960 а. е., что превышает расстояние Солнце – Нептун в 32 раза).

## (90377) Седна. Орбитальные параметры

**Орбитальные параметры (Эпоха: 14 марта 2012 года):**

**(Гелиоцентрическая эклиптическая система координат J2000)**

- Перигелий 76,3152 а. е.
- Афелий 1006,5437 а. е.
- Большая полуось (a) 541,4295 а. е.
- Эксцентриситет орбиты (e) 0,8590 град.
- Сидерический период ~10000 земных лет
- Орбитальная скорость (u) 1,04 км/с
- Средняя аномалия (M0) 358,190 град.
- Наклонение (i) 11,927 град.
- Долгота восходящего узла ( $\Omega$ ) 144,377 град.
- Аргумент перицентра ( $\omega$ ) 310,920 град.



один из наиболее удалённых  
известных  
объектов Солнечной системы

# Траектория перелета к Седне

## Прямой перелет

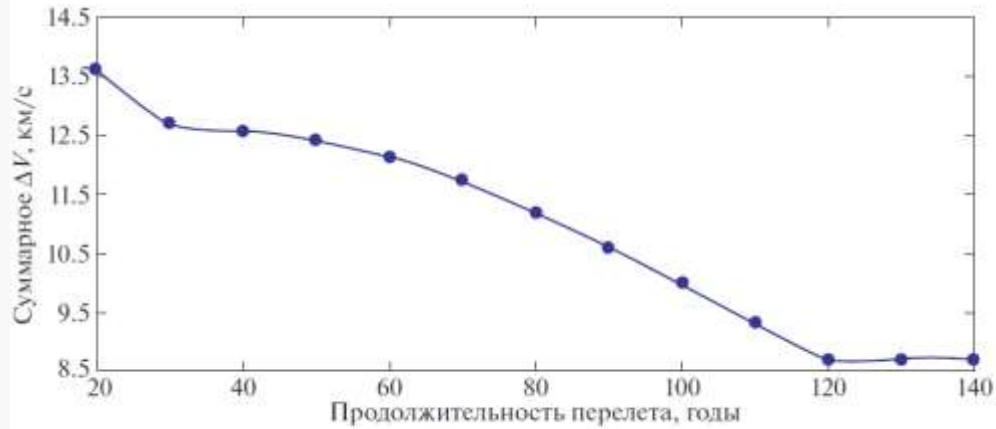


Рис. 1. Зависимость величины суммарной  $\Delta V$  от времени перелета к Седне.

## Перелет с гравитационными маневрами

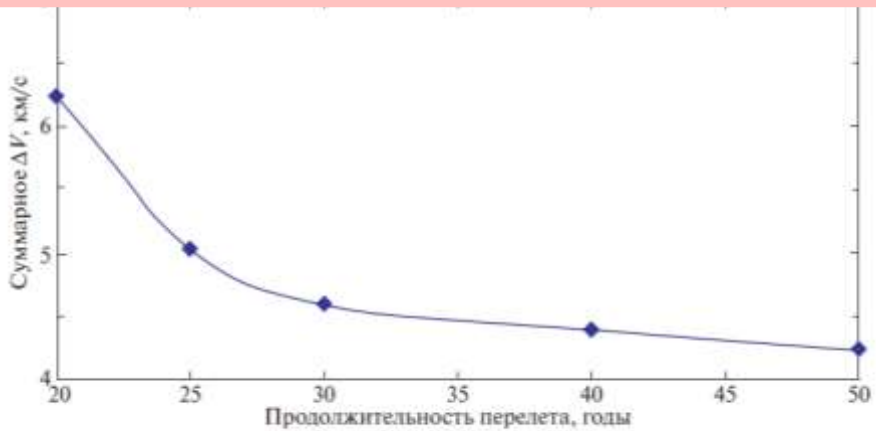


Рис. 3. Зависимость суммарной  $\Delta V$  от времени перелета по схеме Земля-Венера-Земля-Земля-Юпитер.

