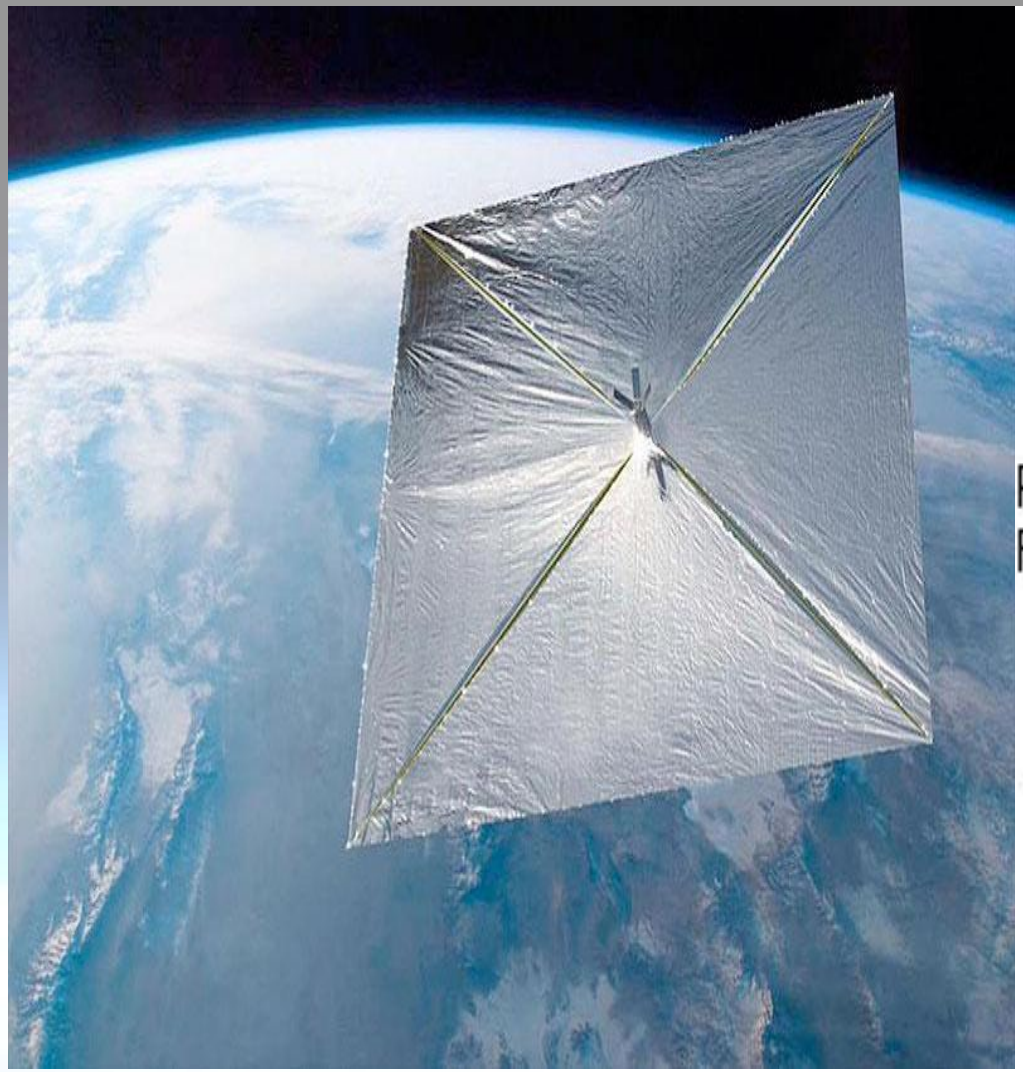
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»
Факультет Энергомашиностроение
Кафедра Э8 Плазменные энергоустановки

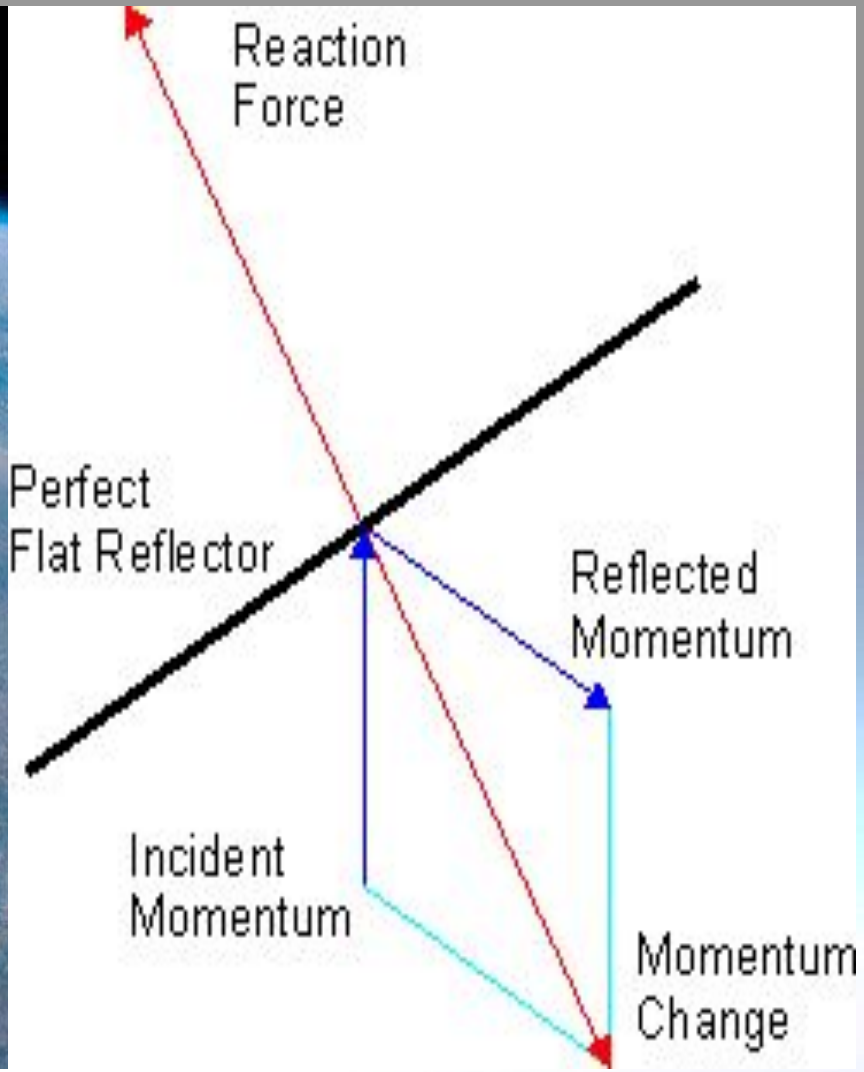
СОЛНЕЧНЫЙ ПАРУС И ТРОСОВЫЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Преподаватель: Семенкин А.В.
Студент: Шумейко А.И.

Москва
2018 г.

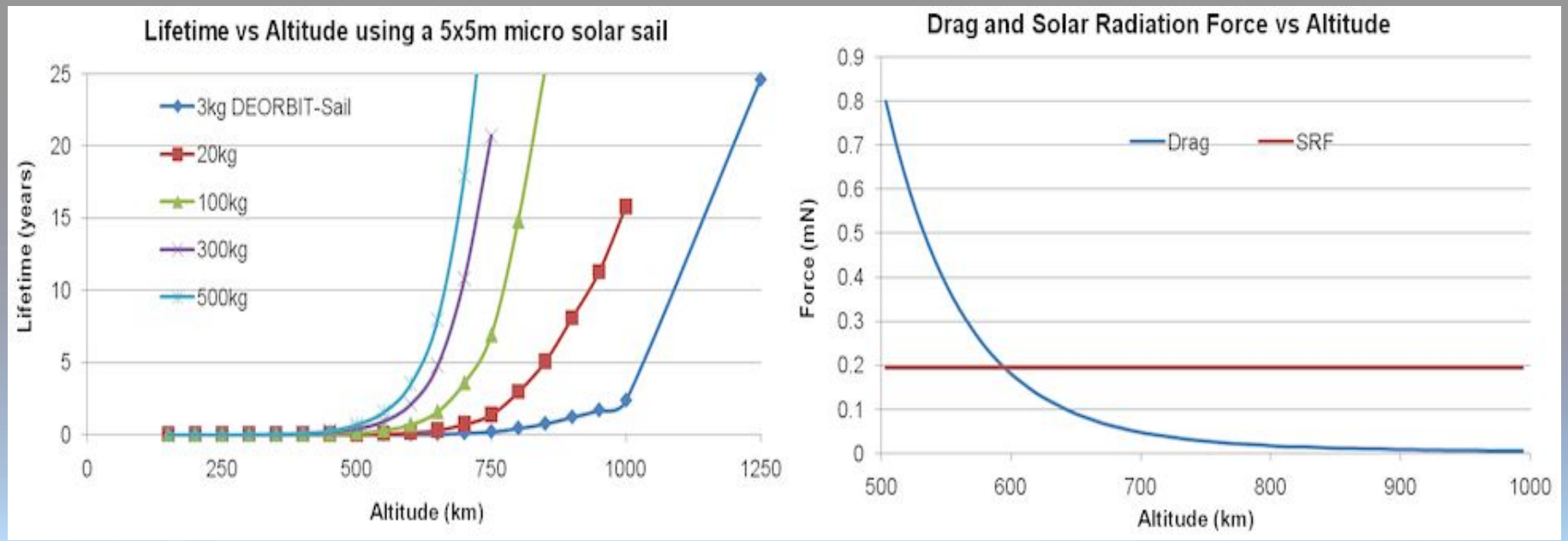
Солнечный парус





Солнечный парус – устройство для приведение в движение космического аппарата, использующее давление солнечного ветра или лазерного излучения.

Солнечный парус



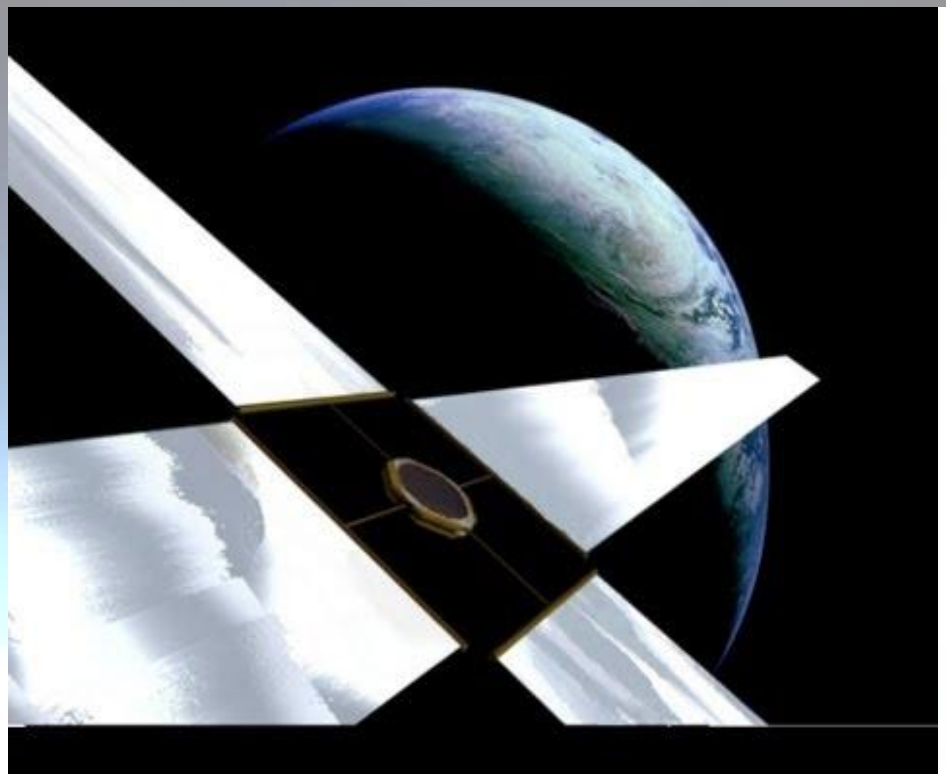
Объяснение явления увеличения времени жизни при увеличении массы КА:
Баллистический коэффициент:

$$C = c_f \frac{d^2}{m}$$

где c_f - коэффициент формы КА; d – Миделевое сечение КА; m – масса КА.
Чем выше баллистический коэффициент, тем ниже сила аэродинамического сопротивления.

