



Комбаев Т.Ш

**Проектный облик космического аппарата для исследования  
объектов типа 1I/2017 U1, проходящих через Солнечную  
систему**

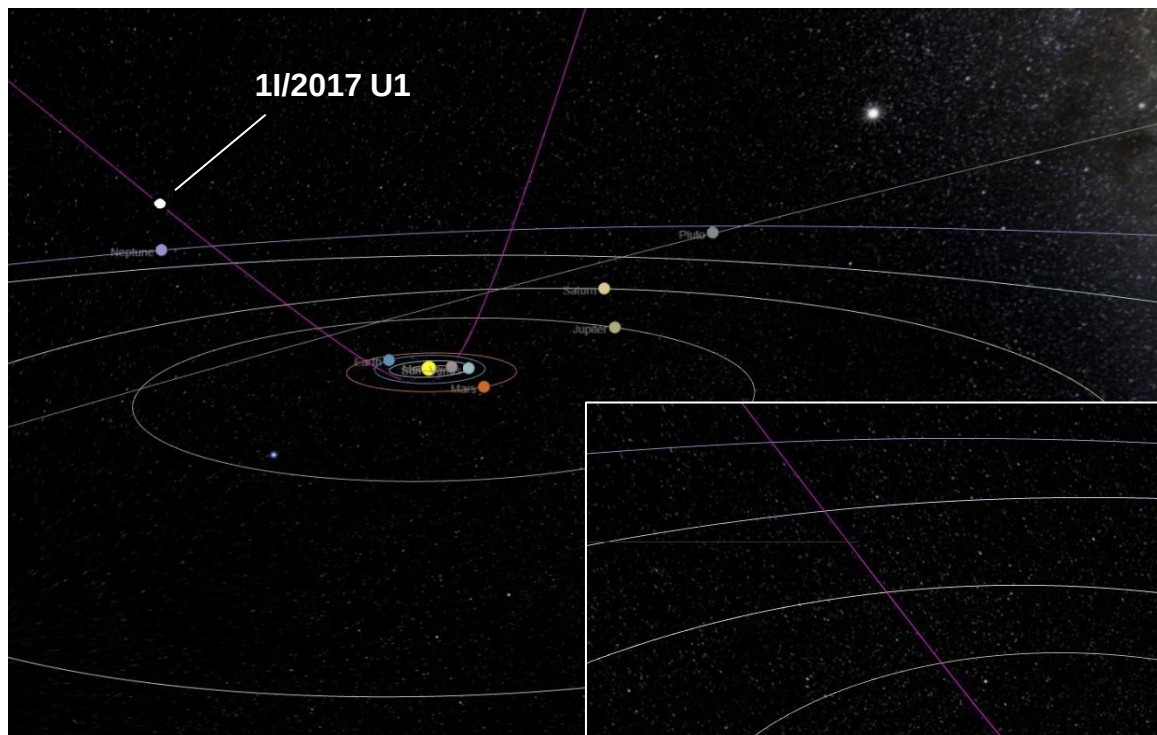
## Открытие 1I/Оумуамуа (1I/2017 U1)



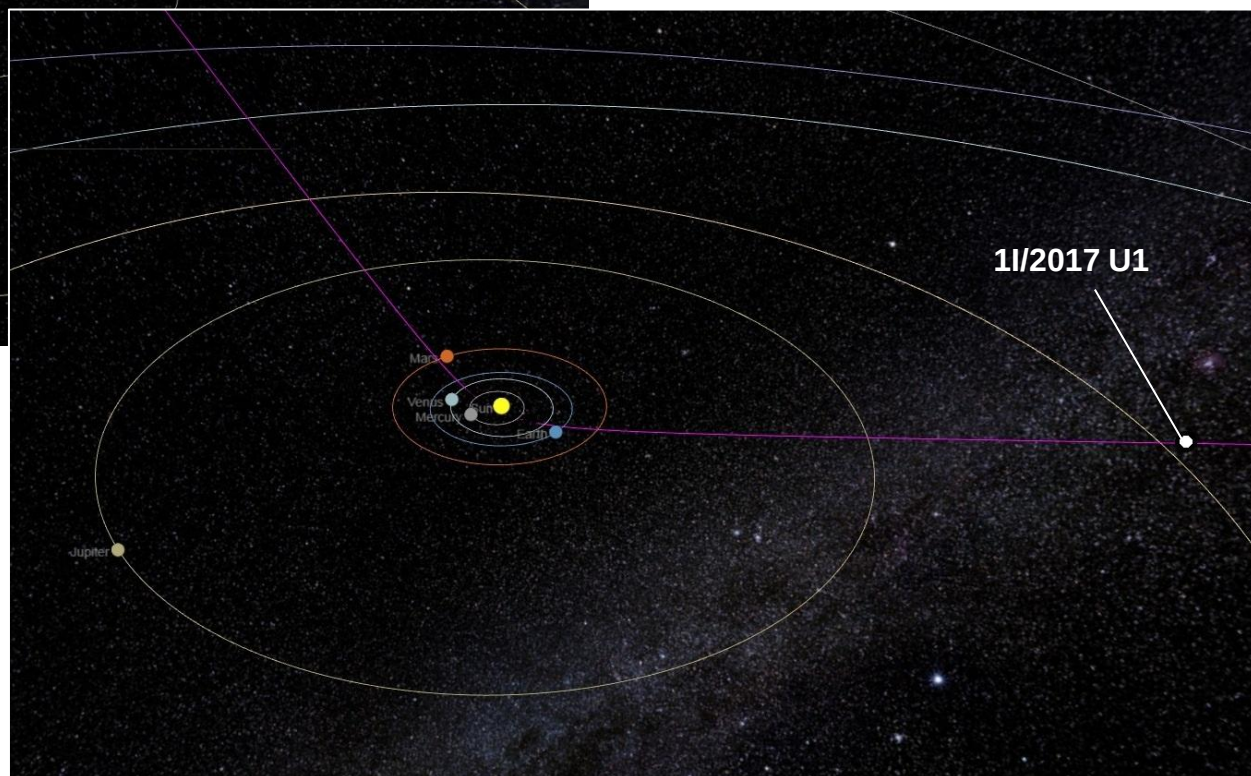
| Параметр               | Значение     |
|------------------------|--------------|
| Эксцентриситет ( $e$ ) | 1,19951      |
| Перигелий ( $q$ )      | 0,25534 а.е. |
| Наклонение ( $i$ )     | 122,69°      |
| Скорость $V_{\infty}$  | 26,33 км/с   |
| Скорость в перигелии   | 87,71 км/с   |

- Был открыт 19 октября 2017 года на расстоянии 0,2 а.е. (30 млн км) от Земли, на основе данных телескопа Pan-STARRS.
- Первоначально Оумуамуа считался кометой, но спустя неделю был переклассифицирован в астероид.
- Это первый открытый объект нового класса *гиперболических астероидов*.