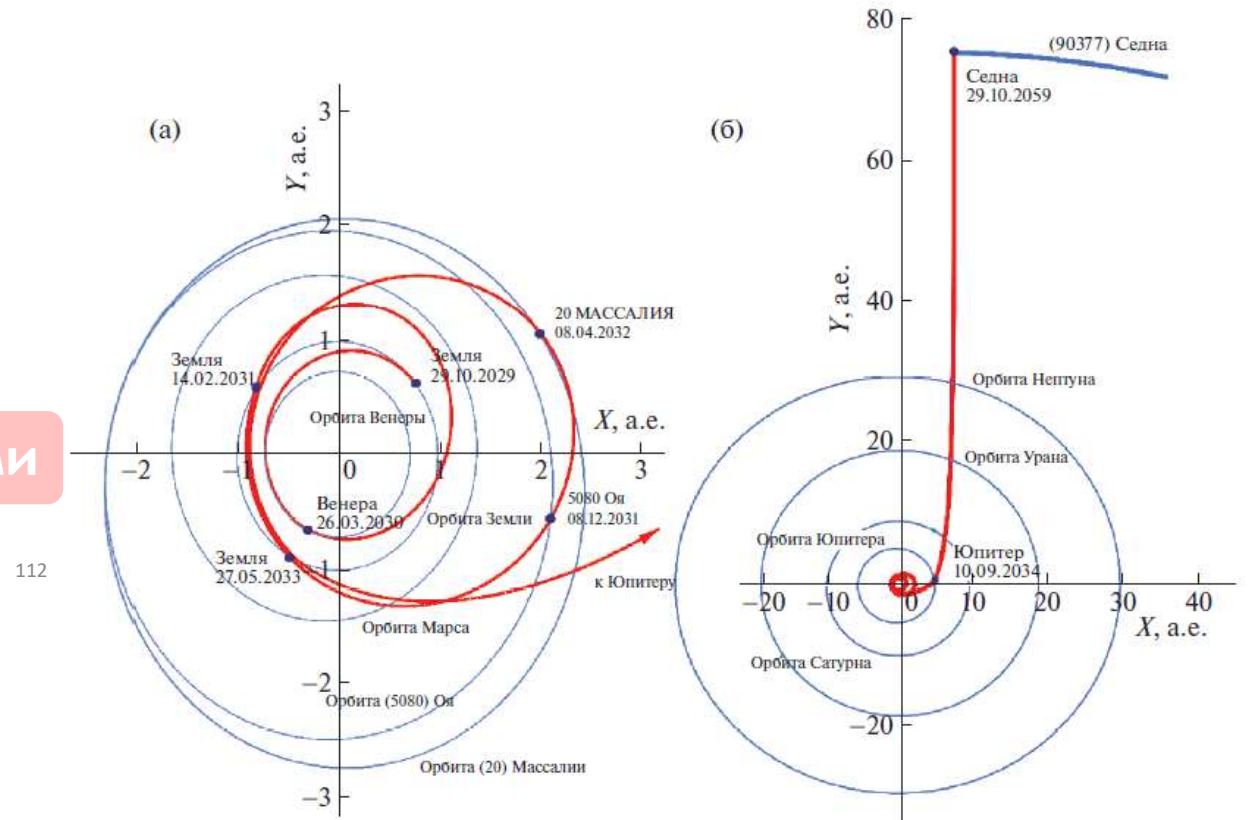
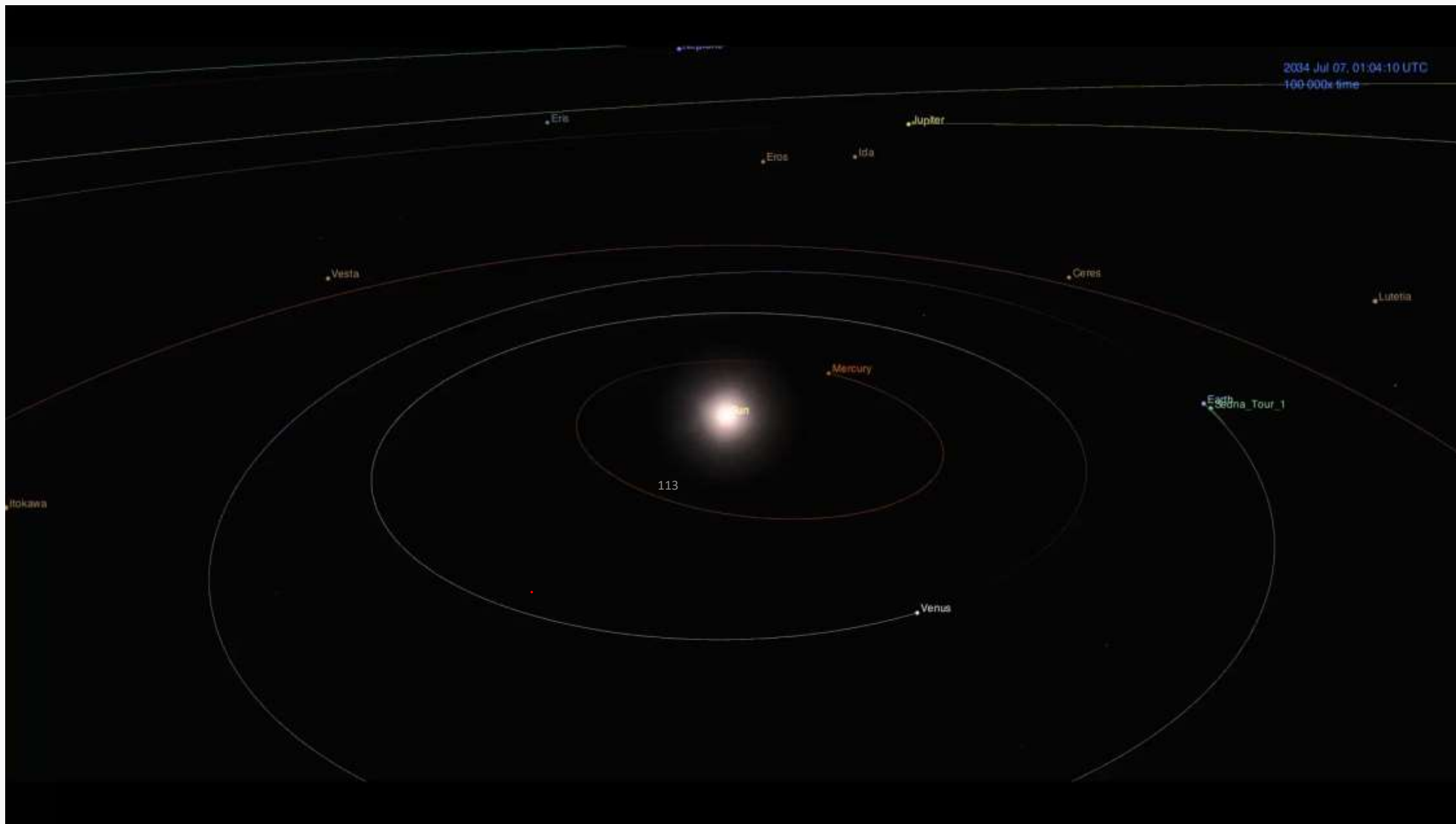


Рис. 6. Траектория перелета к Седне в 2029 г. с пролетом астероидов (5080) Оя и (20) Массалия: от Земли до перелета к Юпитеру (а) и от Юпитера до Седны (б).



# Визуализация перелета к Седне



# от Луны - в дальний космос: новые горизонты!

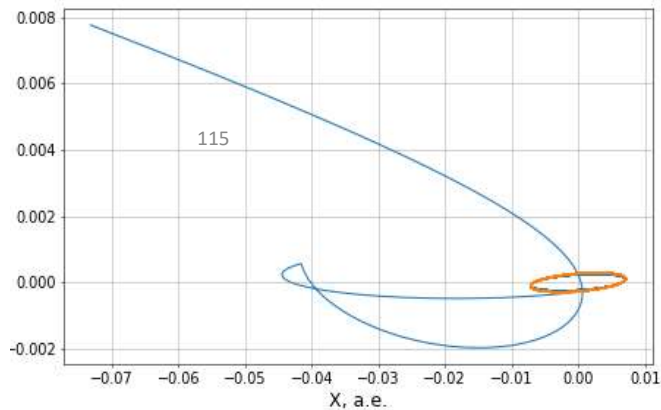
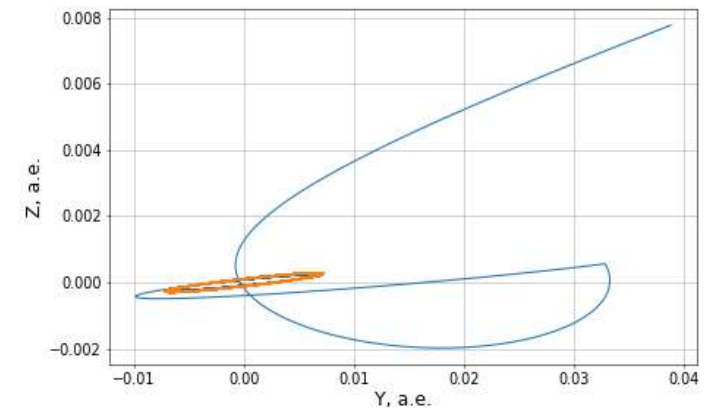
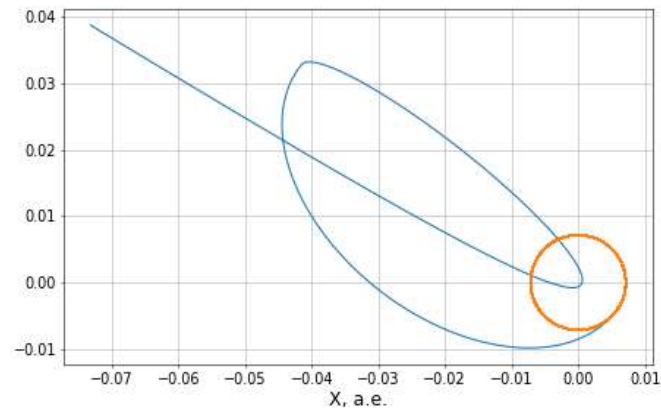
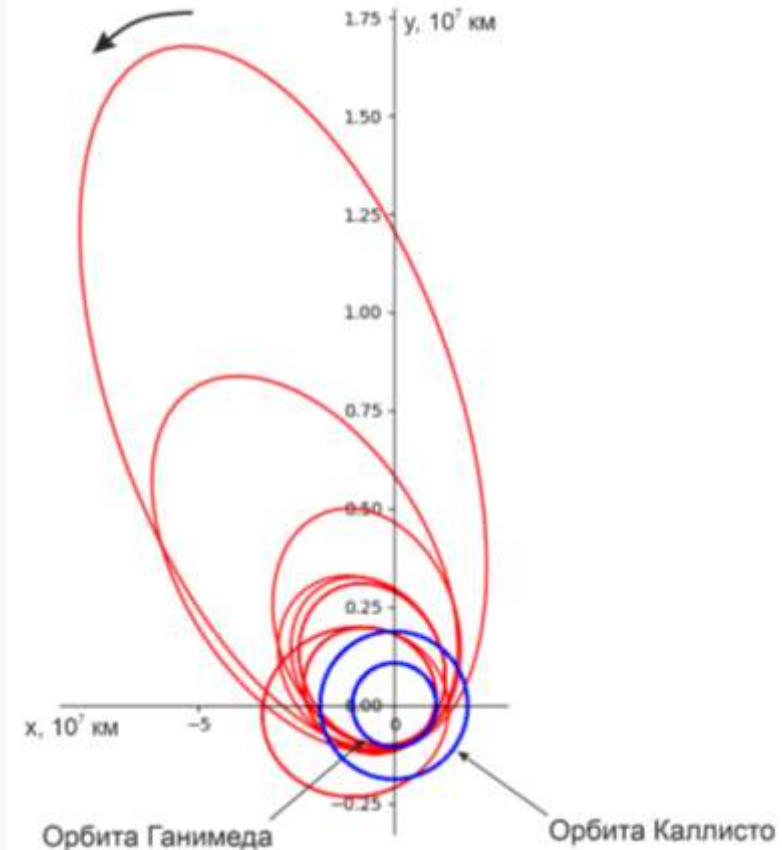