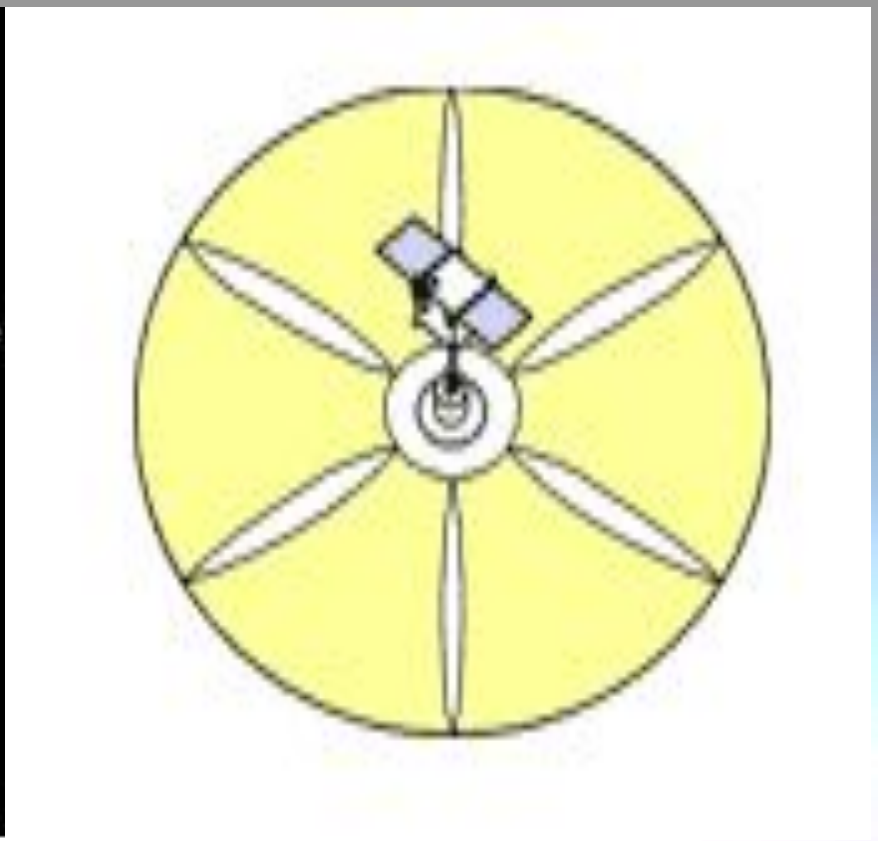
Типы конструкции солнечного паруса

1. Парус – гироскоп (heliogyro solar sail system)



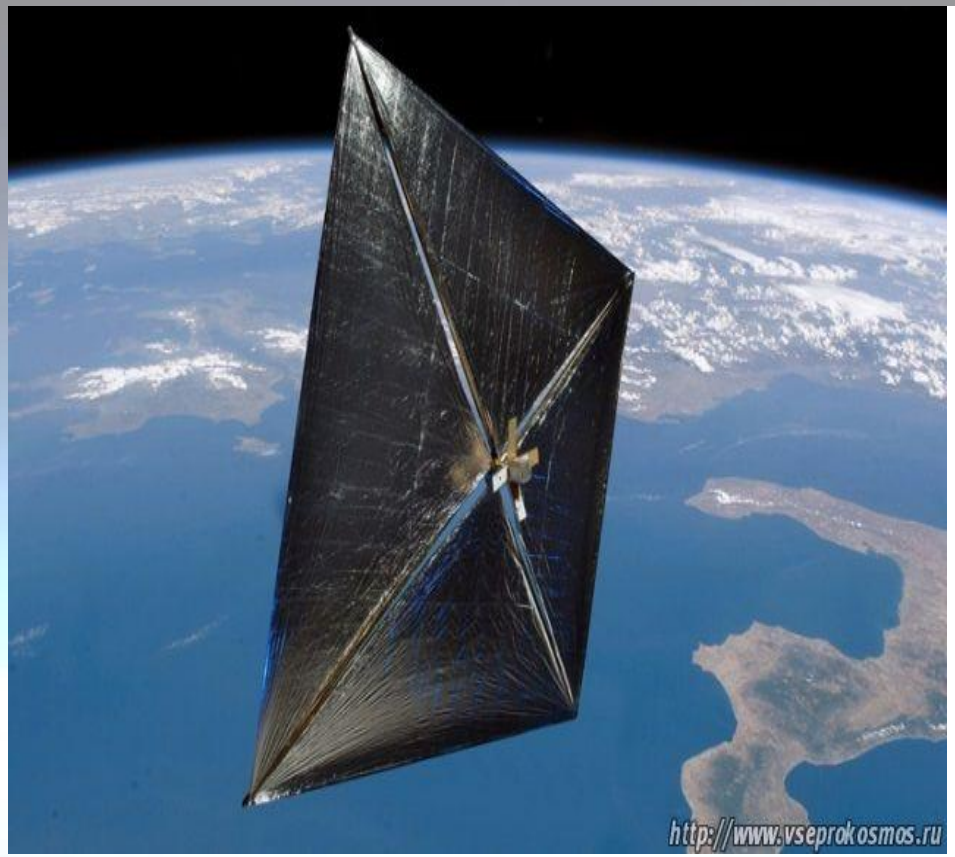
Типы конструкции солнечного паруса

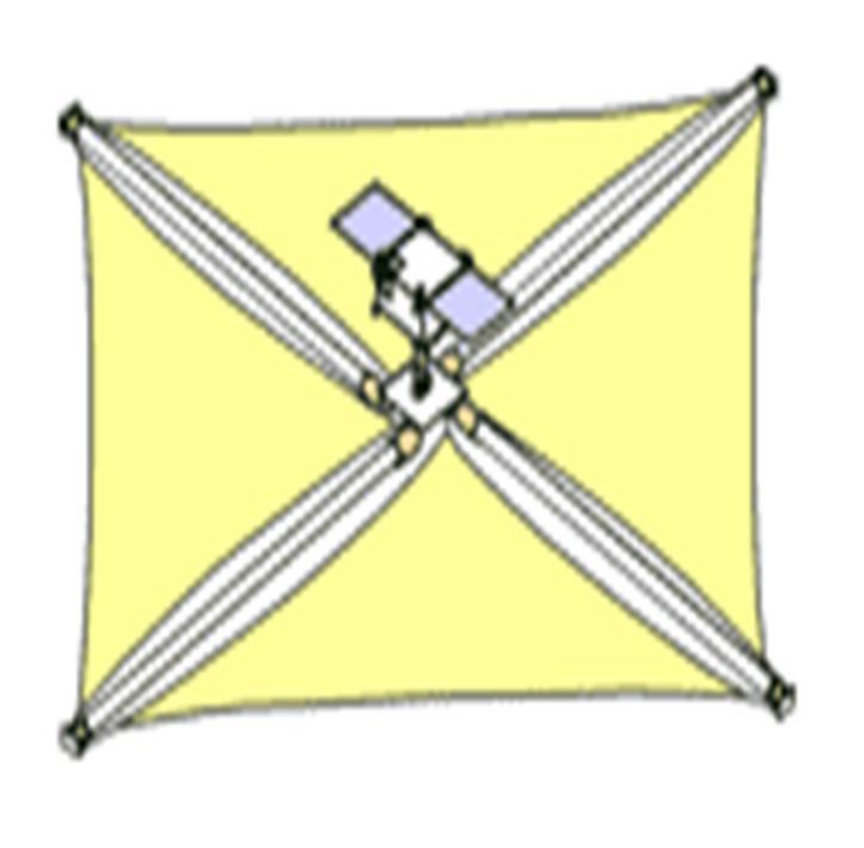
2. Парус – диск (spinning disc solar sail system)



Типы конструкции солнечного паруса

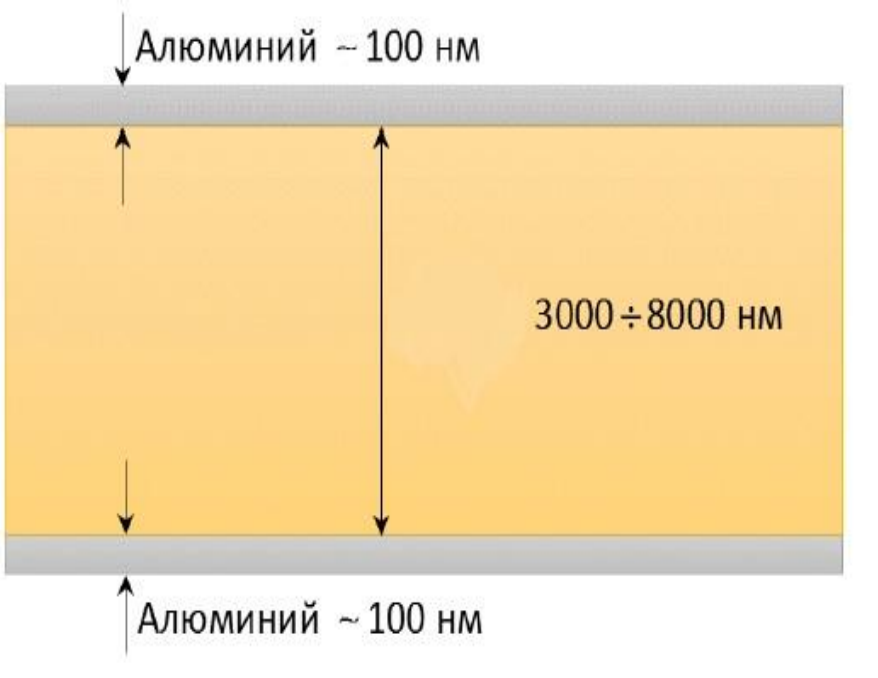
3. Квадратный парус (3-axis stabilized square solar sail system)



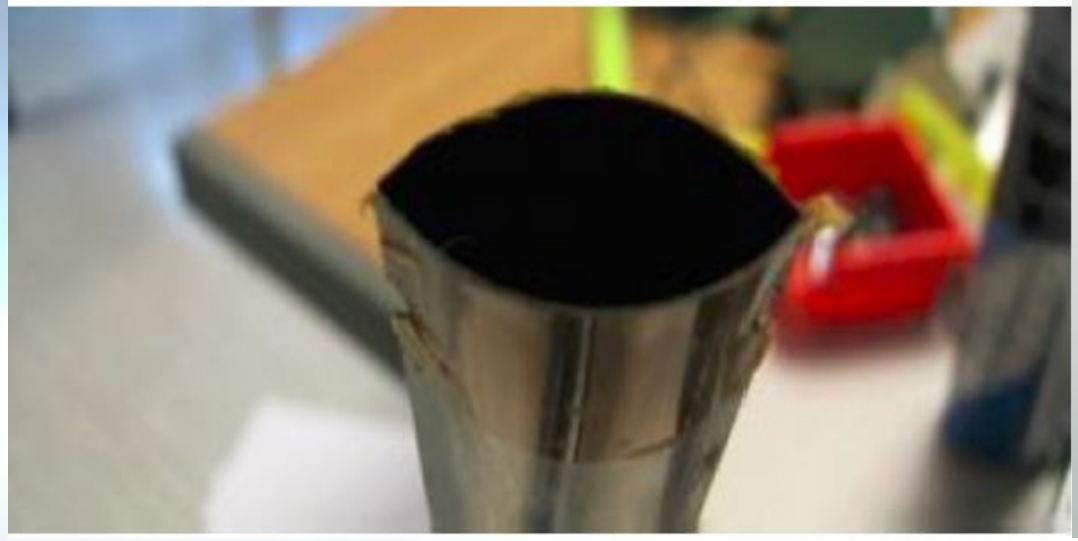


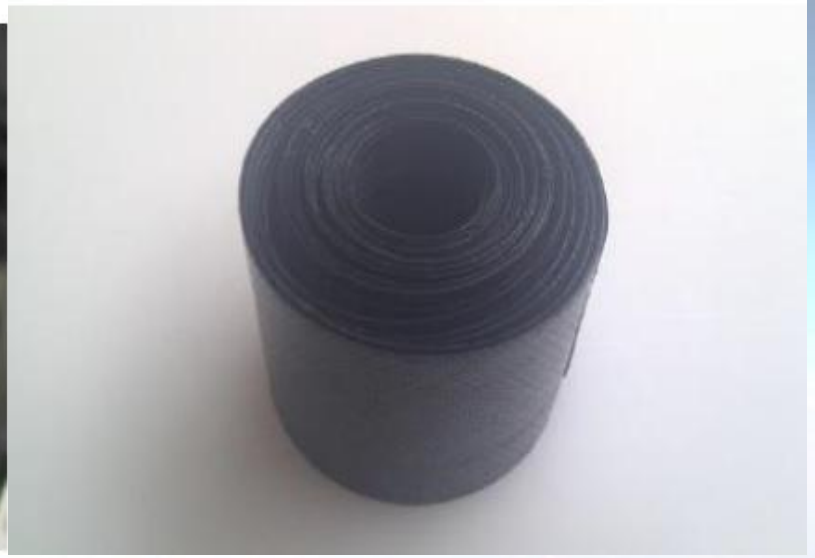
Структура мембраны солнечного паруса

1. Основа мембраны паруса – Polyimide (PI, Kapton), Polyethylene terephthalate (PET, Maylar);
2. Передняя поверхность паруса покрывается хорошо отражающей свет алюминиевой пленкой;
3. Задняя поверхность паруса должна хорошо излучать, поэтому хромируется, либо также алюминируется (если неизвестно,какая из сторон будет рабочей).