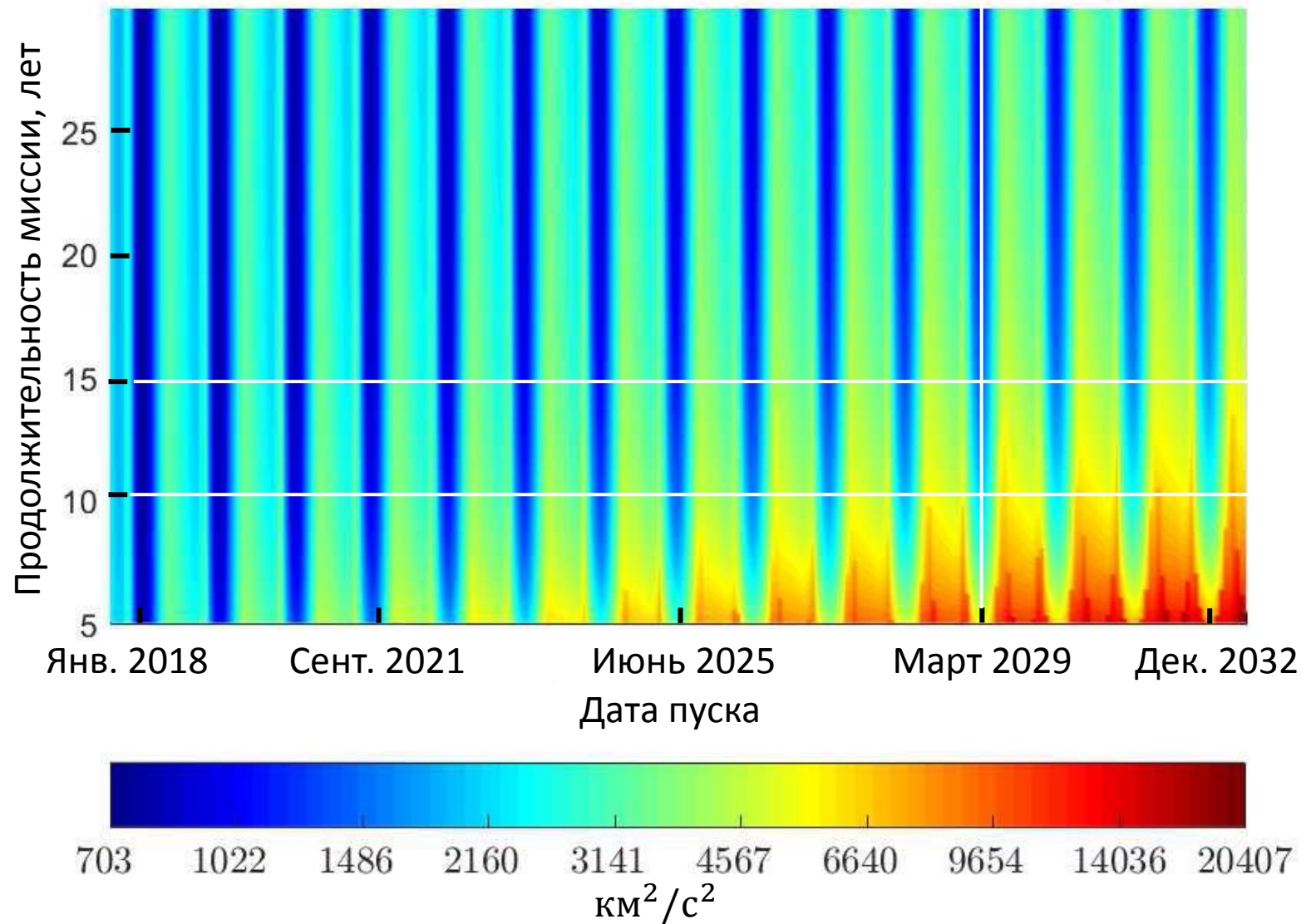
## Положение 1I/2017 U1 относительно Солнечной системы в 2019 году



- Сейчас на расстоянии 10 а.е.
- Предполагается, что объект имеет форму эллипсоида с полуосями приблизительно  $230 \times 35 \times 35$  м
- Период 7,3 – 8,1 часов.



## Диаграмма зависимости даты старта и продолжительности миссии от константы энергии КА



\* Andreas M. Hein, Nikolaos Perakis, T. Marshall Eubanks, Adam Hibberd, Adam Crowl, Kieran Hayward, Robert G. Kennedy III, Richard Osborne.  
Project Lyra: Sending a Spacecraft to 1I/'Oumuamua (former A/2017 U1), the Interstellar Asteroid

Минимальная характеристическая скорость которую нужно сообщить КА:

Для миссии в **2018** году:

$$V = 26,5 \text{ км/с} (703 \text{ км}^2/\text{с}^2)$$

- Исходя из технологических возможностей изготовления КА дата старта ~ 2029 г.
- Ограничение на длительность миссии от 10 до 15 лет

Для миссии в **2029** году продолжительностью 15 лет:

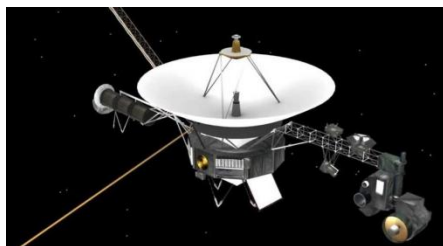
$$V \sim 42,5 \text{ км/с} (1806 \text{ км}^2/\text{с}^2)$$

Для миссии в **2029** году продолжительностью 10 лет:

$$V \sim 50 \text{ км/с} (2500 \text{ км}^2/\text{с}^2)$$

## Самые быстрые и энергоемкие космические аппараты

### Voyager 1,2



- $V = 18,3 \text{ км/с} + 1,7 \text{ км/с} = 20 \text{ км/с}$

- Химические ракетные двигатели,  $I \sim 300 \text{ с}$

- Сейчас на расстоянии 147 и 121 а.е. соответственно

### New Horizons



$$V = 16.3 \text{ км/с}$$

- Сейчас на расстоянии 45 а.е.

### Dawn



- $V = 14,6 \text{ км/с} + 13 \text{ км/с} = 27 \text{ км/с}$

- Химические ракетные двигатели,  $I \sim 300 \text{ с}$
- Ионные двигатели,  $I \sim 3000 \text{ с}$