Ганимед (др.-греч. Γανυμήδης) — один из галилеевых спутников Юпитера, седьмой по расстоянию от него среди всех его спутников и крупнейший спутник в Солнечной системе

диаметр равен 5268 километрам, что на 2 % больше, чем у Титана (второго по величине спутника в Солнечной системе) и на 8 % больше, чем у Меркурия

масса Ганимеда составляет всего 45 % массы Меркурия

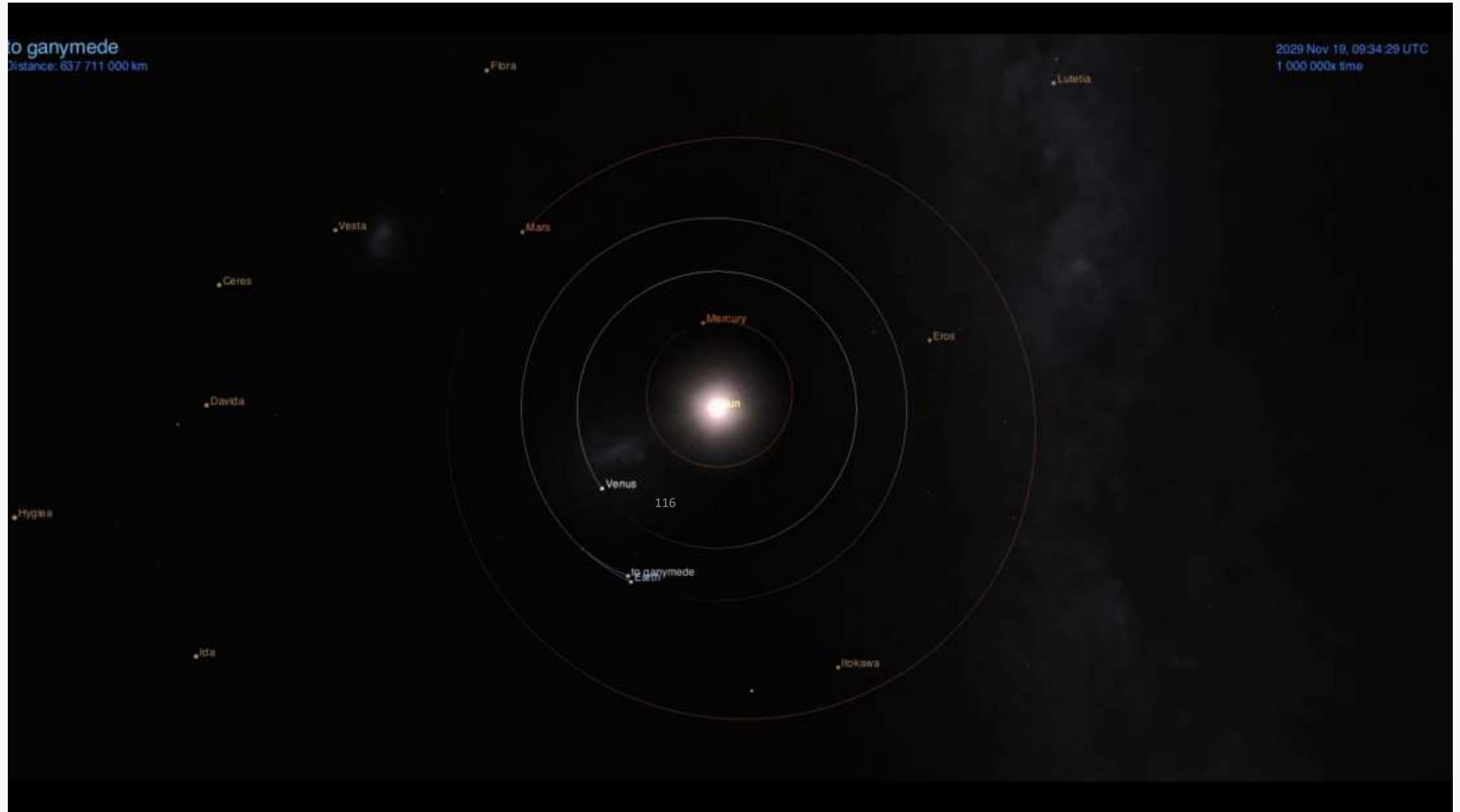
# Возможные траектории перелёта к Ганимеду в сфере действия Юпитера



Синяя – траектория космического аппарата  
Оранжевая – орбита Ганимеда

Перелёт с использованием гравитационных манёвров

# Визуализация перелета к Ганимеду



# 06

## Возвращение на Землю

«Человек, который верит в сказку,  
однажды в неё попадает, потому  
что у него есть сердце...»