Типы направляющих штанг



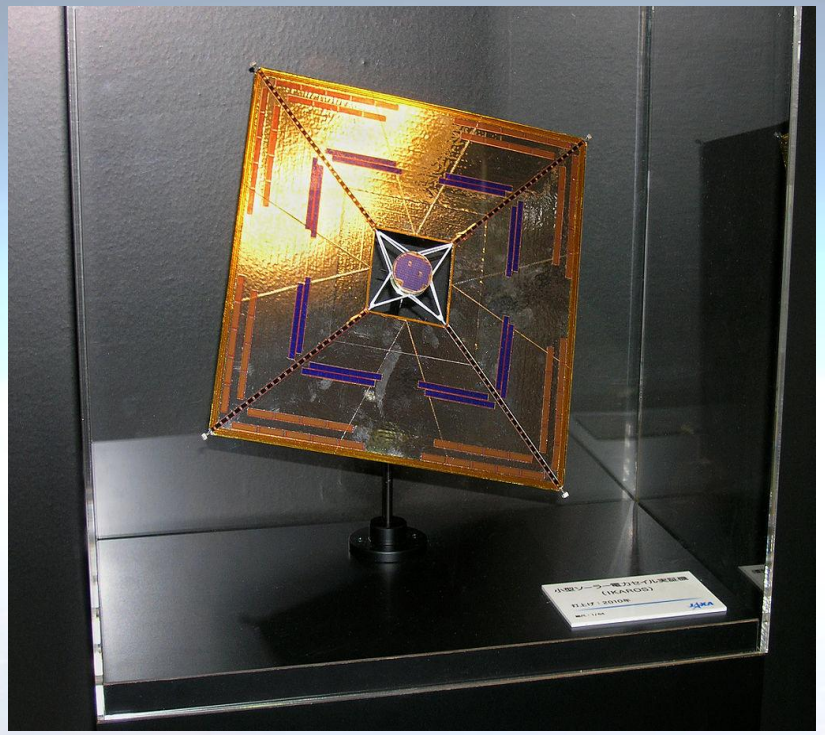


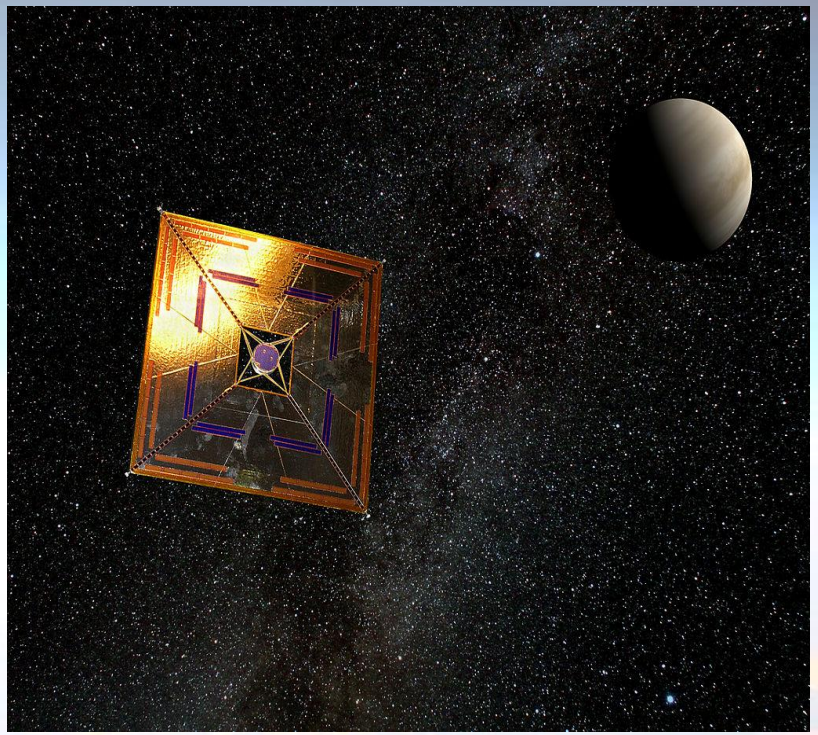
Металлические (медно-бериллиевые)

Углепластиковые

IKAROS

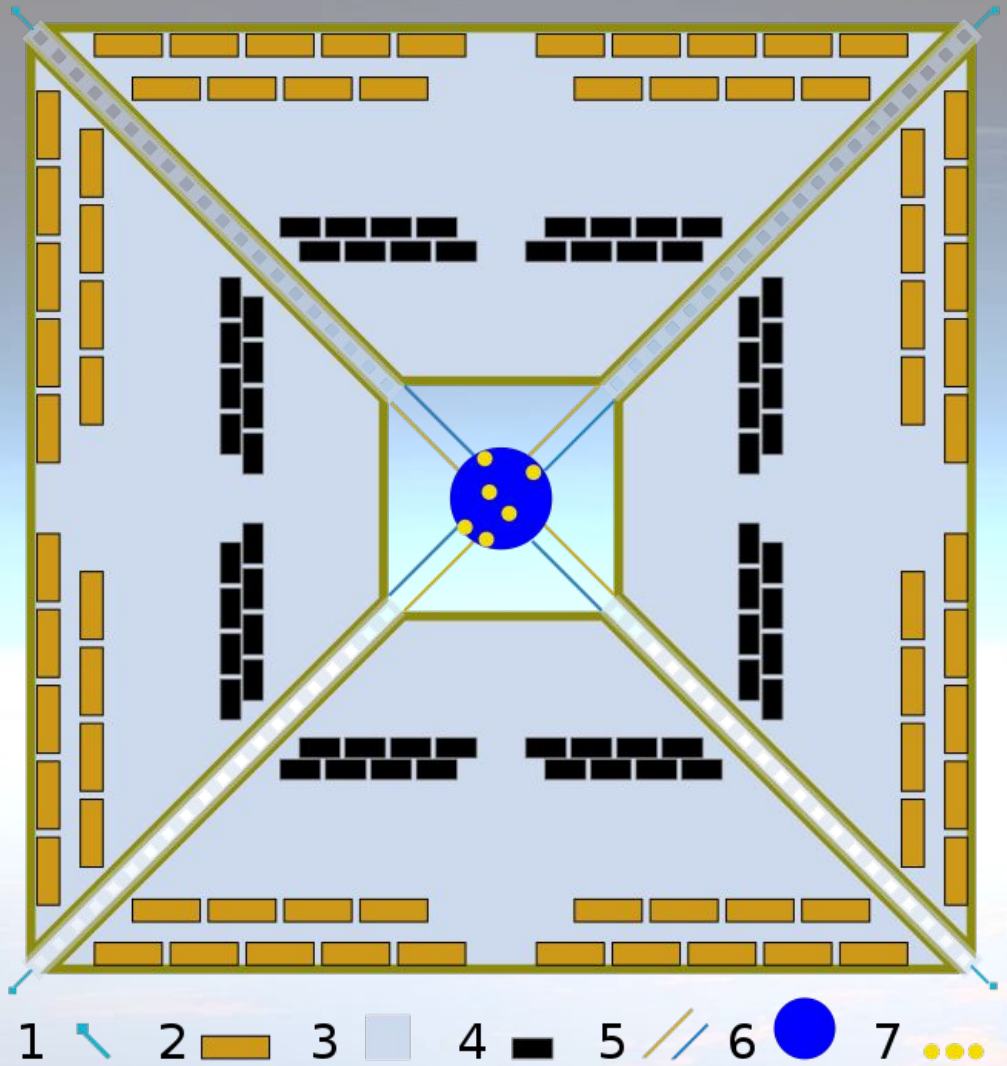
IKAROS (англ. Interplanetary Kite-craft Accelerated by Radiation Of the Sun) — японский космический аппарат с солнечным парусом, созданный Японским агентством аэрокосмических исследований. Запуск состоялся 21 мая 2010 года. 8 декабря 2010 года КА пролетел мимо Венеры, тем самым завершив свою миссию.





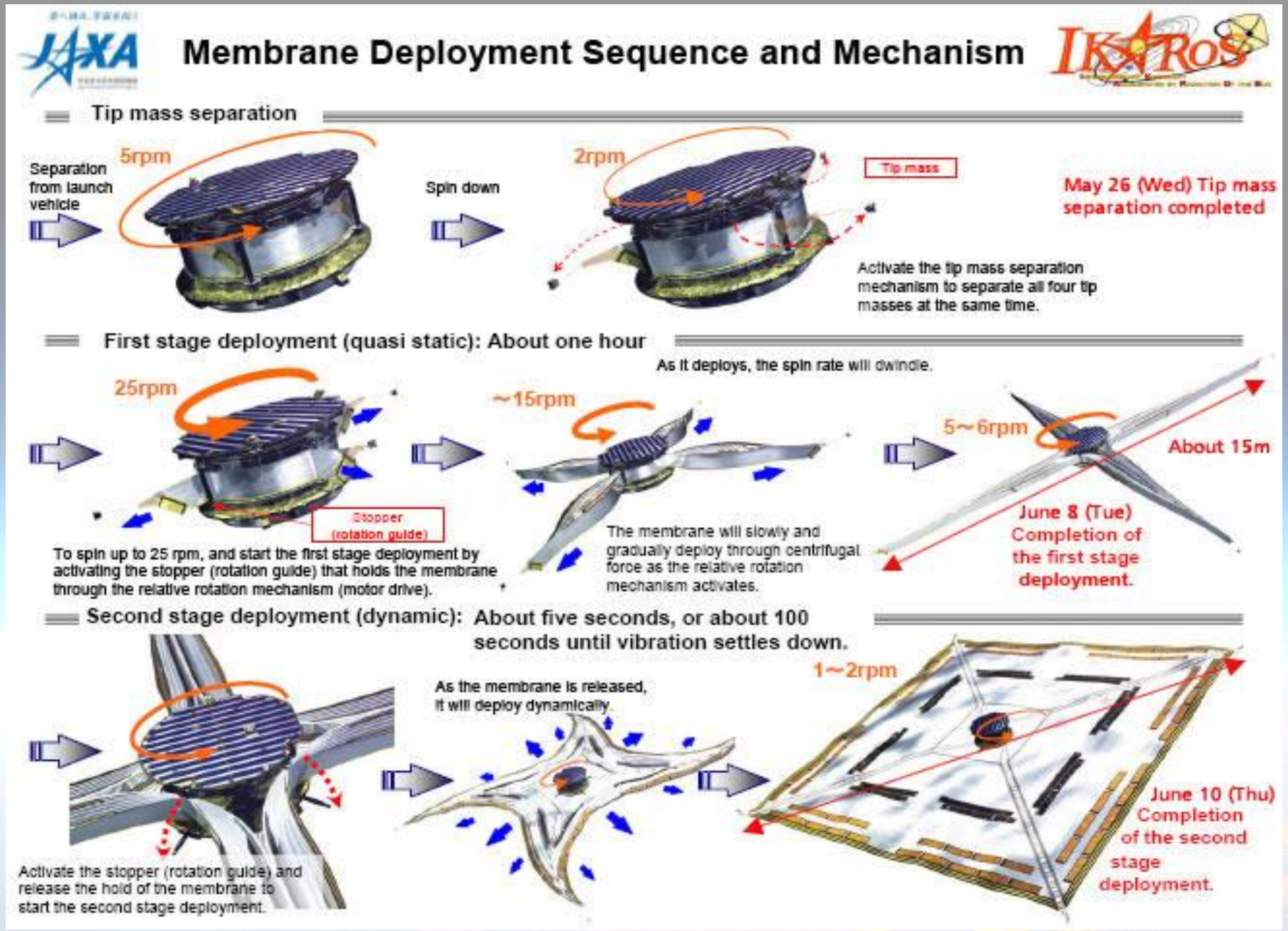
IKAROS

Ученые из JAXA заключили, что тяга 196 м^2 солнечного паруса составила 1,12 мН. Размер паруса – 14 м * 14 м. Масса КА – 315 кг.