### Миссия к 1I/2017 U1



- $V \sim 14 \text{ км/с} + 47.2 \text{ км/с} = 61,2 \text{ км/с}$



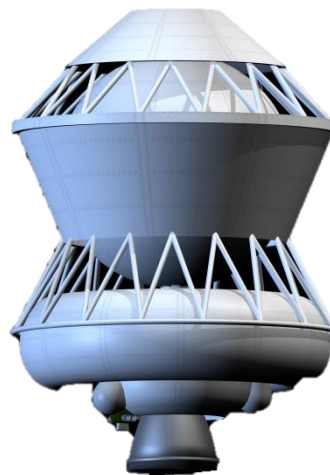
Химические + электроракетные

**РН Протон-М**



**РБ ДМ-03**

+



**Выведение 5500 кг на  
траекторию ухода**

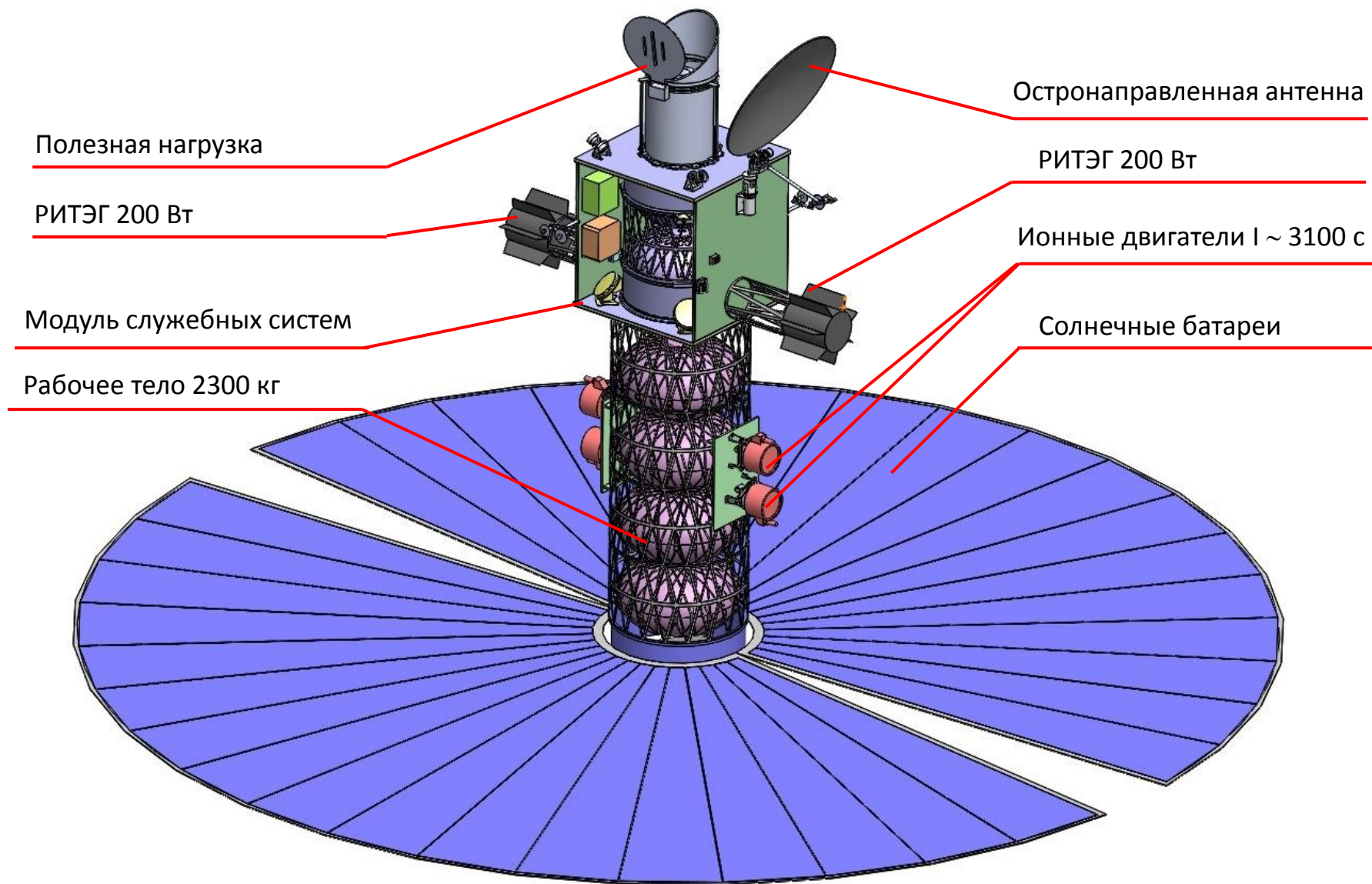
- Формирование траектории ухода из грависферы Земли

$$0 < V_{\infty} \ll 50 \text{ км/с}$$

- Масса космического аппарата после отделения от РБ равна 3800 кг
- Раскрытие элементов конструкции и солнечных батарей