Сергей Павлович Королёв



Фелисетт— первая  
кошка, побывавшая в  
космическом  
пространстве.



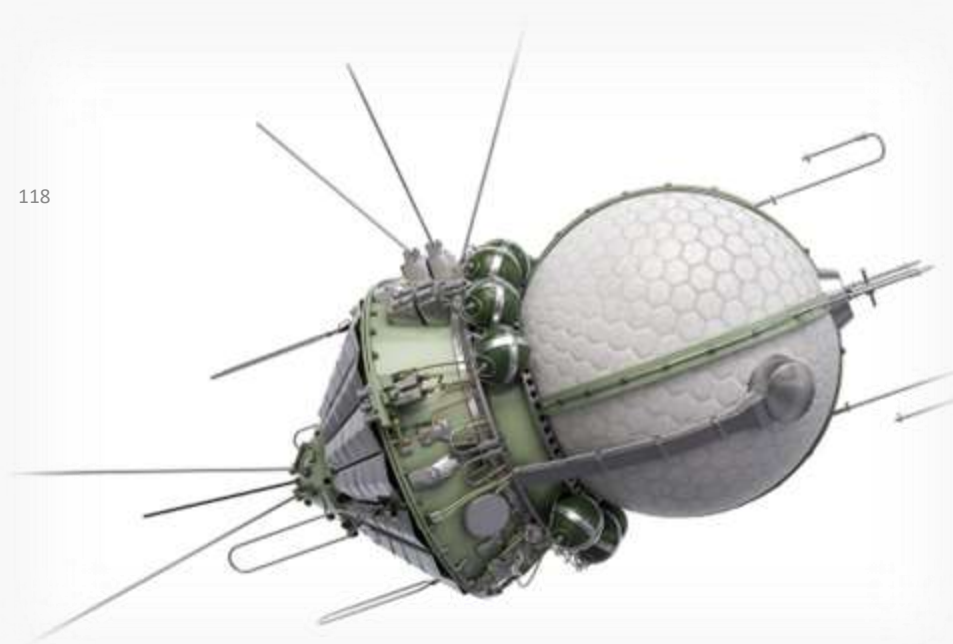
## СХЕМА ПОСАДКИ КОСМИЧЕСКОГО КОРАБЛЯ "ВОСТОК"



# Первое возвращение на Землю

«Восток-1» («Восток») — советский космический корабль из серии «Восток», первый в мире космический аппарат, поднявший на своём борту человека на околоземную орбиту и совершивший посадку.

118

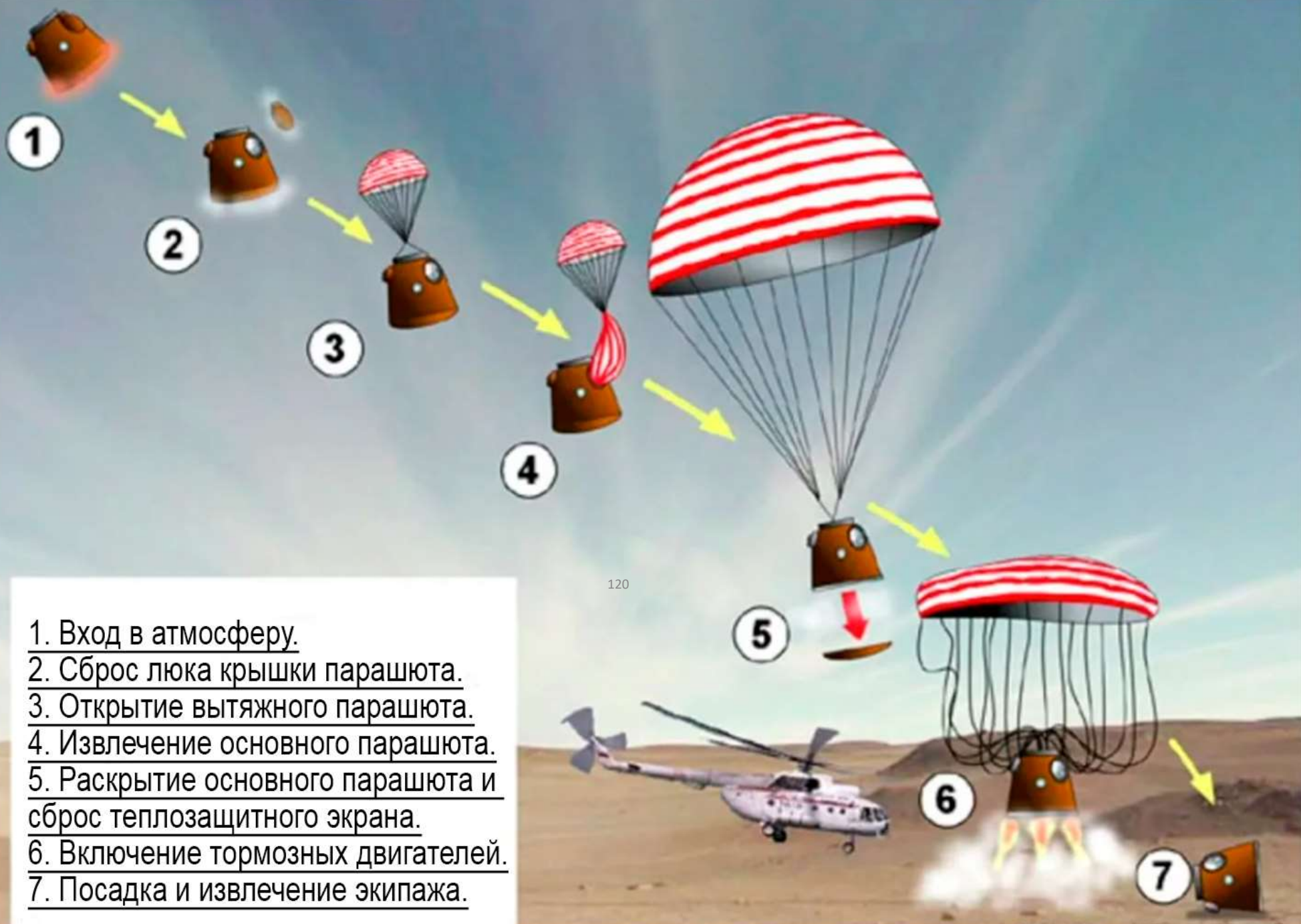


# Космический аппарат «Союз»

Многоместный космический корабль, созданный в СССР для полетов по околоземной орбите.

Разработка космического корабля (КК) "Союз" началась в конструкторском бюро Сергея Королева в 1962 году. На нем предполагалось отработать средства сближения и стыковки космических аппаратов на орбите искусственного спутника Земли (ИСЗ), а также конструкцию и системы корабля, обеспечивающие облет Луны с возвращением на Землю.