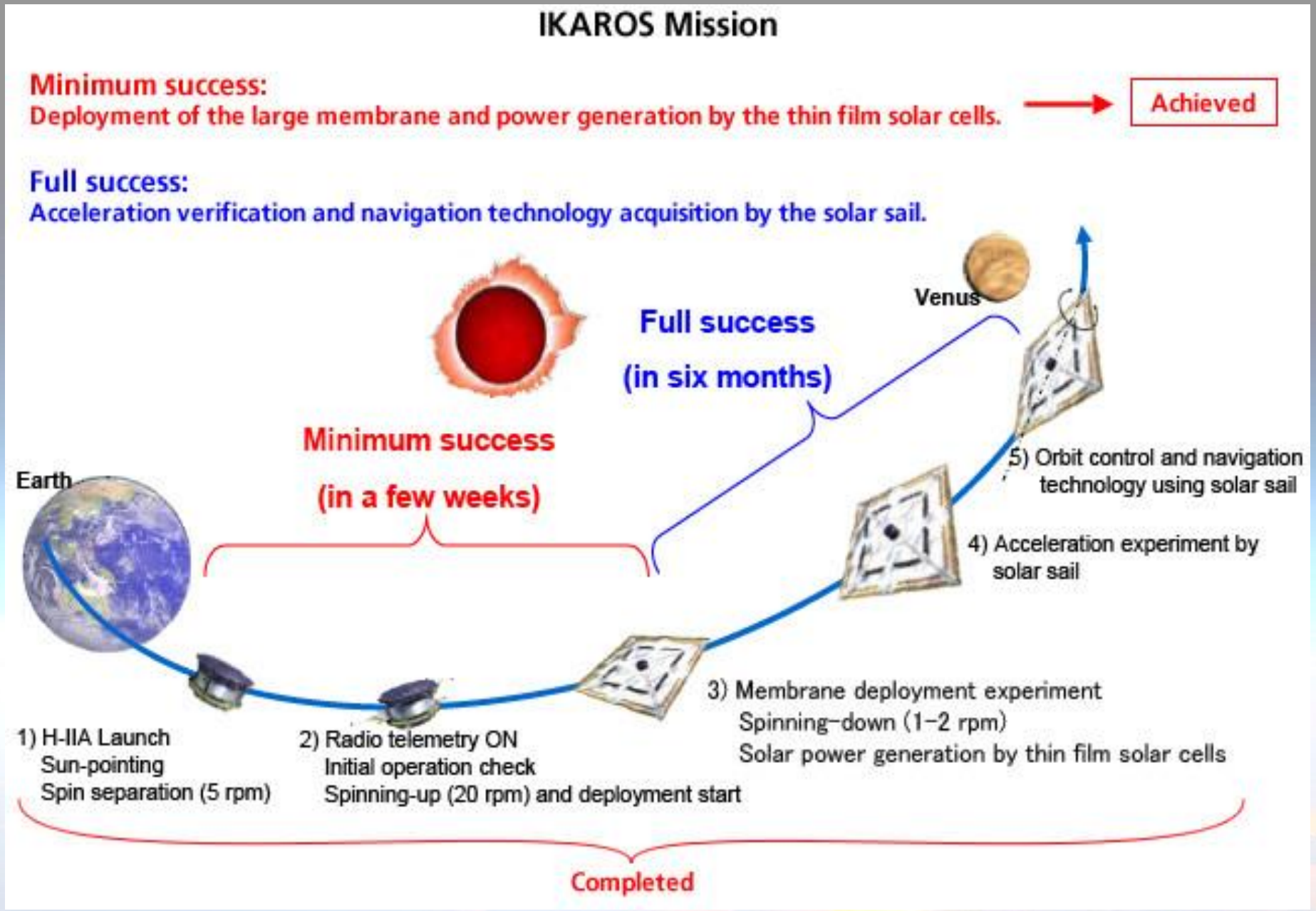


1 – наконечник массой 0,5 кг;
2 – жидкие кристаллы (создают тягу) – 80 шт.;
3 – пленка толщиной 7,5 мкм;
4 – солнечные элементы толщиной 25 мкм (энергетика);
5 – тросы;
6 – основная часть КА;
7 – аппаратура.

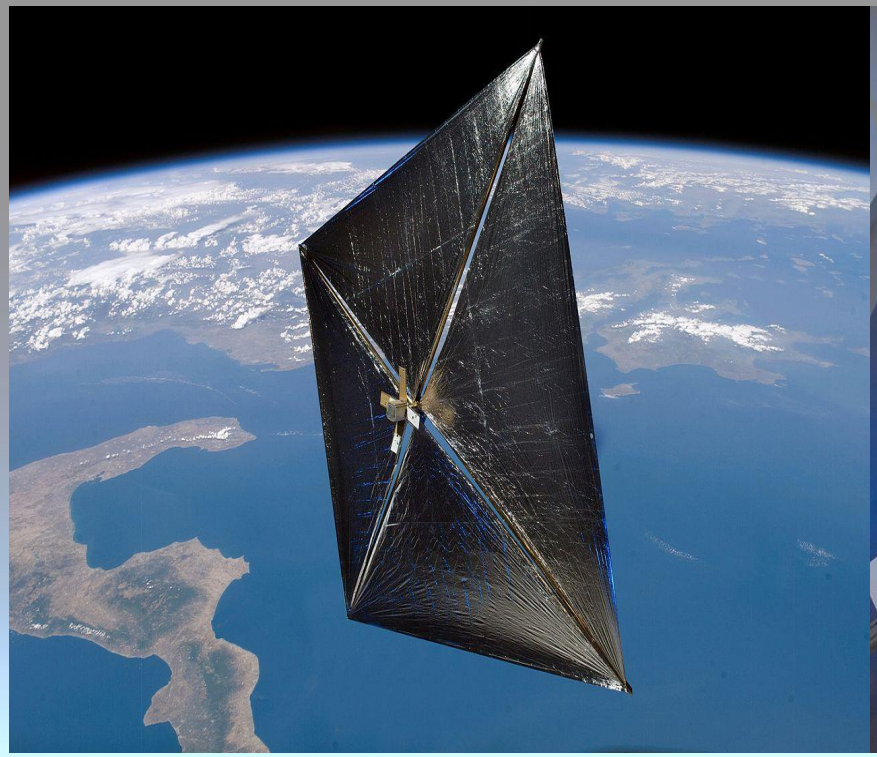
IKAROS

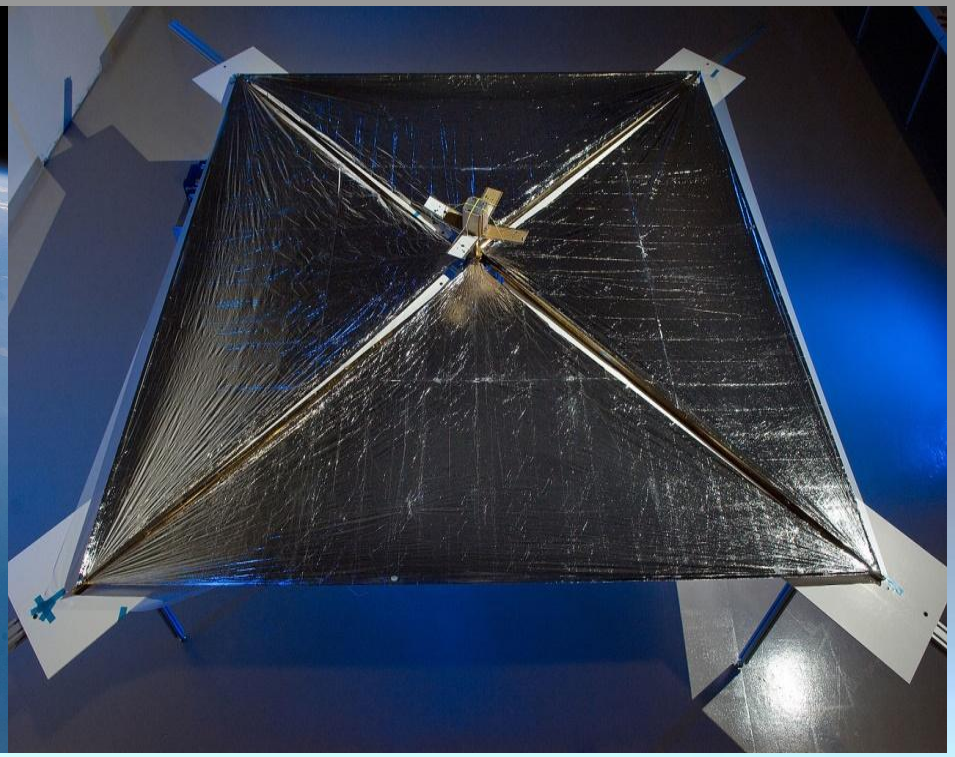

Membrane Deployment Sequence and Mechanism
Tip mass separation
Separation from launch vehicle
5rpm
Spin down
2rpm
Tip mass
May 26 (Wed) Tip mass separation completed
Activate the tip mass separation mechanism to separate all four tip masses at the same time.
First stage deployment (quasi static): About one hour
As it deploys, the spin rate will dwindle.
25rpm
~15rpm
5~6rpm
About 15m
Stopper (rotation guide)
To spin up to 25 rpm, and start the first stage deployment by activating the stopper (rotation guide) that holds the membrane through the relative rotation mechanism (motor drive).
The membrane will slowly and gradually deploy through centrifugal force as the relative rotation mechanism activates.
June 8 (Tue) Completion of the first stage deployment.
Second stage deployment (dynamic): About five seconds, or about 100 seconds until vibration settles down.
1~2rpm
As the membrane is released, it will deploy dynamically.
Activate the stopper (rotation guide) and release the hold of the membrane to start the second stage deployment.
June 10 (Thu) Completion of the second stage deployment.