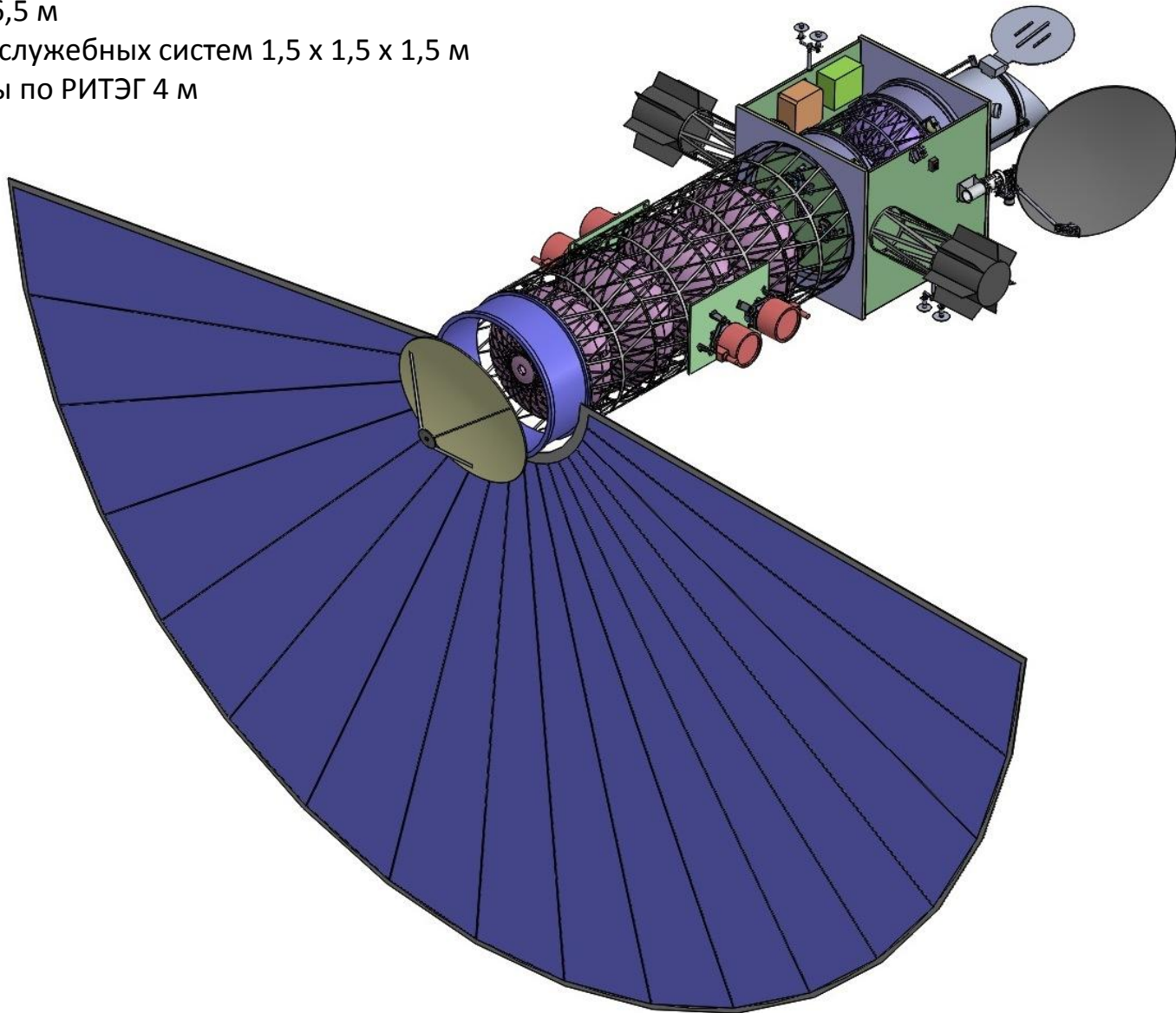


## Проектный облик космического аппарата

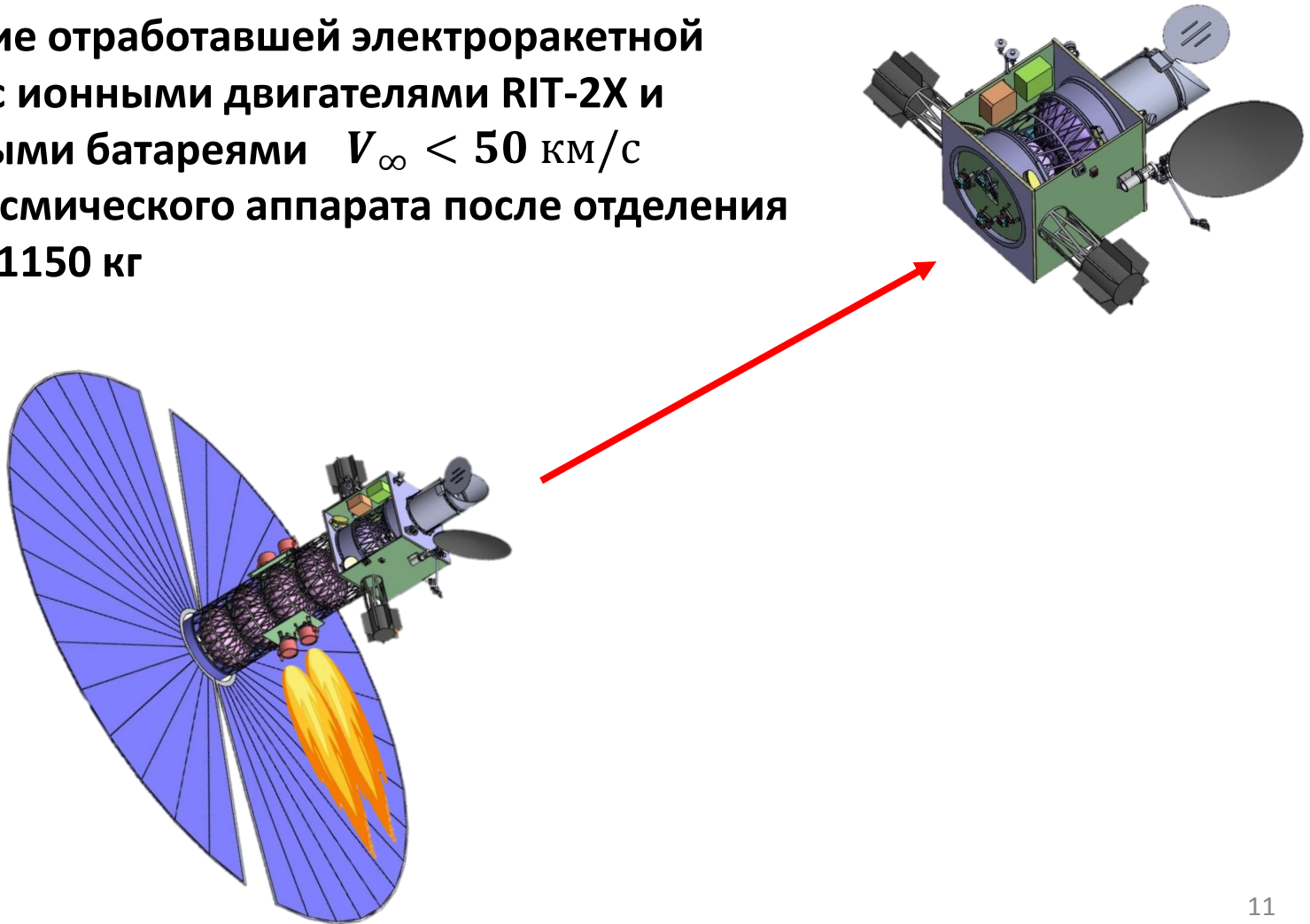


## Проектный облик космического аппарата

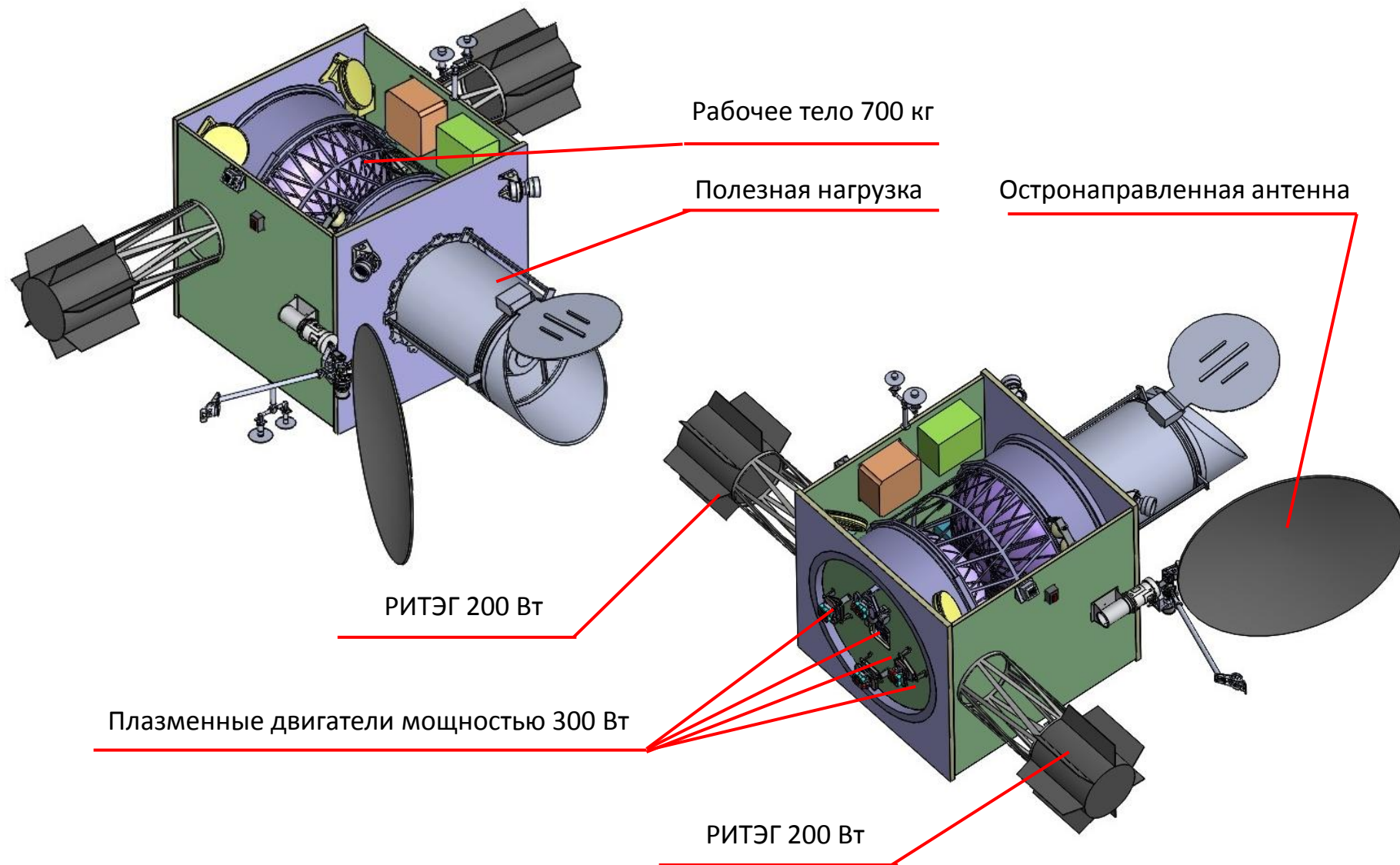
- Высота 6,5 м
- Модуль служебных систем 1,5 x 1,5 x 1,5 м
- Габариты по РИТЭГ 4 м