1. Вход в атмосферу.
2. Сброс люка крышки парашюта.
3. Открытие вытяжного парашюта.
4. Извлечение основного парашюта.
5. Раскрытие основного парашюта и сброс теплозащитного экрана.
6. Включение тормозных двигателей.
7. Посадка и извлечение экипажа.



# Различные траектории входа в атмосферу

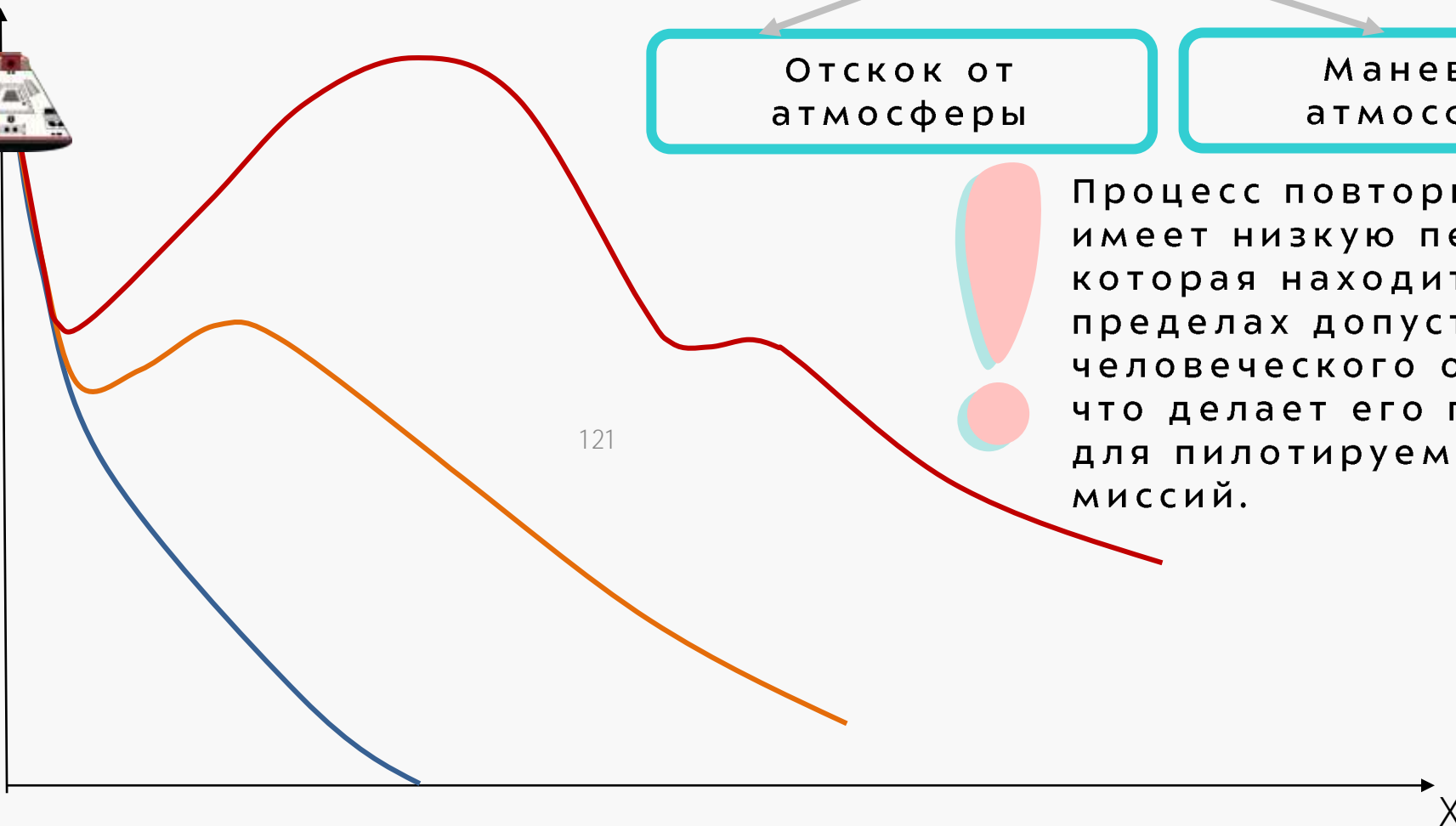
Траектории  
прямого входа

Траектории  
повторного входа

Отскок от  
атмосферы

Маневр в  
атмосфере

H



Процесс повторного входа имеет низкую перегрузку, которая находится в пределах допустимого для человеческого организма, что делает его пригодным для пилотируемых лунных миссий.