IKAROS


IKAROS Mission
Minimum success:
Deployment of the large membrane and power generation by the thin film solar cells.
Achieved
Full success:
Acceleration verification and navigation technology acquisition by the solar sail.
Full success
(in six months)
Venus
Minimum success
(in a few weeks)
Earth
5) Orbit control and navigation technology using solar sail
4) Acceleration experiment by solar sail
3) Membrane deployment experiment
Spinning-down (1-2 rpm)
Solar power generation by thin film solar cells
1) H-IIA Launch
Sun-pointing
Spin separation (5 rpm)
2) Radio telemetry ON
Initial operation check
Spinning-up (20 rpm) and deployment start
Completed

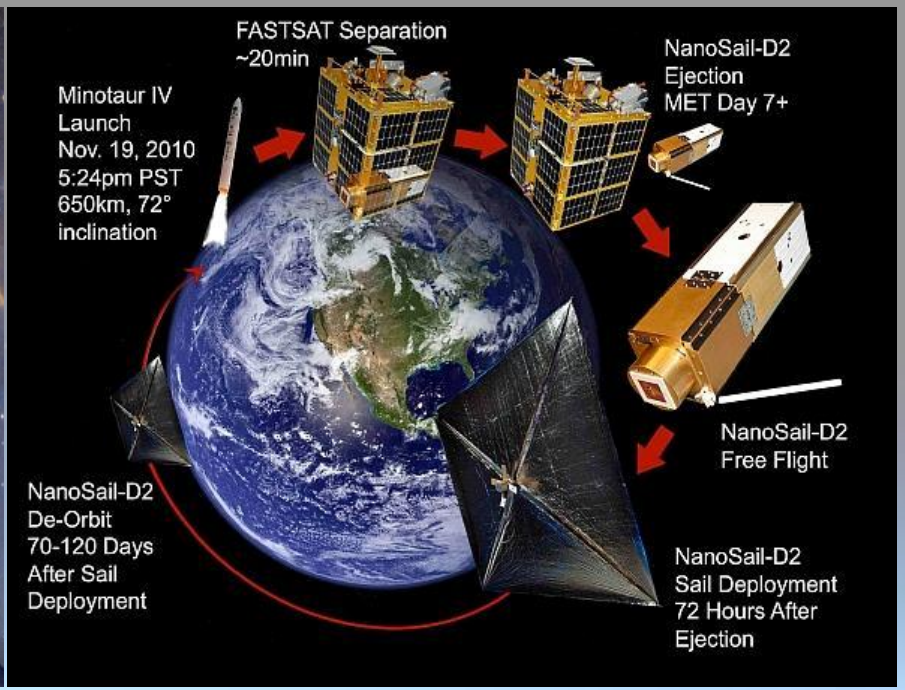
NanoSail - D2





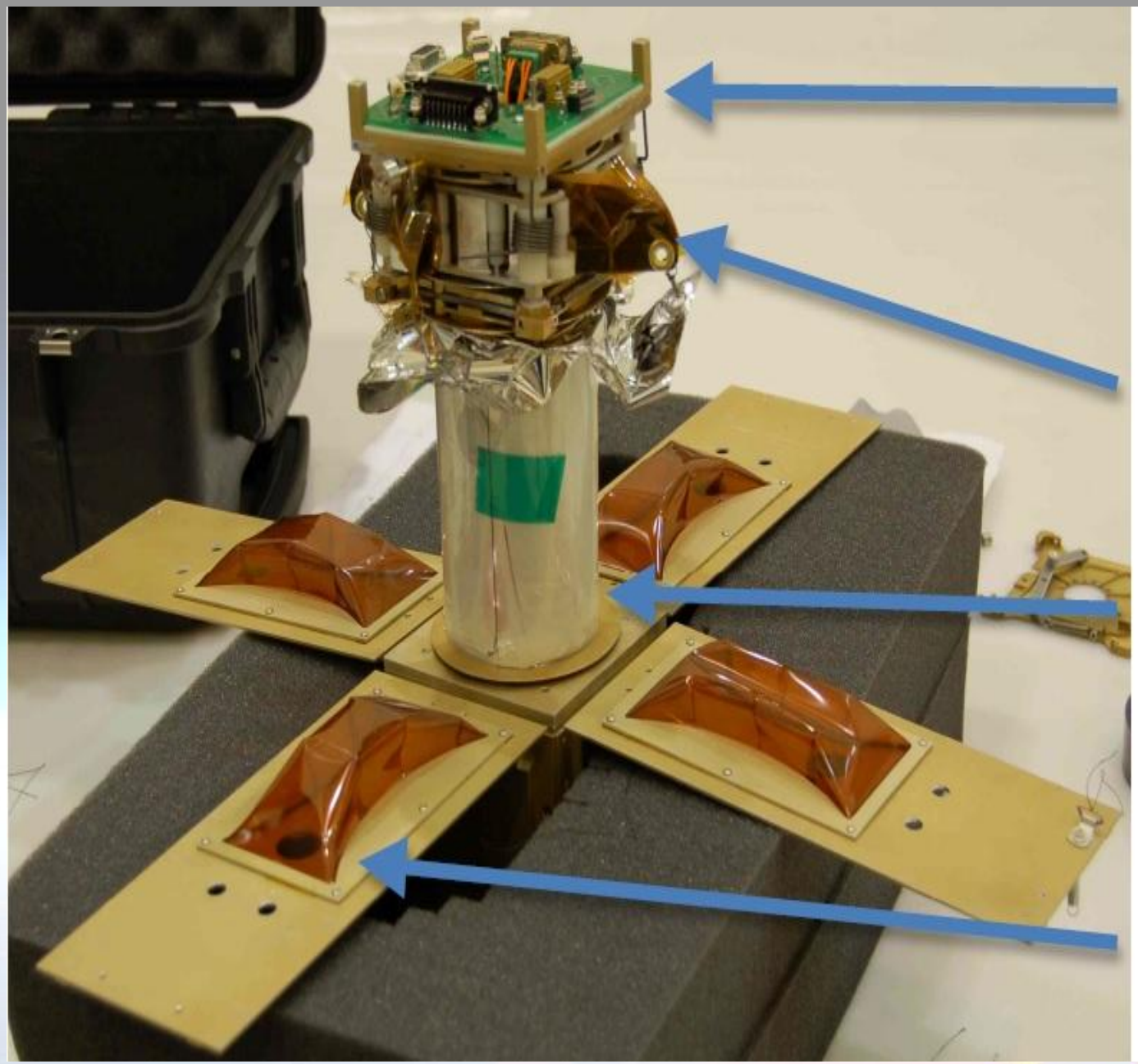
NanoSail - D2 находился на борту КА типа CubSAT 3U, массой 4 кг. КА был запущен в ноябре 2010 года. Площадь солнечного паруса была 10 м^2.

NanoSail - D2



Характеристика	Значение	Характеристика	Значение
Тип КА	CubSAT 3U	Материал паруса	CP-1
Масса КА, кг	4	Толщина, мкм	7,5
Длительность миссии, дн	240	Площадь паруса, $м^2$	10
Разгонный блок	FATSAT	Тяга, мН	30
Целевая орбита, км	650	Устройство раскрытия	4 телескопические штанги
Цель паруса	Увод КА с орбиты	Время раскрытия, с	5

NanoSail - D2



Sail Activation Interface Board (SAIB)

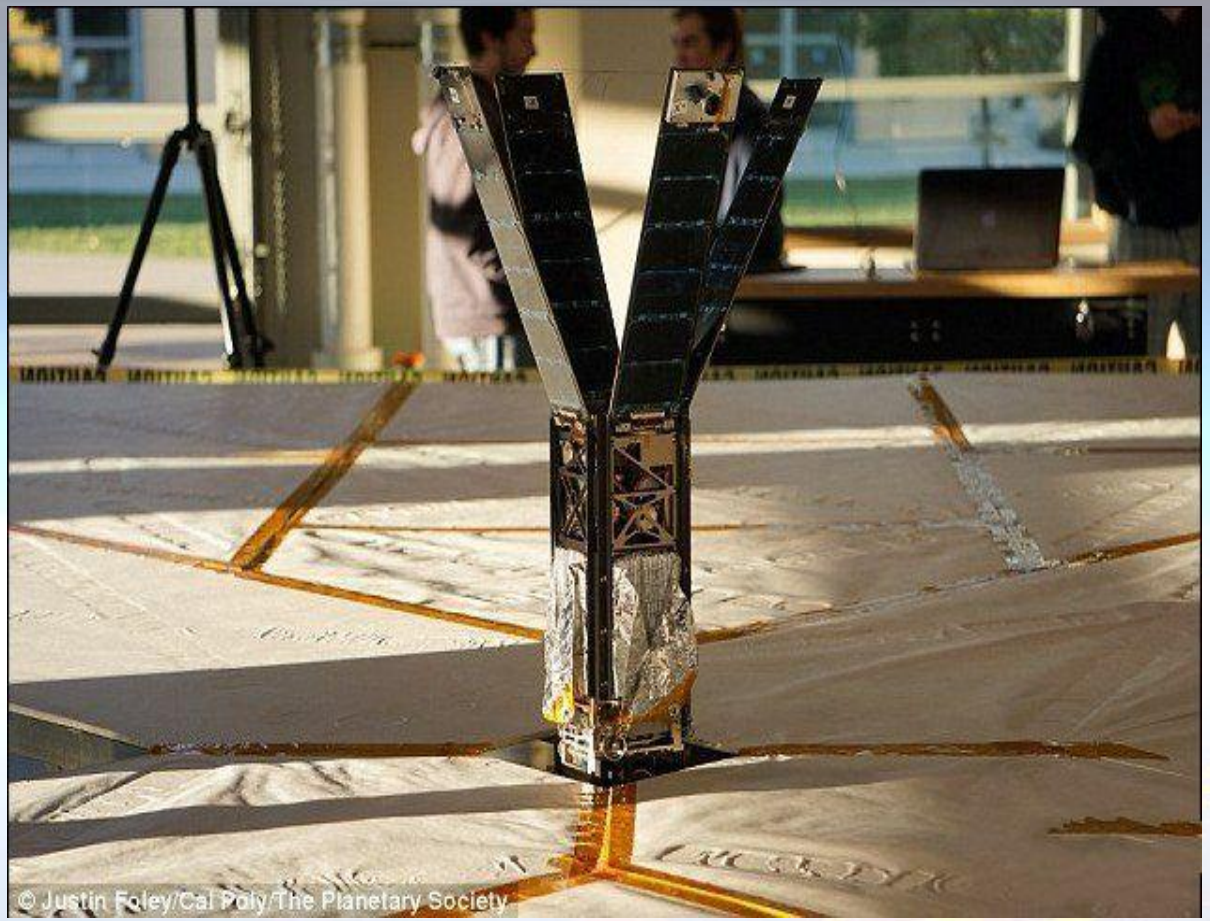
Boom Deployer Mechanism

$10m^2$ Sail (Plastic wrap removed during final assembly.)

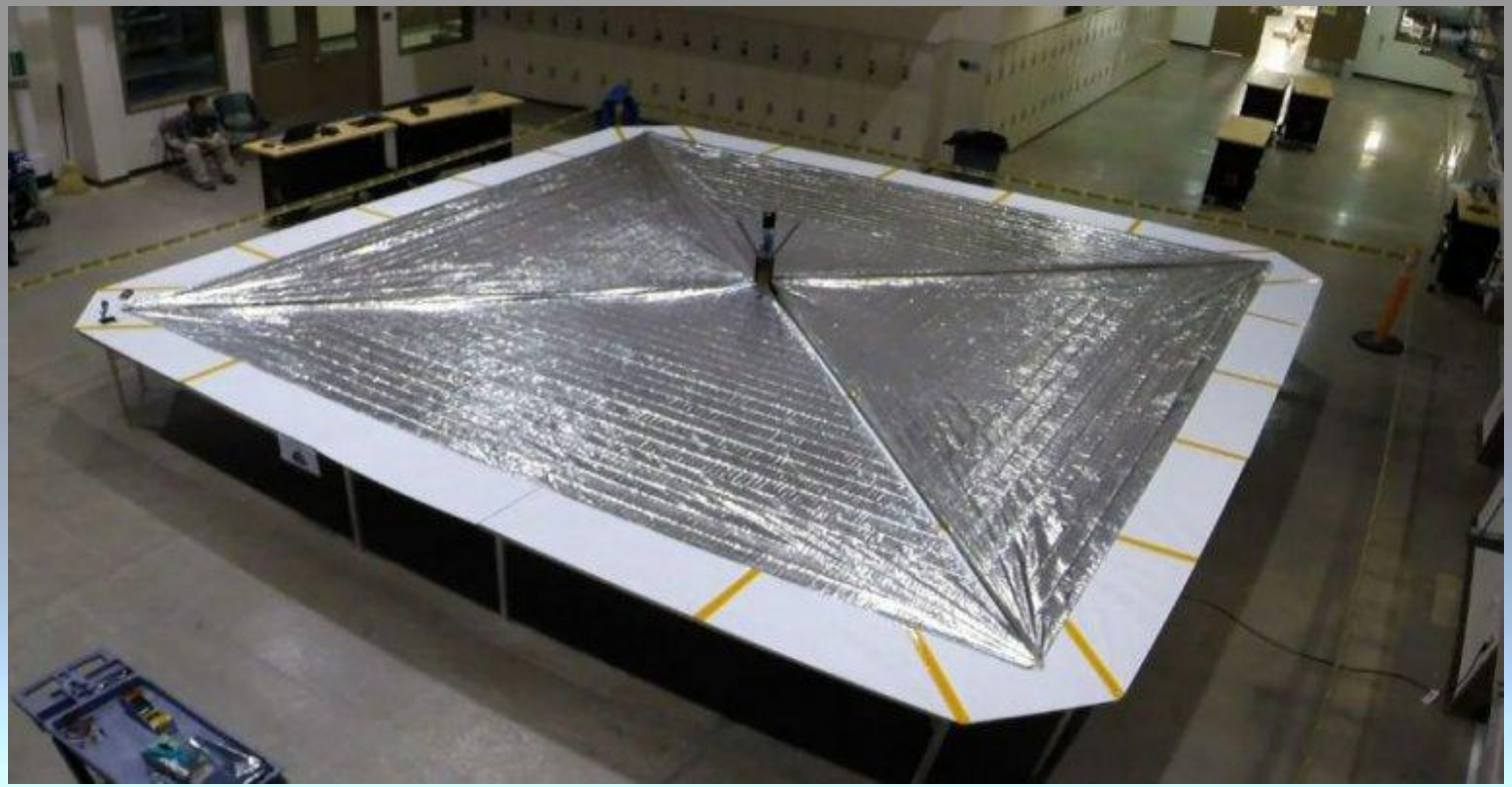
Panel Doors with Kapton Bumpers

LightSail-2

LightSail-2 - проект солнечного паруса, запуск которого запланирован на 2018 год. Планируется, что КА, массой 5 кг, будет запущен при помощи ракеты-носителя Falcon Heavy. Разработан Планетарным обществом.

