

*Kiedy polecimy do gwiazd ?*

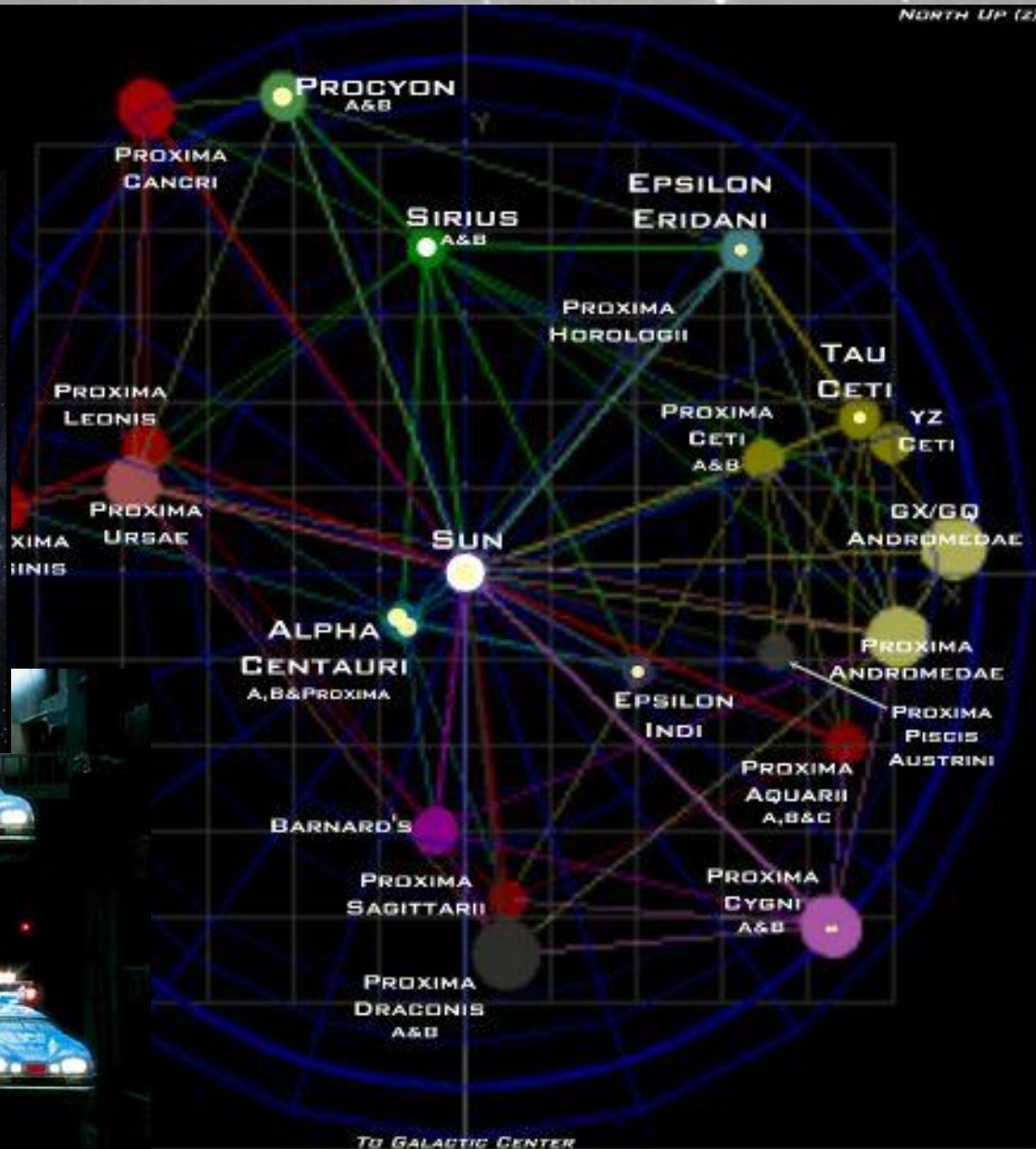
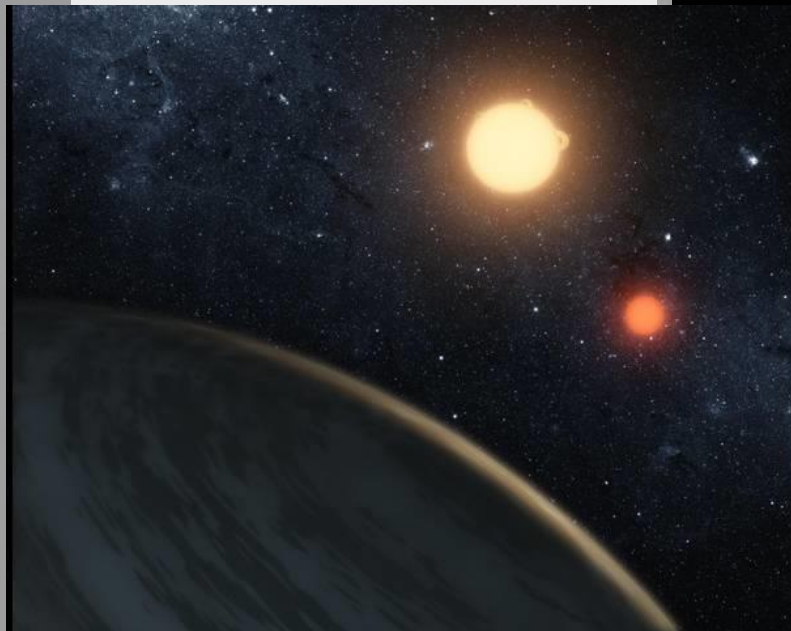
Tomasz Mrozek  
Instytut Astronomiczny UWr  
Zakład Fizyki Słońca CBK PAN