# Скольльзящий спуск с системой управления

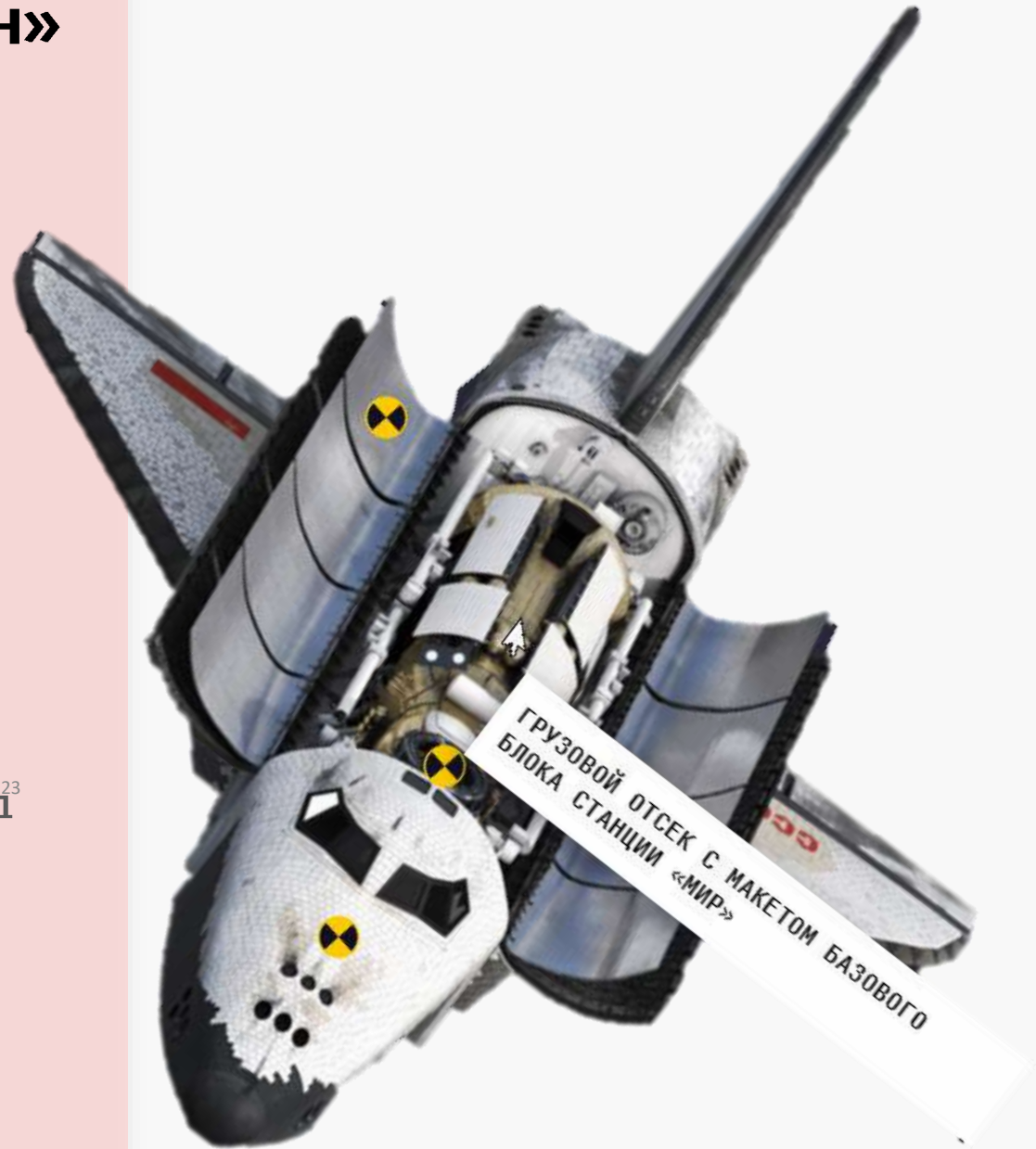


Скольльзящий, или полубаллистический, - это планирующий спуск с малым аэродинамическим качеством (меньшим 0,3 - 0,5), позволяющим снизить перегрузки и обеспечить достаточно точную посадку, хотя и без широкого маневра

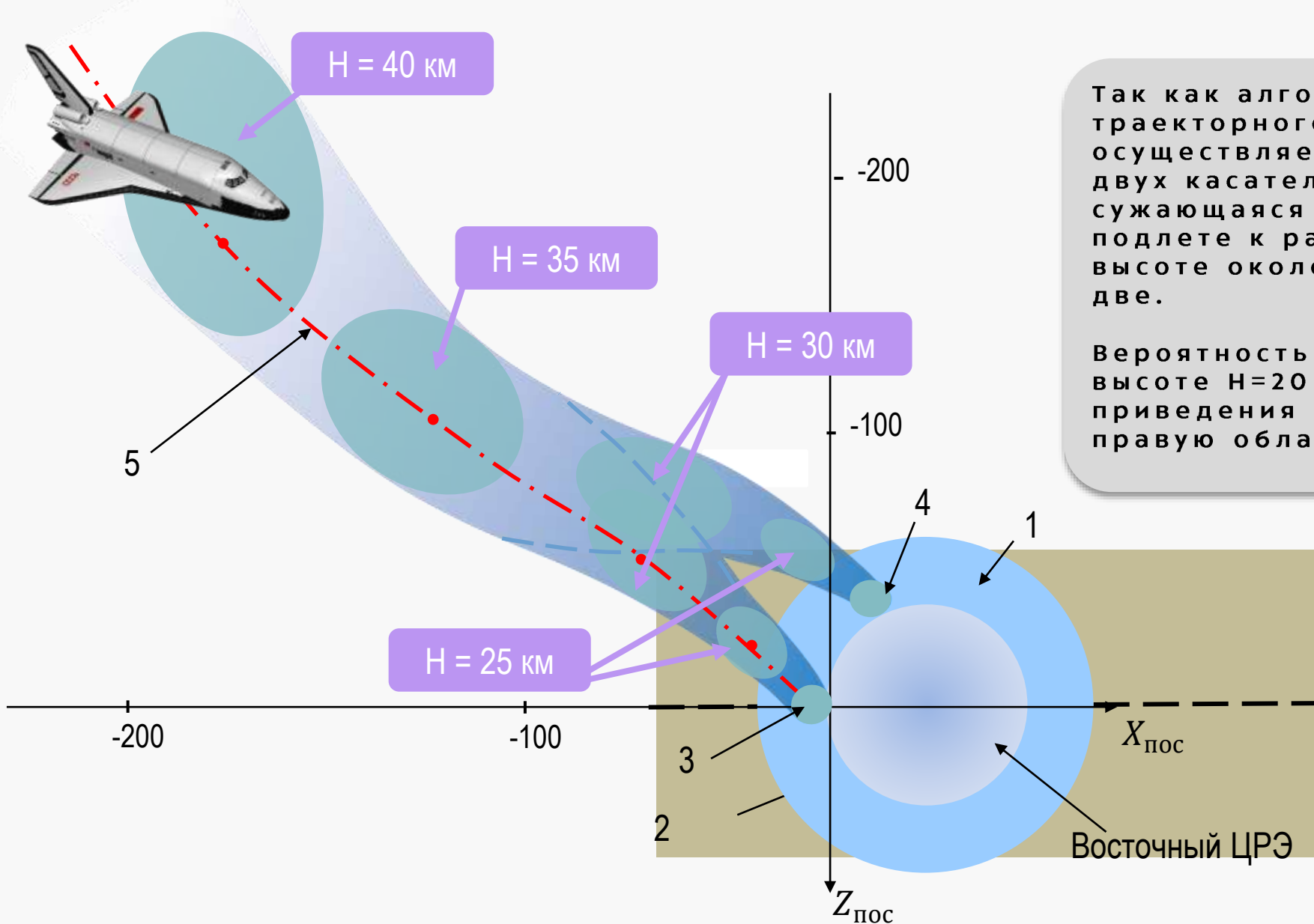
# Космический корабль «Буран»

«Буран» — многоцелевой космический корабль, способный как доставлять различные грузы на орбиту, так и возвращать их на Землю.

В его грузовой отсек спокойно поместился бы любой модуль советской орбитальной станции, затопленной в 2001<sup>123</sup> году. В том же отсеке конструкторы предлагали для пилотируемых испытательных полётов разместить спускаемый аппарат «Союза». В случае нештатной ситуации это позволило бы экипажу «эвакуироваться» с орбиты.