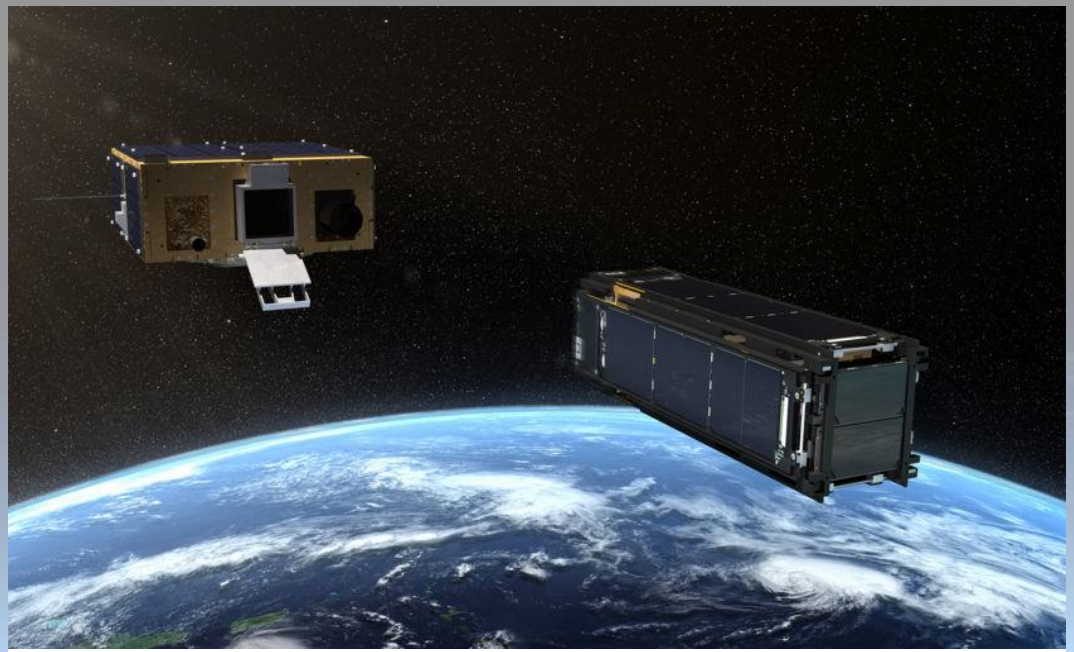


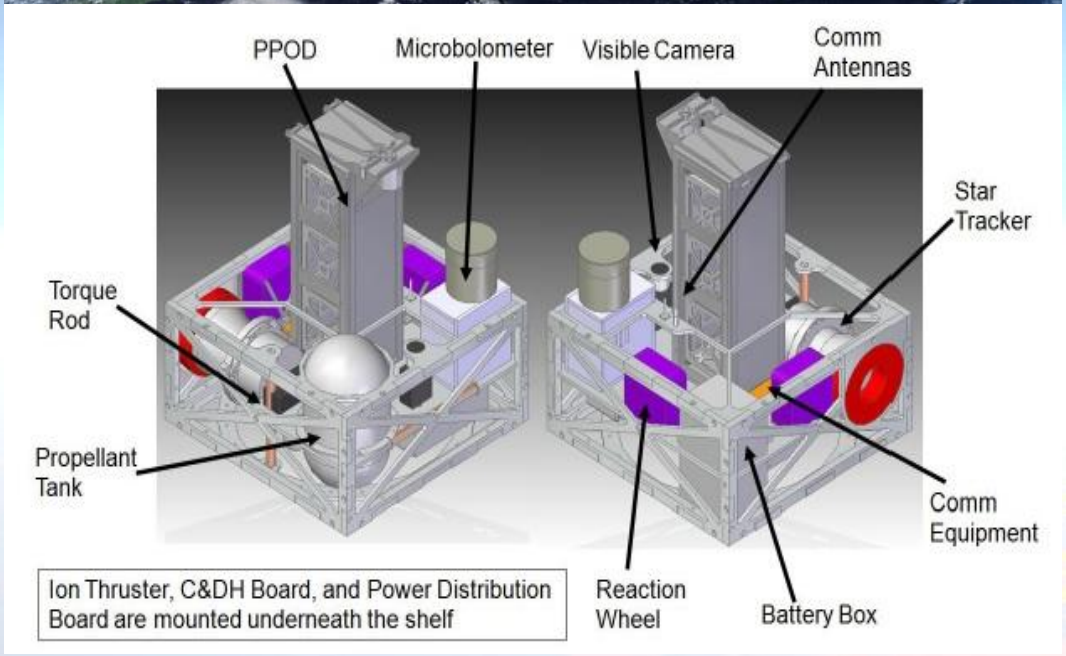
LightSail-2



Характеристика	Значение
Материал паруса	Mylar (PET)
Толщина паруса, мкм	4,5
Площадь паруса, $м^2$	32
Тяга, мН	9,3
Устройство раскрытия	4 телескопические штанги

LightSail-2

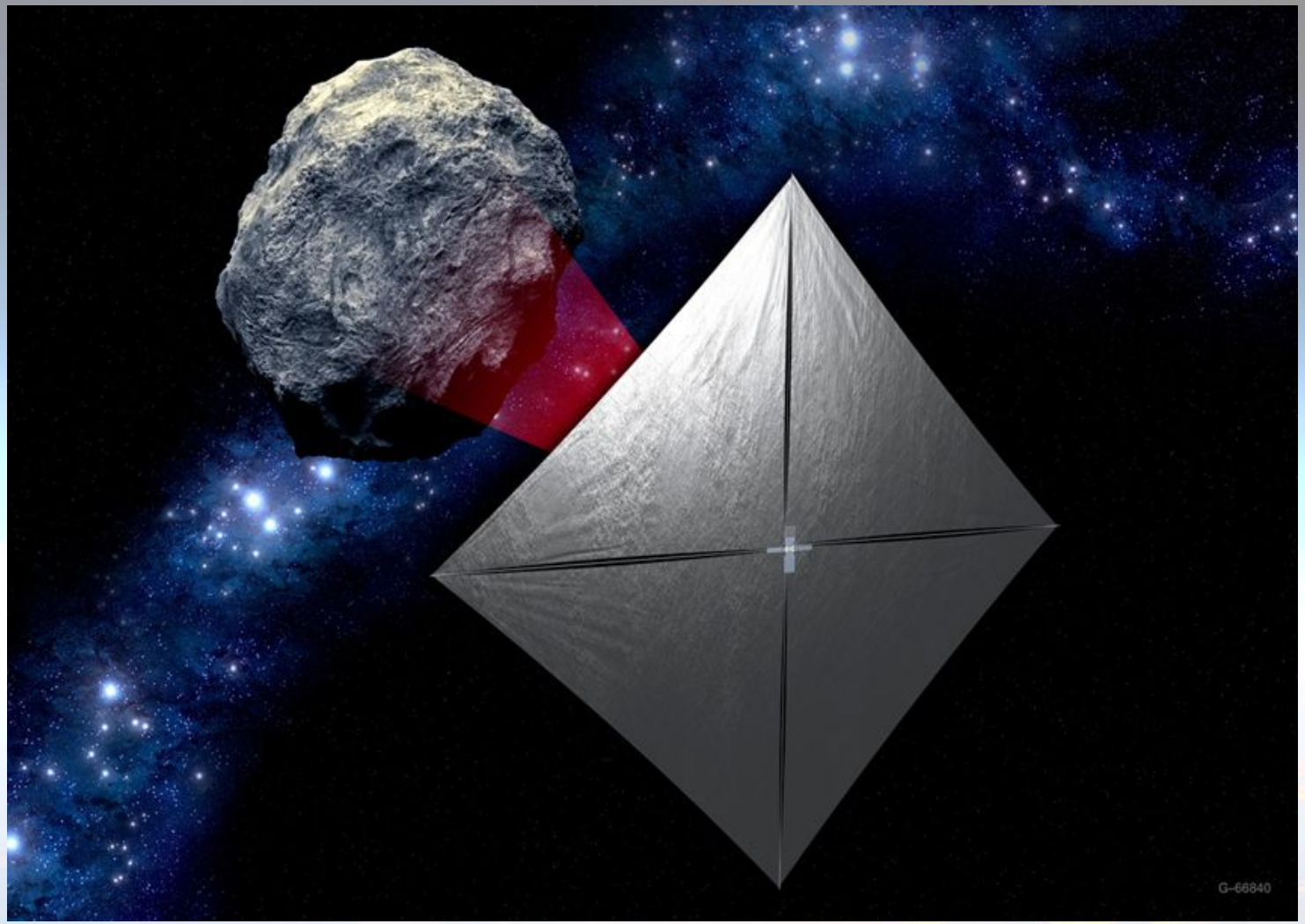




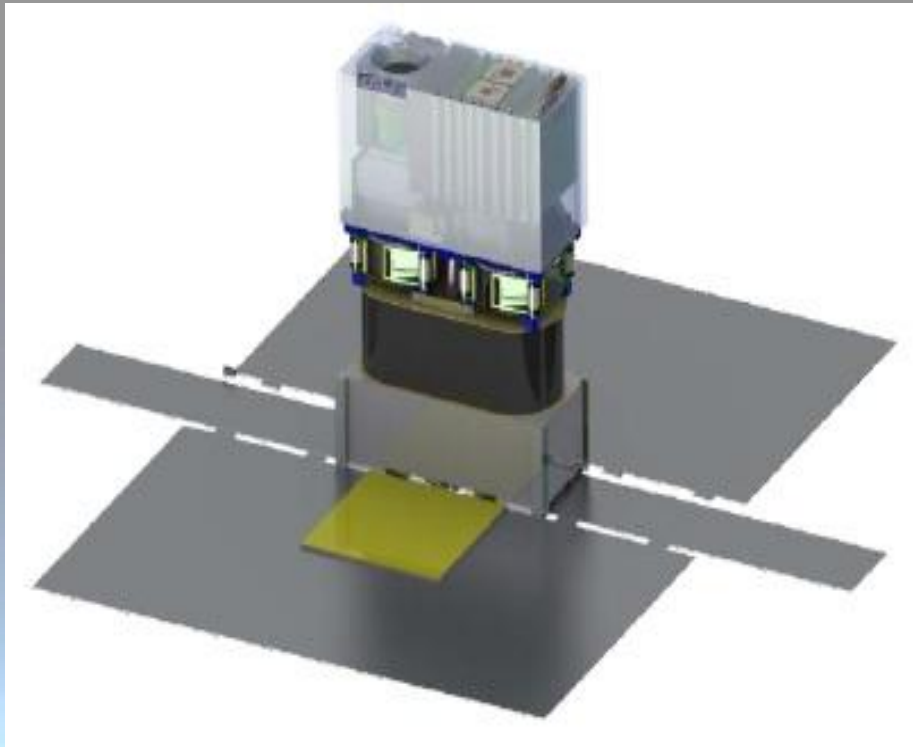
LighSail-2 будет находится на борту КА типа CubSAT 3U. Он будет занимать объем 2U. В объеме 1U будут установлены камера и системы поддержания и контроля работы КА. Довыведение КА с опорной орбиты на целевую орбиту 720 км будет происходить при помощи РБ Prox – 1 с ионным двигателем.