## *Podróże międzygwiazdne*

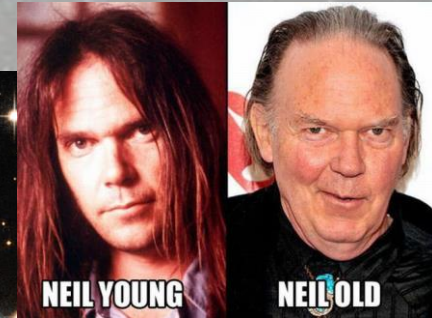
Sprawa jest prosta. Trzeba zbudować raketę, zabrać odpowiedni zapas paliwa, zapewnić wyżywienie i zapas płynów na 200 lat, skompletować załogę i wybrać cel.

# Po co realizować taką misję?

- zysk technologiczny
- znalezienie drugiej Ziemi
- ciekawość



# Podróż do najbliższej gwiazdy. Wyzwania.



konieczny rozwój technologiczny do zbudowania odpowiedniego pojazdu  
olbrzymie rozmiary statku (wymiary, masa)  
odległość do pokonania  
otoczenie skrajnie niebezpieczne przy dużych prędkościach (pył, gaz)  
rozsądny czas przelotu (odpowiednia prędkość)  
problemy psychiczne załogi podczas lotu (misja załogowa)  
koszt

# Problem odległości



Skala 1:1mld

Odległość Ziemia-Księżyc: 38 cm

Odległość Ziemia-Neptun: 4.5 km

Odległość Ziemia-Proxima Centauri?