- Работа электроракетной ступени на ионных двигателях RIT-2X до расстояния от Солнца 3-5 а.е. от солнечных батарей
- Отделение отработавшей электроракетной ступени с ионными двигателями RIT-2X и солнечными батареями  $V_{\infty} < 50$  км/с
- Масса космического аппарата после отделения ступени 1150 кг



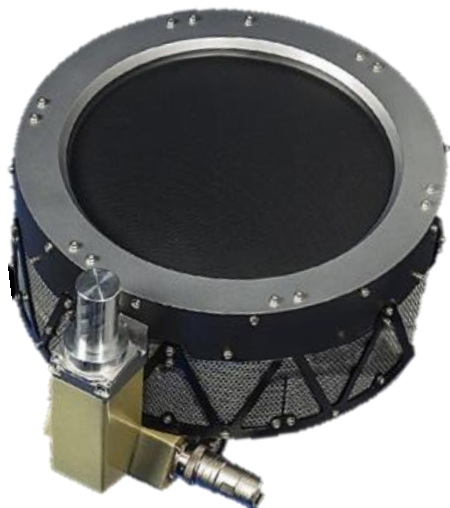
## Проектный облик космического аппарата



- Работа электроракетной ступени на плазменных двигателях СПД-50М от РИТЭГ до набора гиперболического избытка скорости 50 км/с
- Пролет объекта **1I/2017 U1**, изучение с пролетной траектории, относительная скорость пролета от 15 км/с до 20 км/с (Новые Горизонты пролетел относительно Плутона со скоростью 13 км/с)



### Ионный двигатель RIT-2X



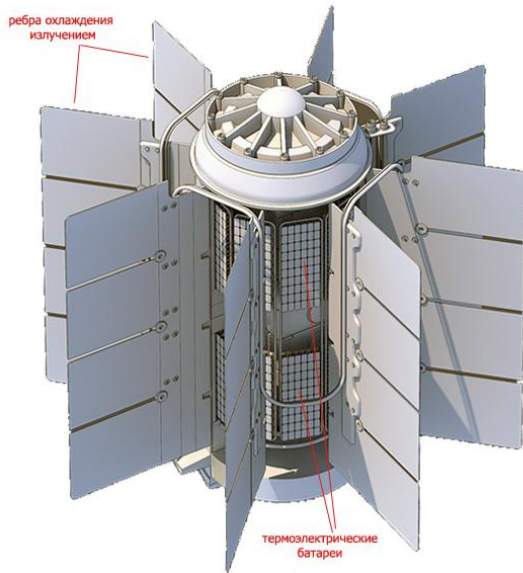
- Потребляемая мощность от 2000 до 5300 Вт
- Тяга 70 - 215 мН
- Удельный импульс от 2750 до 3500 с
- Масса 10 кг

### Плазменный двигатель СПД-50М



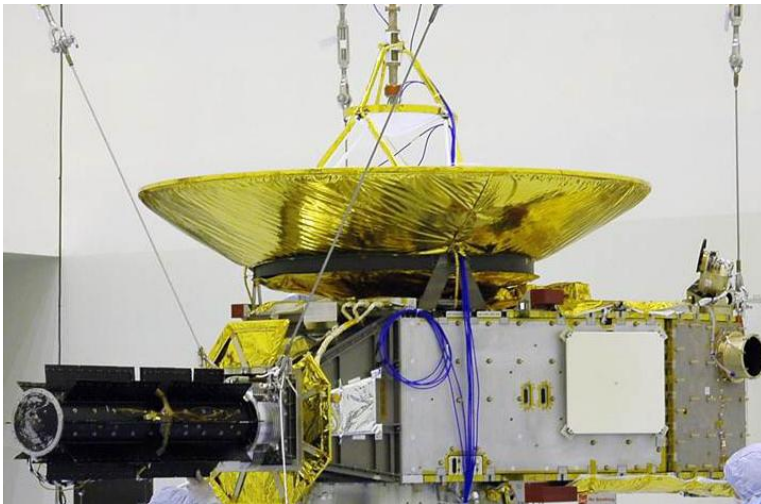
- Потребляемая мощность 300 Вт
- Тяга 15 мН
- Удельный импульс 1100 с
- Масса 1,23 кг

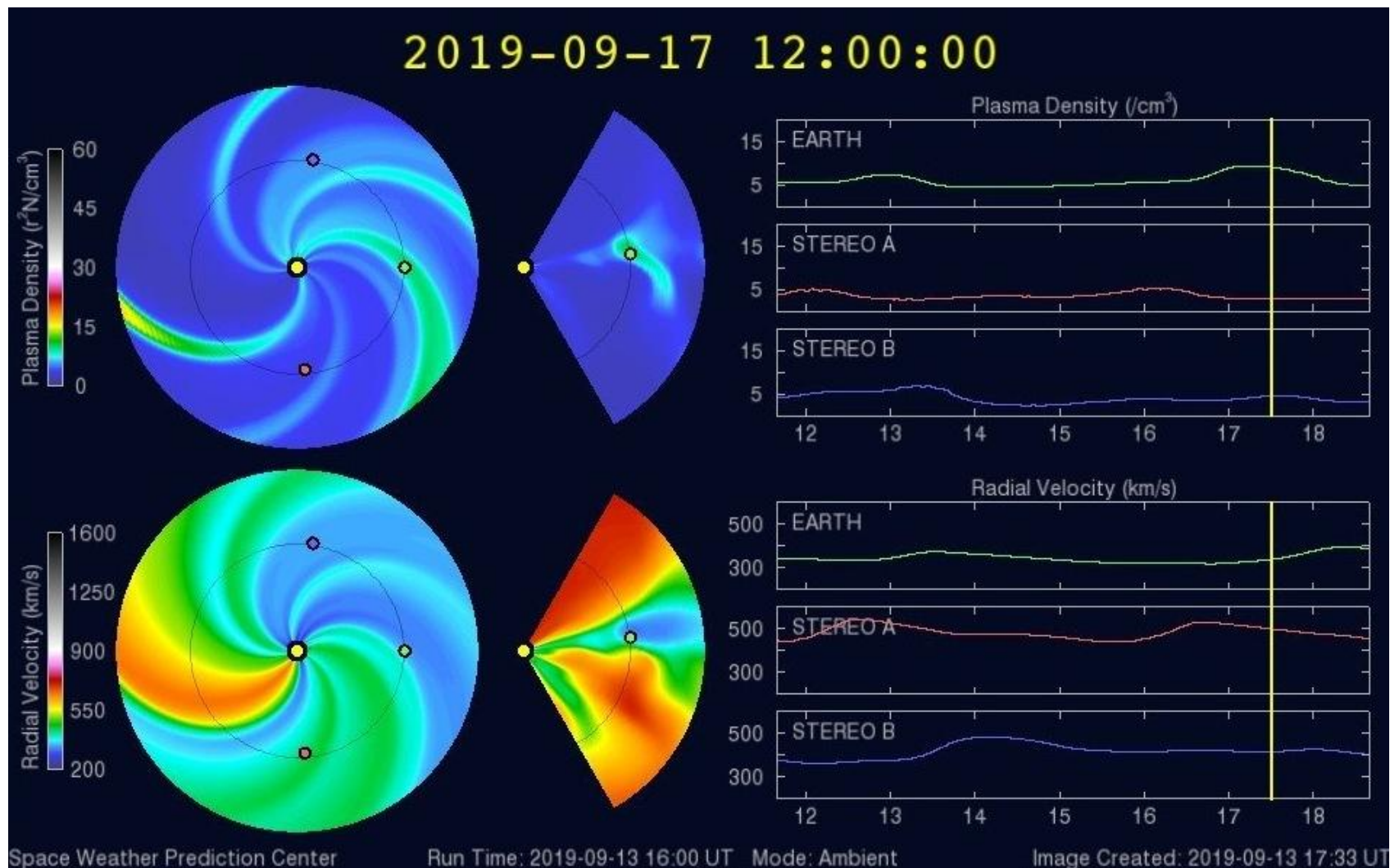
### Радиоизотопный термоэлектрический генератор