Near-Earth Asteroid Scout

Near-Earth Asteroid Scout – КА, разрабатываемый NASA на базе CubeSAT 6U для столкновения с астероидами, близко пролетающие к Земле.



Near-Earth Asteroid Scout

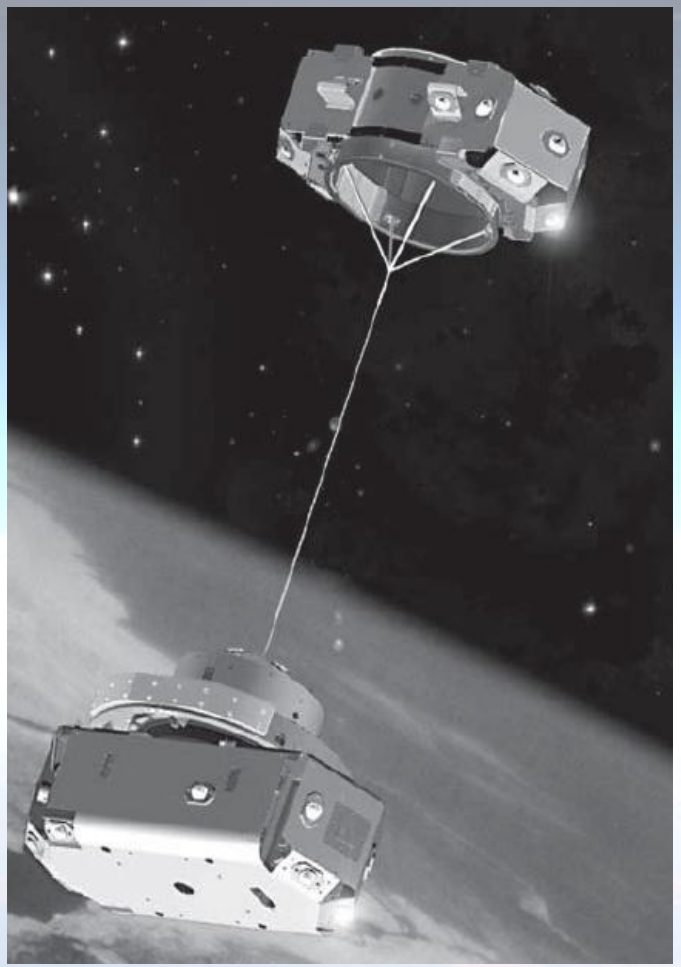


Характеристика	Значение
Тип КА	CubSAT 6U
Масса КА, кг	14
Длительность миссии, лет	2,5
Цель паруса	Столкновение с астероидом

Характеристика	Значение
Материал паруса	CP-1
Толщина, мкм	2,5
Площадь паруса, $м^2$	86
Устройство раскрытия	4 телескопические штанги
Время раскрытия, мин	30

Тросовые электродинамические системы

Космической тросовой системой (КТС) называют систему искусственных космических объектов (спутников, кораблей, грузов), соединённых протяженными гибкими элементами, совершающую орбитальный полет.



Тросовые электродинамические системы

Космические тросовые системы, в которых соединительный трос выполнен из электропроводных материалов, называют электродинамическими (ЭДКТС). В результате в тросе возникает электродвижущая сила E , пропорциональная его длине:

$$E = vBl.$$

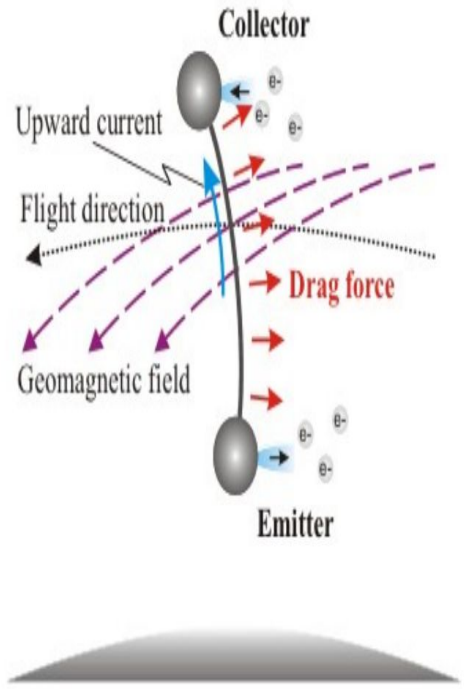
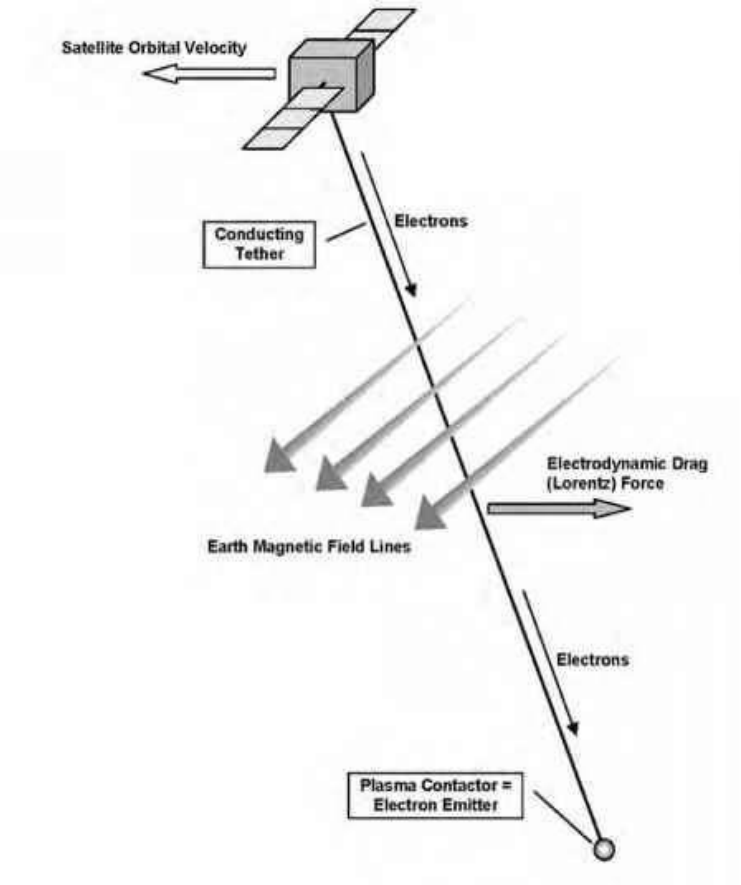


Fig. 1. Thrust generation mechanism of electrodynamic tether.

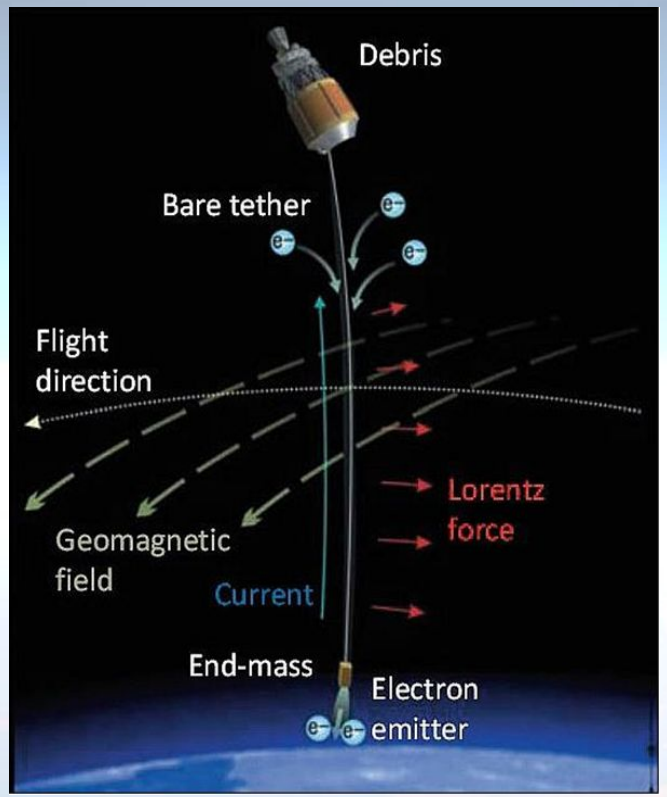


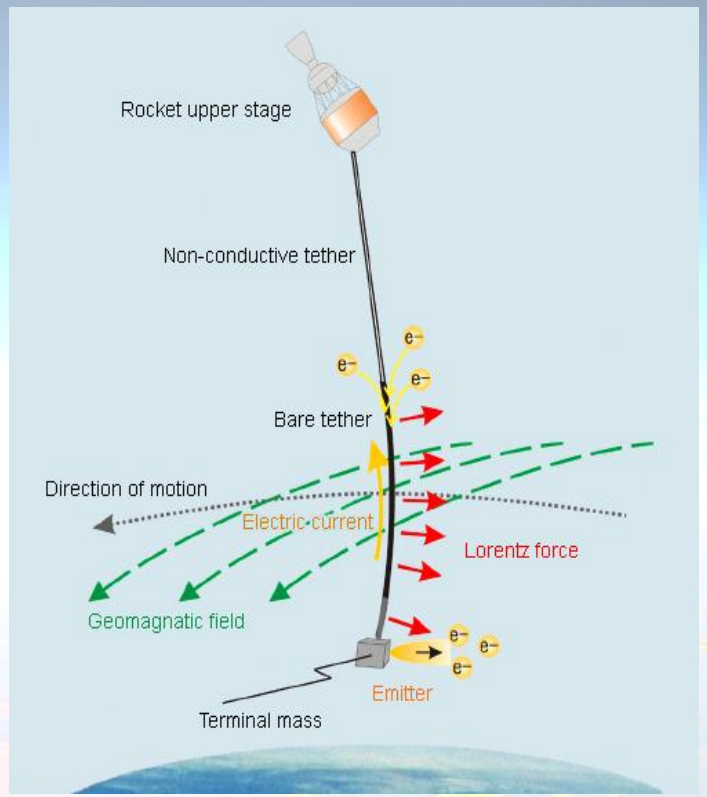
Напрвления использования комических тросовых систем

1. Энергетика (электростанции космического базирования);
2. Искусственная гравитация (поддержание на КА необходимой величины ускорения свободного падения);
3. Спуск грузов с орбиты;
4. Генерация тока и изменение орбиты;
5. Увод с орбиты (торможение отработавших КА);
6. Транспортные системы;
7. Связь (трос в качестве передающей антенны, излучающей радиоволны);
8. Распределенные измерения (радиоисследования Солнца и планет, в частности на тех длинах волн, которые не пропускает земная ионосфера).

Small Expendable Deployer System (SEDS-1 и SEDS-2)

Годы выполнения миссий 1993-1994. Миссии заключались в возможности развертывание троса и в уводе с LEO 2-ой ступени ракеты-носителя Delta II. В миссии SEDS-1 трос из-за колебаний порвался после одного витка вокруг Земли. В мисси SEDS-2 трос порвался через 4 дня из-за налетевшего на него космического мусора. Длина троса в обеих миссиях составляла 20 км.