skala 1:1 mld: 40 000 km

rzeczywista: 40 000 000 000 000 km

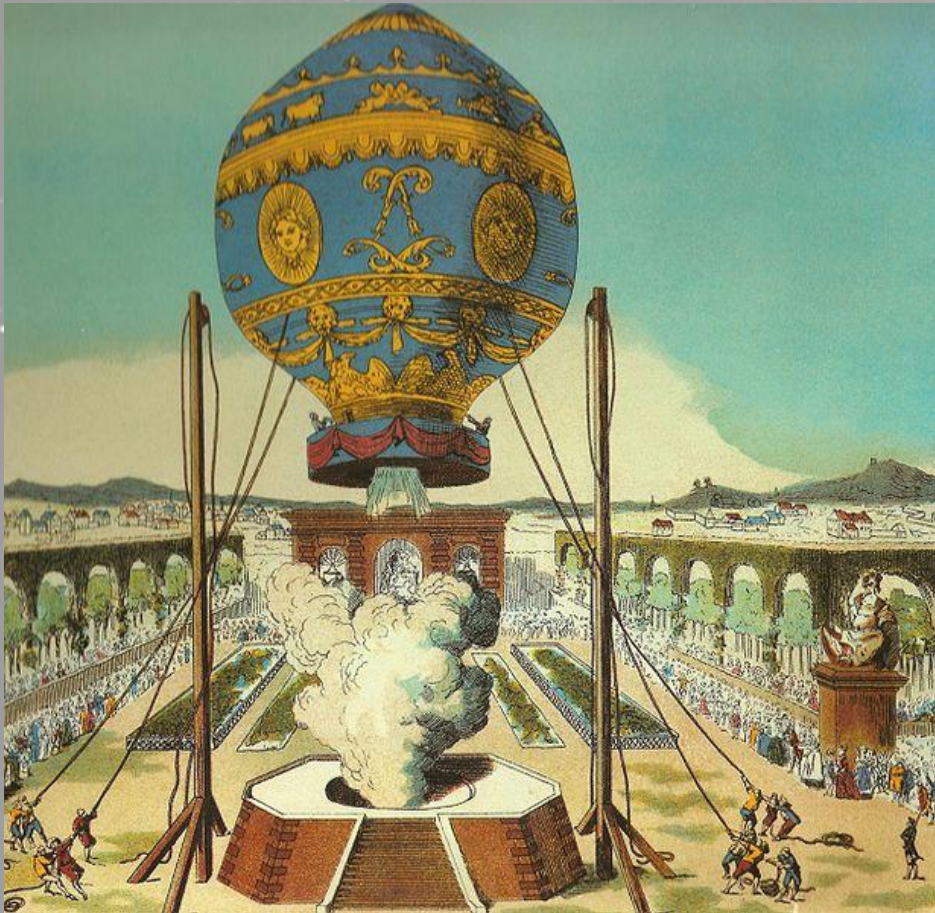
## *Odległości jakie pokonaliśmy (wysokość)*

Balony na gorące powietrze były znane od bardzo dawna w Chinach. Zhuge Linag w epoce Trzech Królestw (220 – 280 r.) wykorzystywał je do sygnalizacji podczas bitew.



# Odległości jakie pokonaliśmy (wysokość)

5 czerwca 1783 bracia Joseph Michel i Jacques Étienne Montgolfier. Pierwsza udana próba wlotu balonu papierowo-płóciennego (średnica ok. 12 m) *Ad Astra*.



# Odległości jakie pokonaliśmy (wysokość)



1783, 15 sierpnia, 24 m; Jean-François Pilâtre de Rozier, pierwszy lot załogowy

1783, 19 października, 81 m; Jean-François Pilâtre de Rozier

1783, 19 października, 105 m; Jean-François Pilâtre de Rozier i André Giroud de Villette

1783, 21 listopada, 1000 m; Jean-François Pilâtre de Rozier i Marquis d'Arlandes

1783, 1 grudnia, 2.7 km; Jacques Alexandre Charles i Marie-Noël Robert,

1784, 4 km; Jean-François Pilâtre de Rozier i Joseph Proust

1803, 18 lipca, 7.28 km; Étienne-Gaspard Robert i Auguste Lhoëst

1839, 7.9 km; Charles Green i Spencer Rush

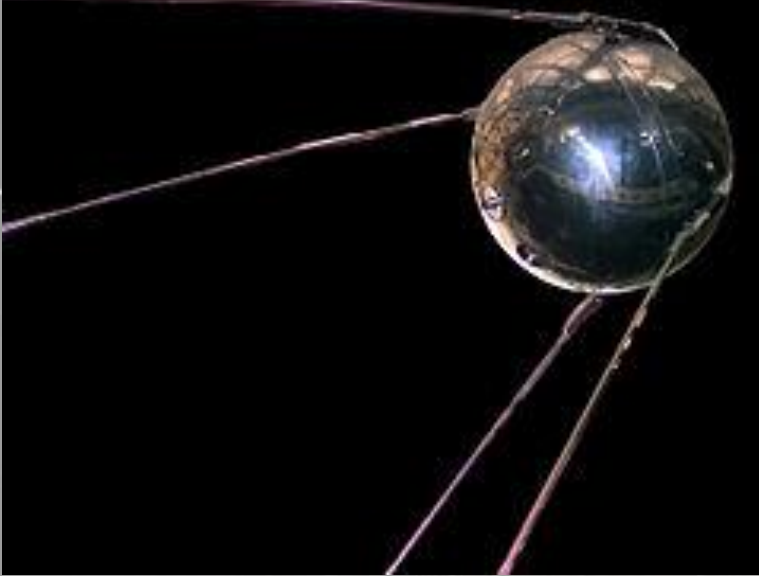
1862, 5 września, 11.9 km; Henry Coxwell James Glaisher