# Расчетная трубка траекторий для первого полета орбитального корабля «Буран» на участке предпосадочного маневрирования

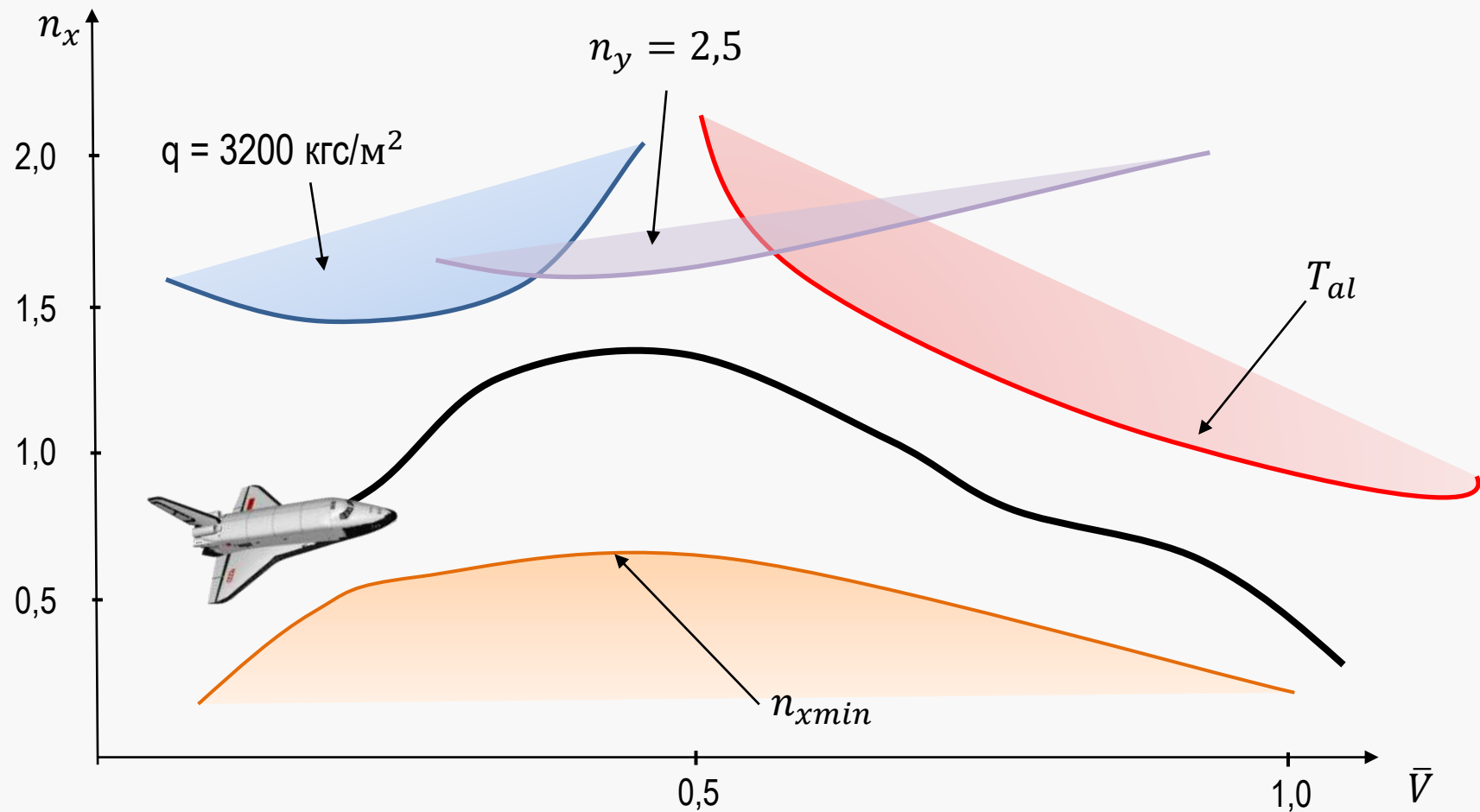


Так как алгоритм бокового траекторного управления осуществляет наведение на одну из двух касательных к ЦРЭ, сужающаяся трубка траекторий при подлете к району аэродрома на высоте около 35 км разделяется на две.

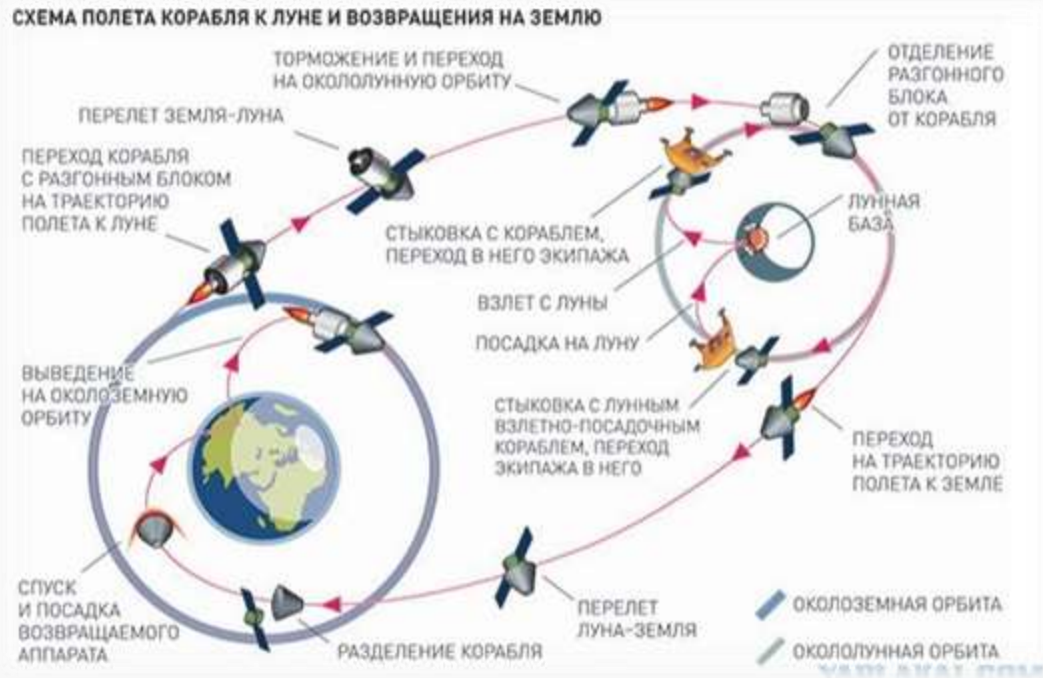
Вероятность приведения ОК на высоте  $H=20$  км в левую область приведения составляла  $P=0.3$ , а в правую область -  $P=0,7$ .

- 1 - заданная область приведения на  $H=20$  км при наведении на Восточный ЦРЭ;
- 2 - взлетно-посадочная полоса;
- 3,4 - расчетные области приведения на  $H=20$  км для правой и левой касательных Восточного ЦРЭ;
- Красные точки - точки прохождения различных высот
- 5 - траектория первого полета;