Small Expendable Deployer System (SEDS-1 и SEDS-2)

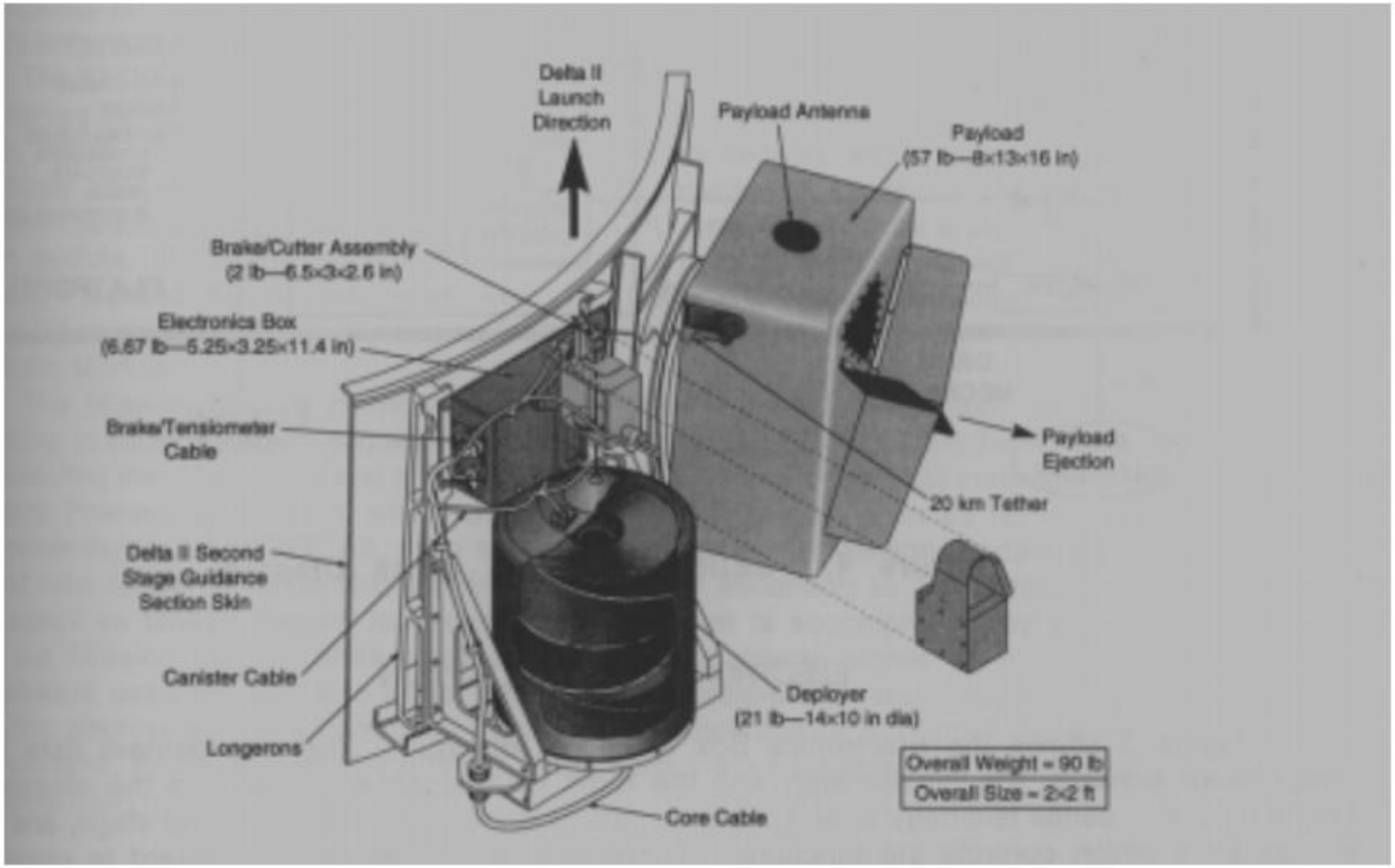
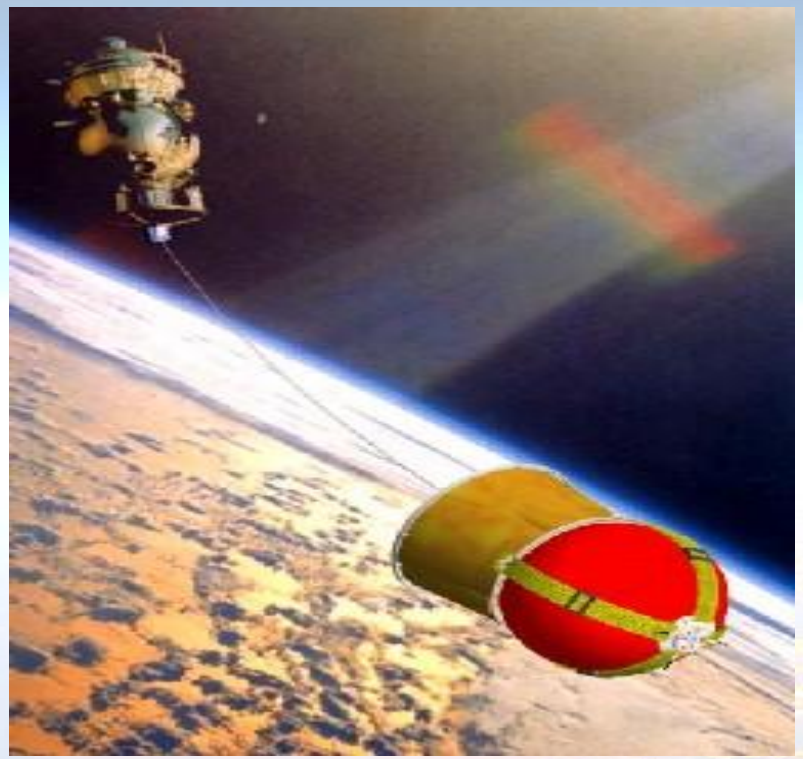


Figure 1.9 SEDS and Endmass on the Delta Second Stage

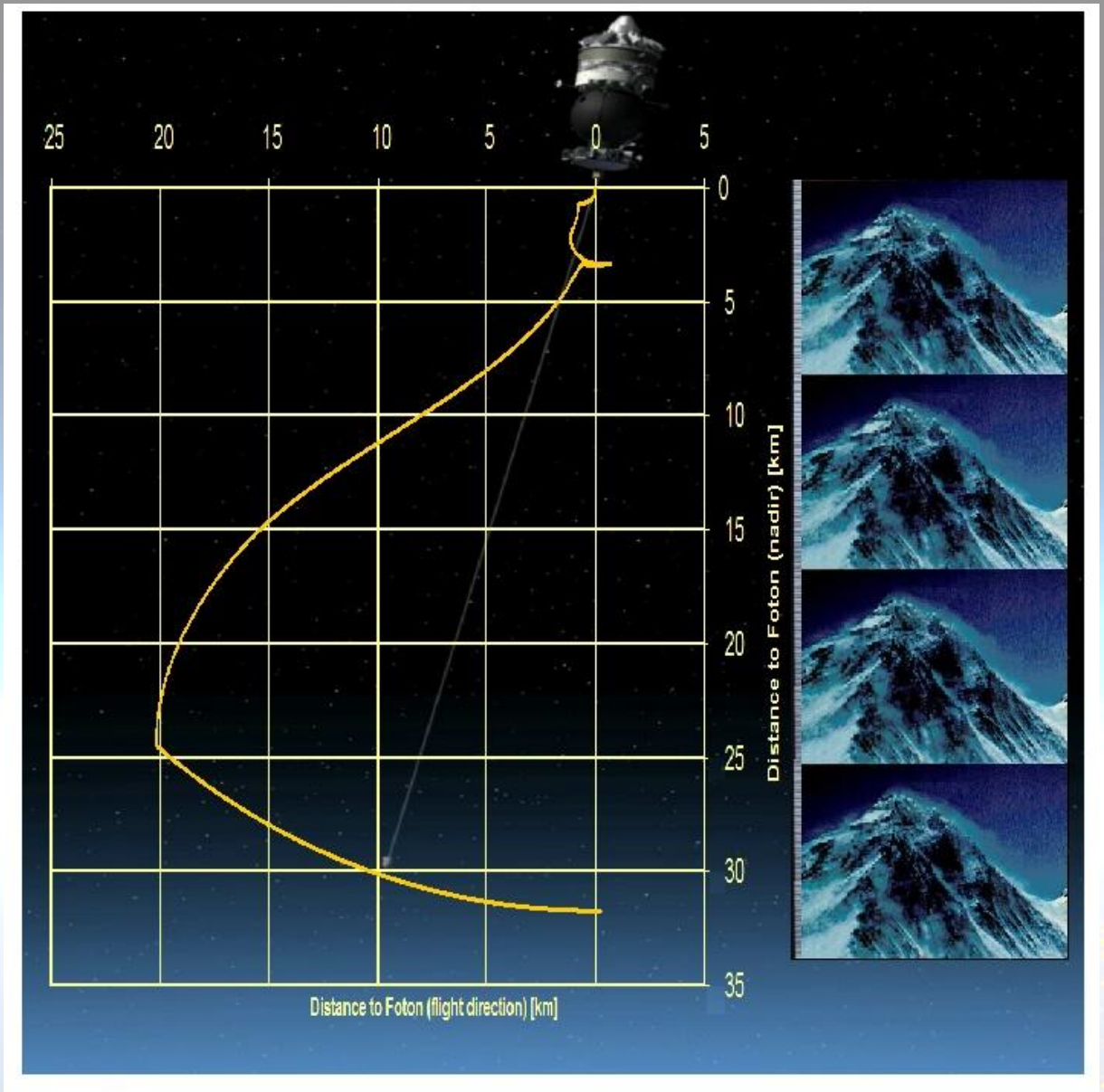
Young Engineers' Satellite 2 (YES2)

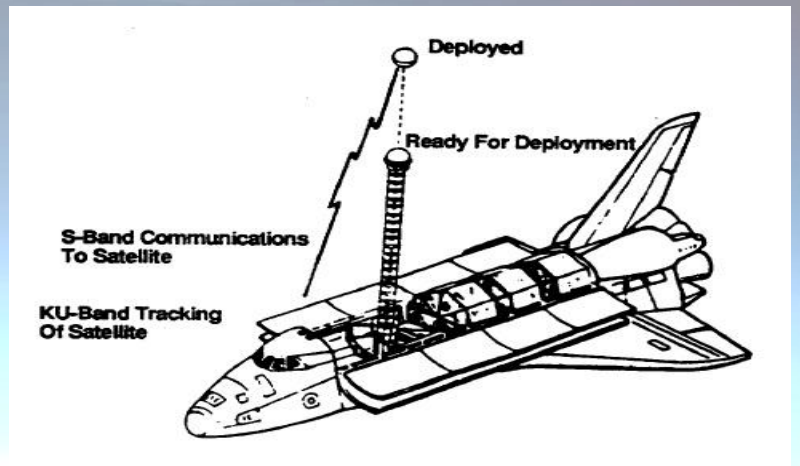
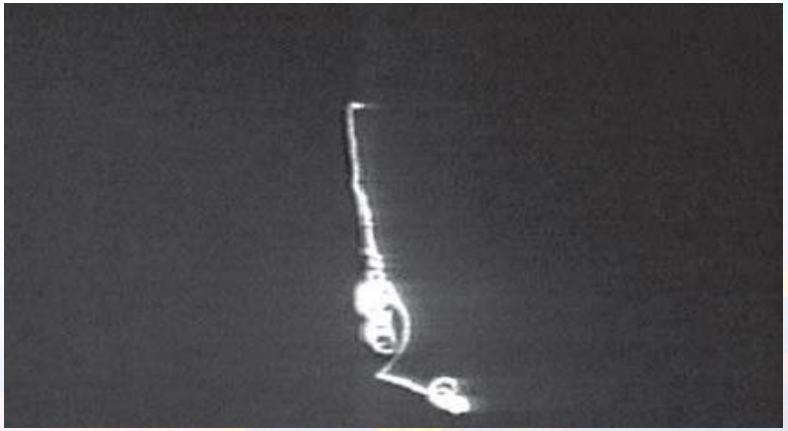
Цель эксперимента состояла в развёртывании троса длиной 30 км с закреплённой на конце возвращаемой капсулой Фотино. Предполагалось продемонстрировать возможность возвращения с орбиты грузов без применения ракетных двигателей. Эксперимент YES2 закончился частичным успехом. Трос был размотан на полную длину, спускаемая капсула вошла в атмосферу, но в заданном районе не приземлилась.



Young Engineers' Satellite 2 (YES2)

Масса спускаемого аппарата «Fotino» 6 кг. Его диаметр 0,4 м.



Миссия TSS-1 и TSS-1R

В 1992 году во время миссии TSS-1 трос был развернут на 265 м, затем трос зажало в лебедке, и трос со спутником втянут обратно на борт челнока. В 1996 году во время миссии TSS-1R трос был размотан почти на всю длину, однако «пережегся» из-за короткого замыкания.