Преобразует тепловую энергию, выделяющуюся при естественном распаде радиоактивных изотопов в электроэнергию

- **Электрическая мощность 200 Вт**
- **Диоксид  $^{238}\text{Pu}$**
- **Масса 37 кг**



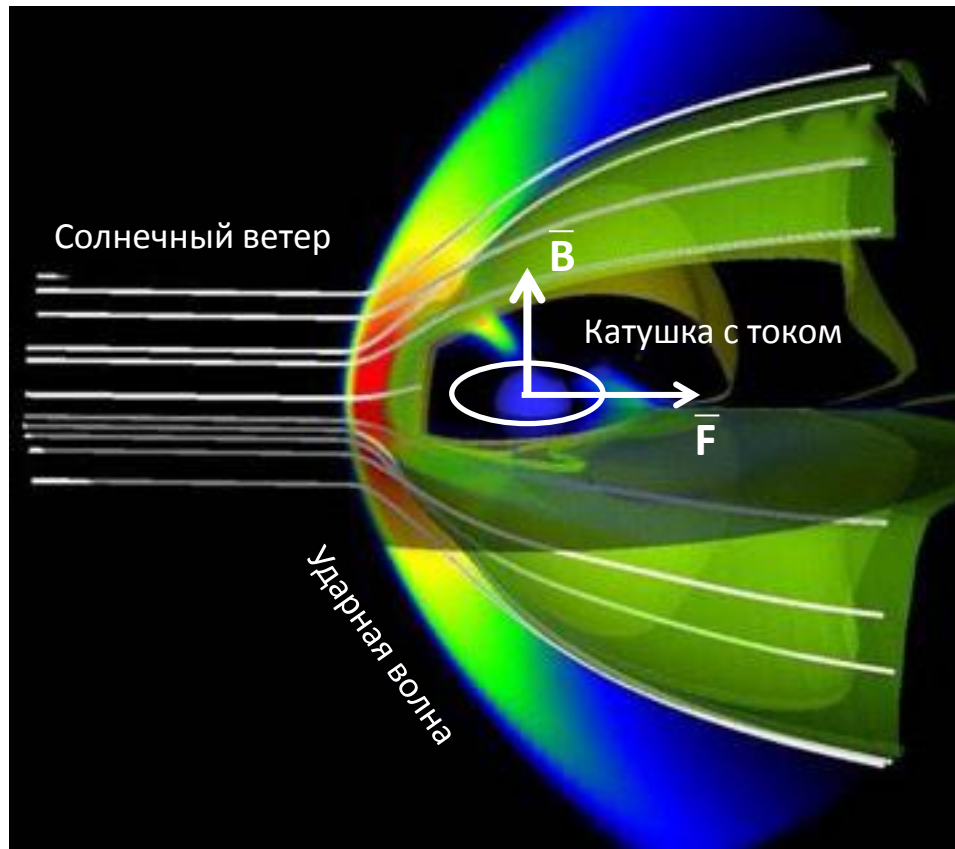


### Параметры солнечного ветра

- Плотность солнечного ветра  $N = 8,8 \cdot 10^6 \text{ м}^{-3}$
- Скорость солнечного ветра  $V = 500 \text{ км/с}$

## Принцип магнитного паруса

Принцип создания магнитосферы,  
взаимодействующей с солнечным ветром



University of Washington, NASA

Kyoto University, JAXA

Лабораторные эксперименты

Угол  
атаки  $0^\circ$



Угол  
атаки  $45^\circ$



Угол  
атаки  $90^\circ$



## РН Союз-2.16



## РБ Фрегат



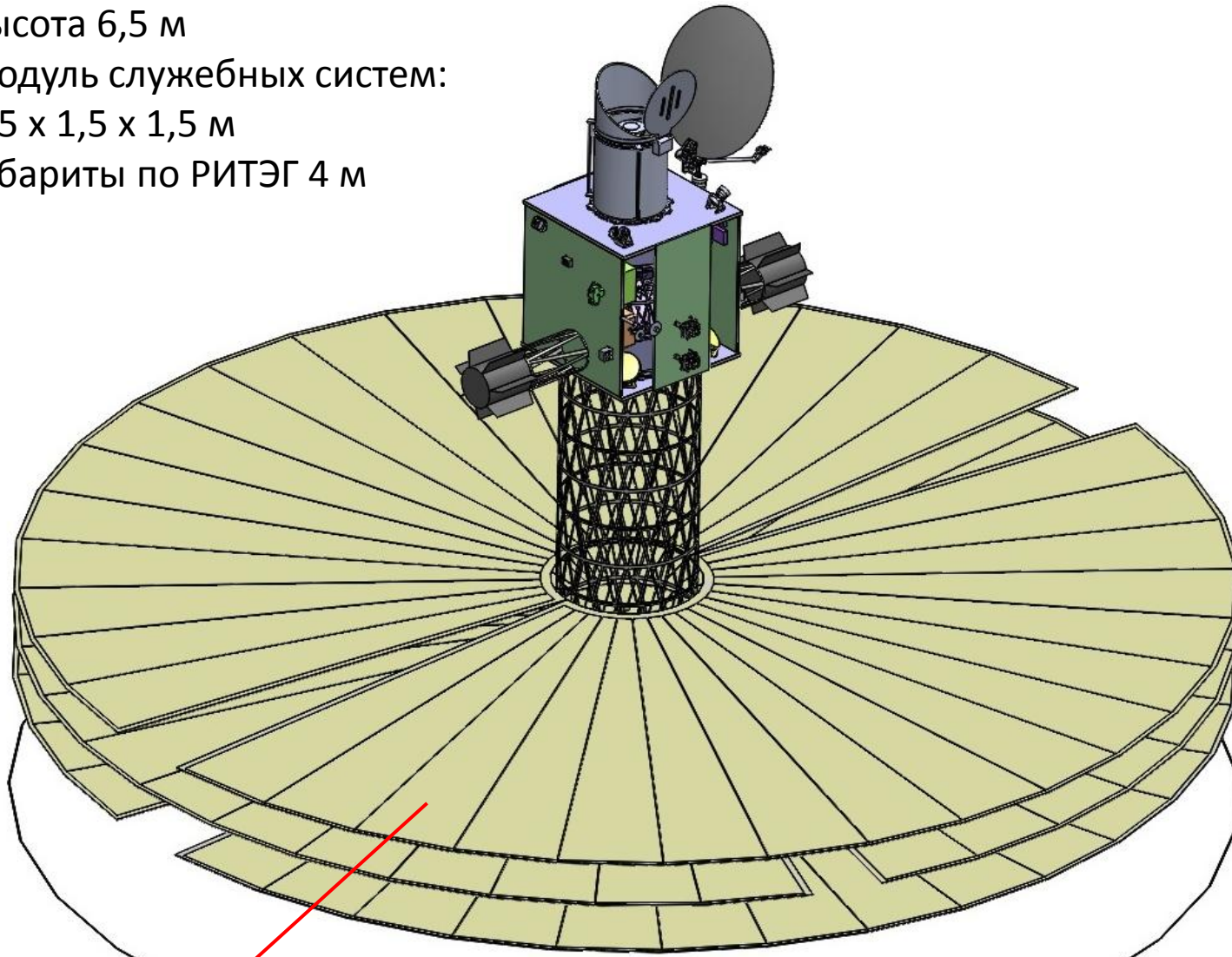
**Выведение 2200 кг на  
траекторию ухода**