# Профиль изменения продольной перегрузки на участке спуска орбитального корабля:



# Повторный вход в атмосферу



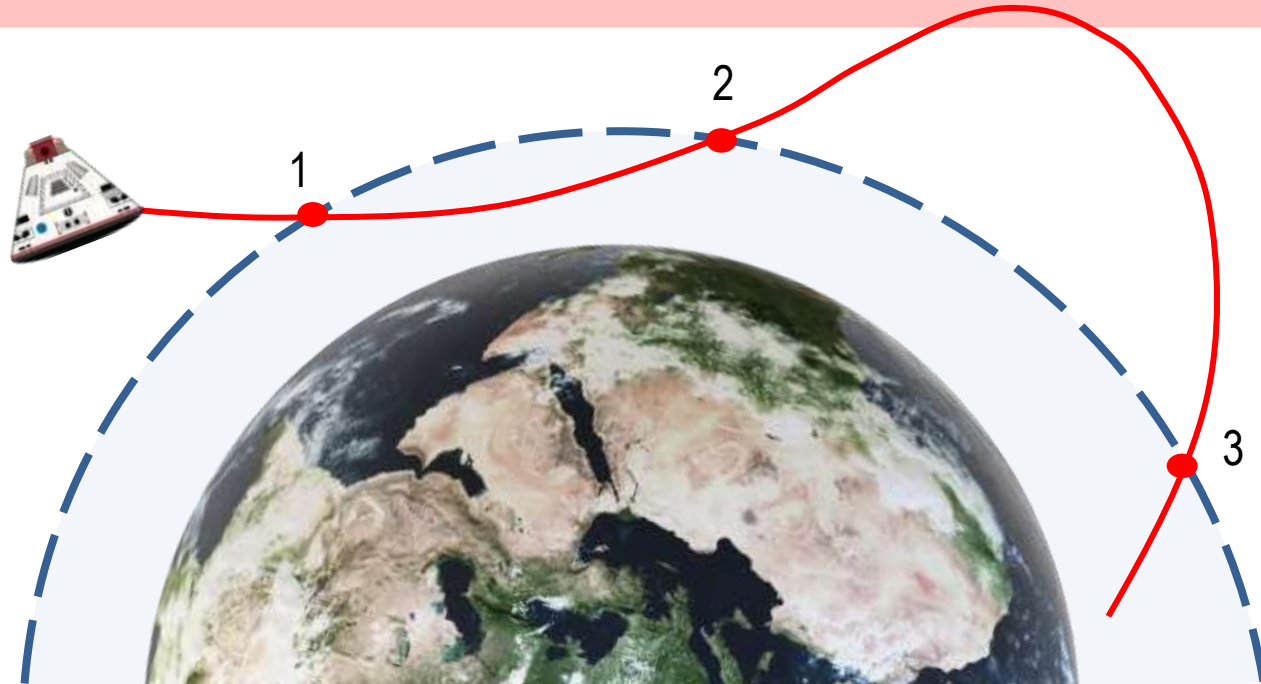
126

Траектория повторного входа состоит из пяти секций: первый вход в атмосферу, первый спуск, первый подъём, секция Кеплера и второй вход в атмосферу. Очевидно, что из-за необходимости выскочить из атмосферы и снова войти в нее, дальность время полета значительно увеличиваются.



Впервые такой способ посадки осуществлен советским космическим аппаратом «Союз» в 1968 при возвращении после облета Луны. Такой же способ спуска использовался при возвращении американских космических аппаратов «Аполлон». В 2014 году китайский космический аппарат «Чанъэ» после облета луны выполнил спуск на поверхность Земли с повторным входом в атмосферу.

# Схема посадки с повторным входом в атмосферу



Впервые такой способ посадки осуществлен советским космическим аппаратом «Союз» в 1968 при возвращении после облета Луны.

Такой же способ спуска использовался при возвращении американских космических аппаратов «Аполлон».

В 2014 году китайский космический аппарат «Чанъэ» после облета луны выполнил спуск на поверхность Земли с повторным входом в атмосферу.

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)



**Корянов Всеволод  
Владимирович  
Ваш гид в мир космоса!**



[vkoryanov@mail.ru](mailto:vkoryanov@mail.ru)  
tg: @vkoryanov



# Перечень источников и литературы

1. Основы теории космического полета: учебное пособие / В.В. Корянов, В.П. Казаковцев. Ч.1. Системы координат, расчет времени, невозмущенное движение. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. 62 с.: ил.
2. <https://www.laspacespace.ru/projects/planets/luna-glob/>
3. Муртазин Р.Ф., Круглый стол XLVI академических чтений по космонавтике «Королевские чтения»
4. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Национальная\\_орбитальная\\_космическая\\_станция](https://ru.wikipedia.org/wiki/Национальная_орбитальная_космическая_станция)
5. [https://ru.wikipedia.org/wiki/\(90377\)\\_Седна](https://ru.wikipedia.org/wiki/(90377)_Седна)
6. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Луна-25>
7. Analysis of mission opportunities to Sedna in 2029–2034. Zubko, V.A., Sukhanov, A.A., Fedyaev, K.S., Koryanov, V.V., Belyaev, A.A. Advances in Space Research, 2021, 68(7), стр. 2752–2775
8. Источник: <https://ru.citaty.net/avtory/sergei-pavlovich-koroliov/>
9. <https://mybook.ru/author/konstantin-ciolkovskij-2/citations/>
10. В.А.Зубко, А.А.Суханов, К.С.Федяев, В.В.Корянов, А.А.Беляев, Анализ оптимальных траекторий перелета к транснептуновому объекту (90377) Седна / Письма в астрономический журнал, Москва 2021, т.47, 3, 220-228
11. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Российская\\_лунная\\_программа#Вариант\\_2021\\_года](https://ru.wikipedia.org/wiki/Российская_лунная_программа#Вариант_2021_года)
12. <https://ru.wikipedia.org/wiki/MetNet>
13. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Гоман,\\_Вальтер](https://ru.wikipedia.org/wiki/Гоман,_Вальтер)
14. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Марс>
15. <https://www.laspacespace.ru/projects/planets/fobos-grunt/>
16. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Фобос-Грунт>
17. <https://iki.cosmos.ru/missions/exomars>
18. <https://3dnews.ru/941134/ekzomars/?full>
19. [https://translated.turbopages.org/proxy\\_u/en-ru.ru.e7628fb2-627ff892-d7d4ddeb-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/Mars-96](https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.e7628fb2-627ff892-d7d4ddeb-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/Mars-96)
20. <https://ru.wikipedia.org/wiki/MetNet>
21. "Сихарулидзе Ю.Г. Баллистика и наведение летательных аппаратов (3-е изд., 2015). <https://studizba.com/files/show/pdf/85482-1-siharulidze-yu-g-ballistika-i-navedenie.html>
22. Косенкова Анастасия Владимировна. МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАНЕВРЕННОГО ПОСАДОЧНОГО АППАРАТА НА ПОВЕРХНОСТЬ ВЕНЕРЫ. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, 2021
23. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Венера-Д>
24. Источник: <https://ru.citaty.net/avtory/sergei-pavlovich-koroliov/>
25. <https://ru.citaty.net/avtory/konstantin-eduardovich-tsiolkovskii/>
26. [https://kfund-media.com/ru/quotes\\_card/ysaak-nyuton/](https://kfund-media.com/ru/quotes_card/ysaak-nyuton/)
27. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Маринер-10>
28. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Mars\\_Observer](https://ru.wikipedia.org/wiki/Mars_Observer)
29. <https://zen.yandex.ru/media/popski/edinstvennaia-koshka-kotoroi-udalos-pobyvat-v-kosmose-5e8303d160f2aa358125f8f1>

Подарок: уникальная подборка ссылок по теме космоса

Корянов Всеволод  
Владимирович

МГТУ  
им. Н.Э. Баумана

[vkoryanov@bmstu.ru](mailto:vkoryanov@bmstu.ru)

130