- Формирование траектории ухода из грависферы Земли  
 $0 < V_{\infty} \ll 50 \text{ км/с}$
- Масса космического аппарата после отделения от РБ равна 527 кг
- Раскрытие элементов конструкции, тепловых экранов, сверхпроводящей катушки



## Проектный облик космического аппарата

- Высота 6,5 м
- Модуль служебных систем:  
1,5 x 1,5 x 1,5 м
- Габариты по РИТЭГ 4 м

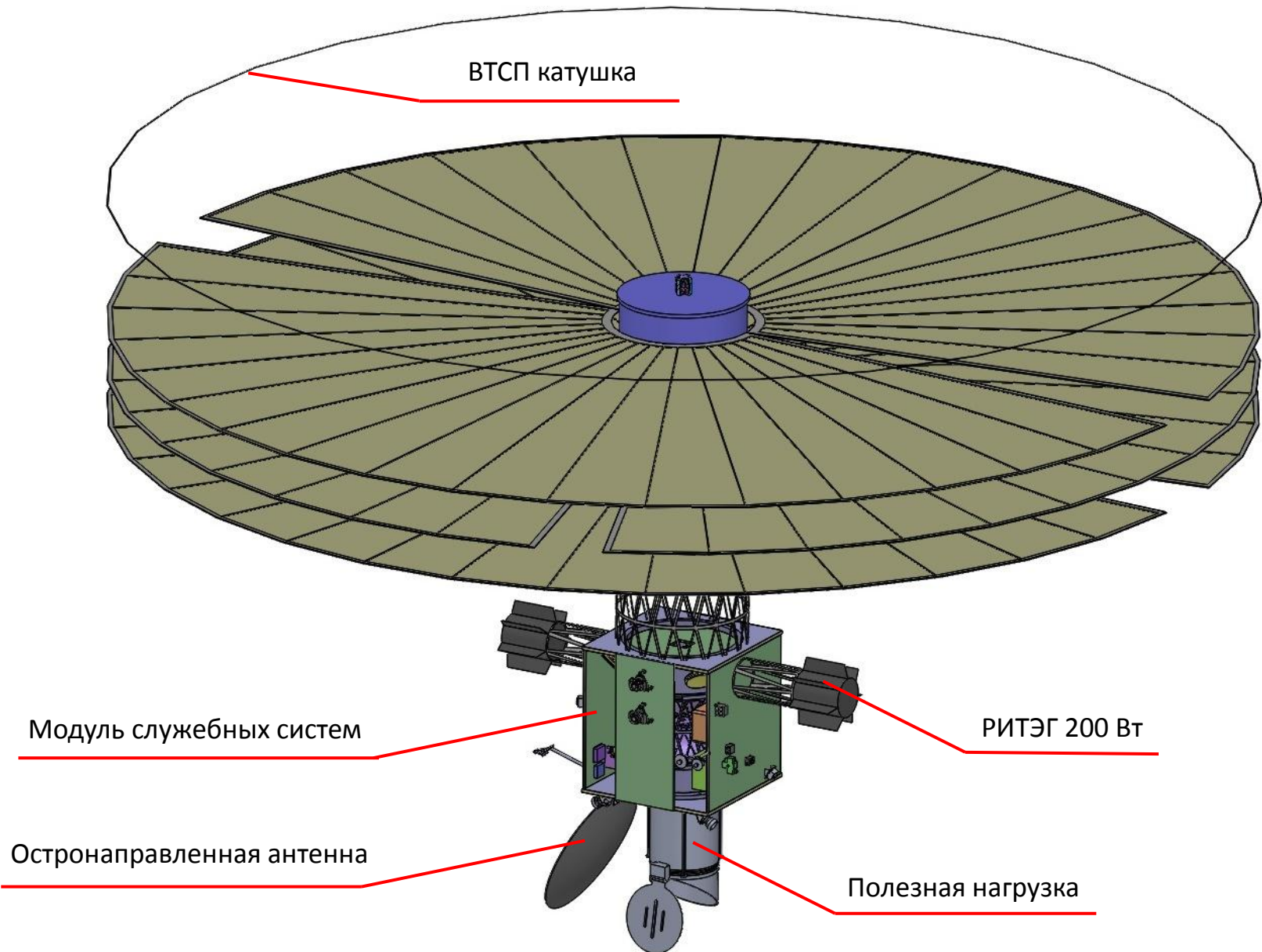


Теплозащитный  
экран

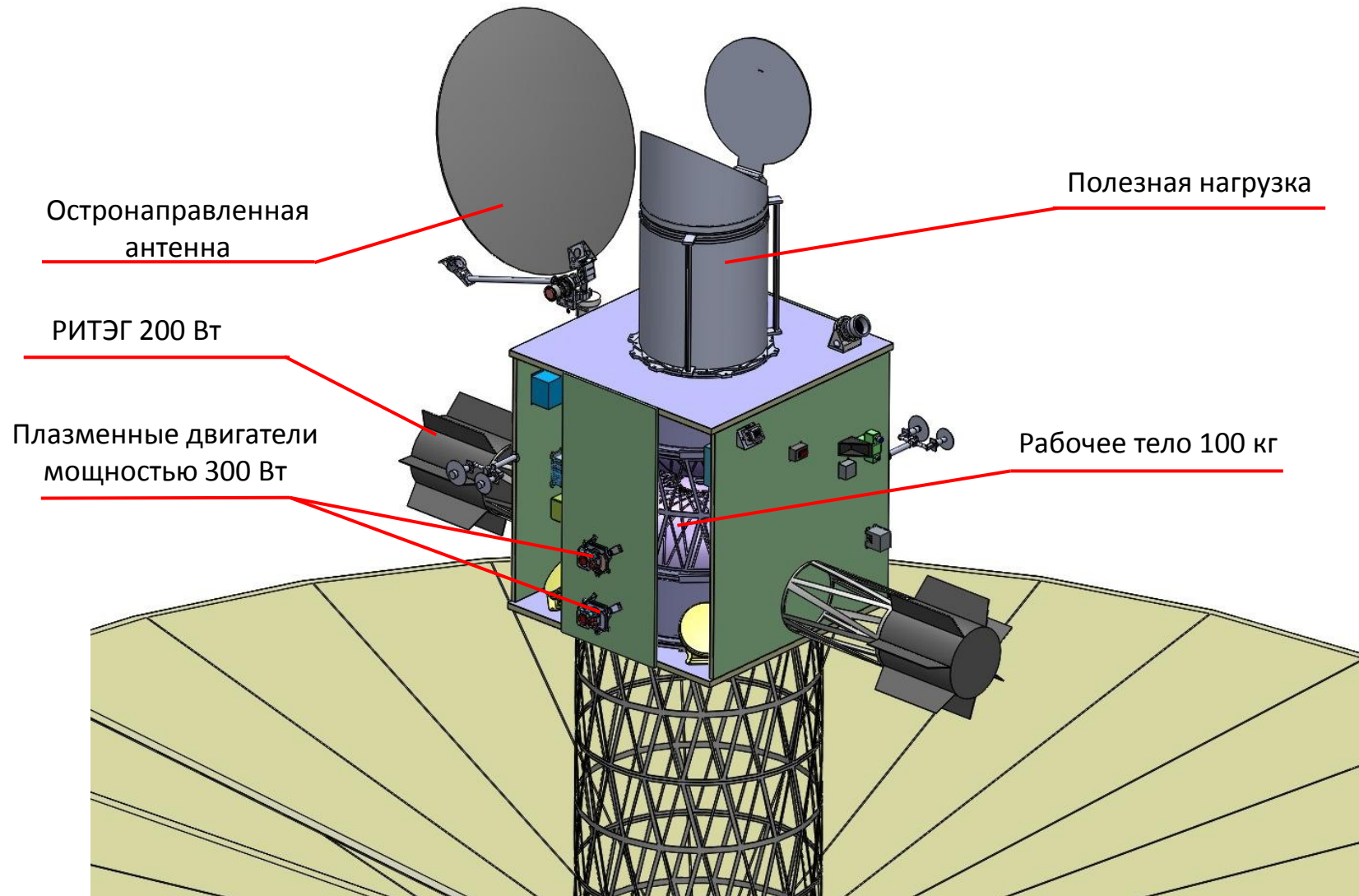
$T = -200\text{ C}$

ВТСП катушка

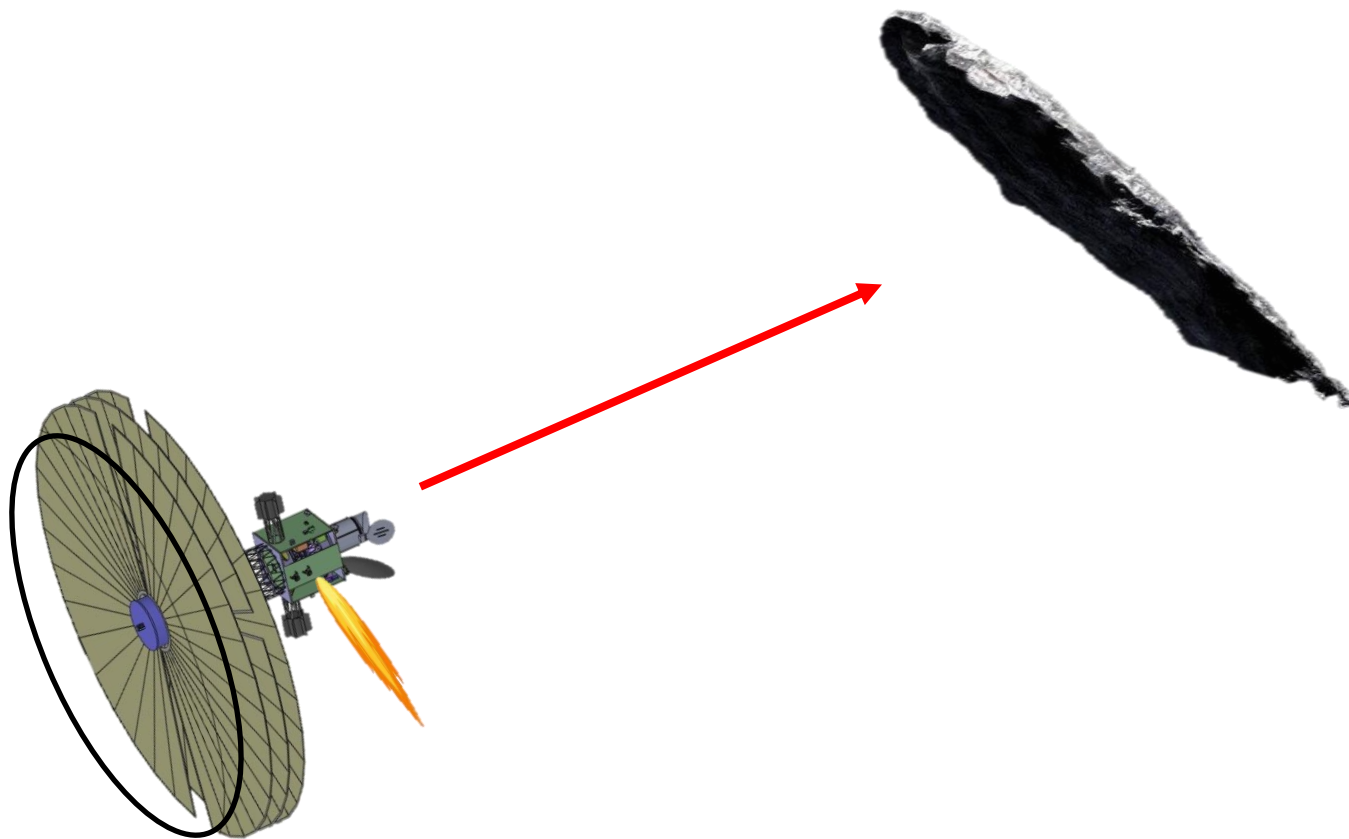
## Проектный облик космического аппарата



## Проектный облик космического аппарата



- Работа магнитного паруса и электроракетной ступени на плазменных двигателях СПД-50М от РИТЭГ до набора гиперболического избытка скорости 50 км/с
- Пролет объекта **1I/2017 U1**



## Выводы

---

1. Прямые перелетные миссии к объектам типа **1I/2017 U1** с учетом существующих РН и типов электроракетных двигательных установок возможны в ближайшие 10 лет после прохождения перигелия, с помощью космического аппарата массой порядка 3800 кг.
2. После внедрения новых двигательных установок типа магнитный парус временной промежуток может быть расширен или возможна отправка КА к объектам типа **1I/2017 U1** на более легких и дешевых РН, технологически более простым космическим аппаратом массой порядка 500 кг.