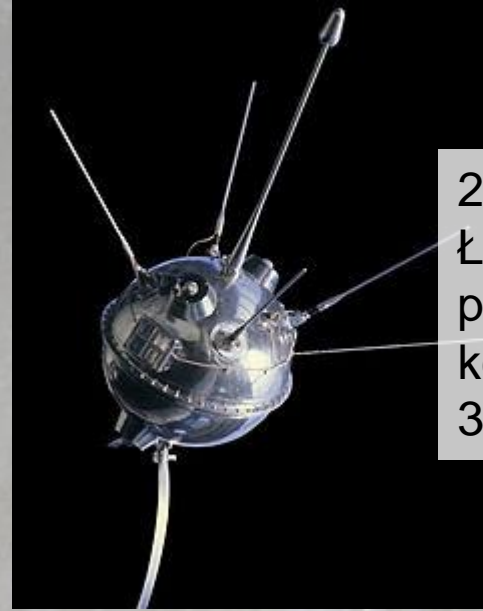


# Odległości jakie pokonaliśmy (wysokość)

4 października 1957, Sputnik 1, pierwszy sztuczny satelita Ziemi, apogeum 939 km



2 stycznia 1959, Łuna 1, pierwszy przelot koło Księżycy, 380 000 km



12 lutego 1961, Venera 1, przelot koło Wenus, 40 000 000 km

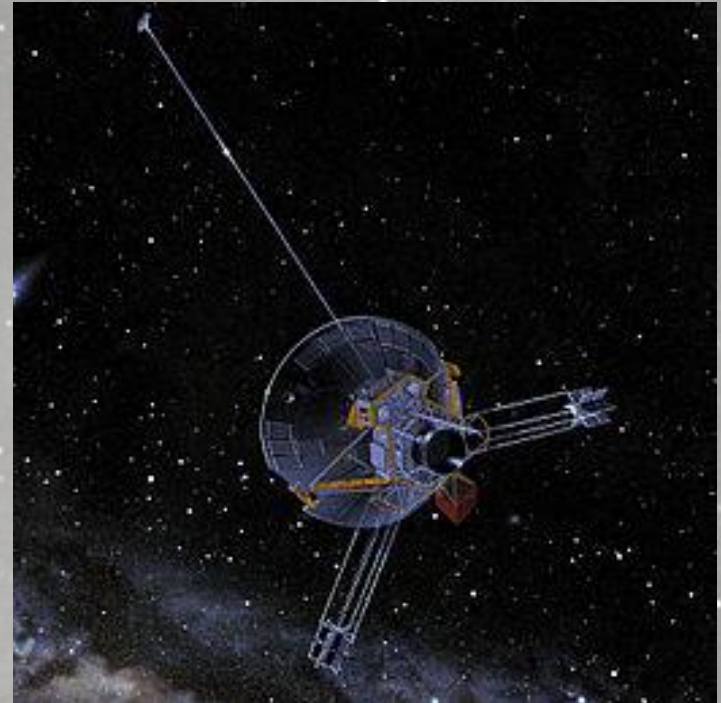


## Odległości jakie pokonaliśmy (wysokość)

1 listopada 1962, Mars 1, przelot koło Marsa,  
55 000 000 km



Voyager 1, 14 marca 2014 r  
19 000 000 000 km



Pioneer 10

3 marca 1972, przelot koło Jowisza, 630 000 000 km  
1976, odległość orbity Saturna, 1 200 000 000 km  
1979, odległość orbity Urana, 2 600 000 000 km  
1983, odległość orbity Neptuna, 4 400 000 000 km

# Voyager 1



Start rakiety Titan IIIE wynoszącej Voyagera 1  
5 września 1977 r.

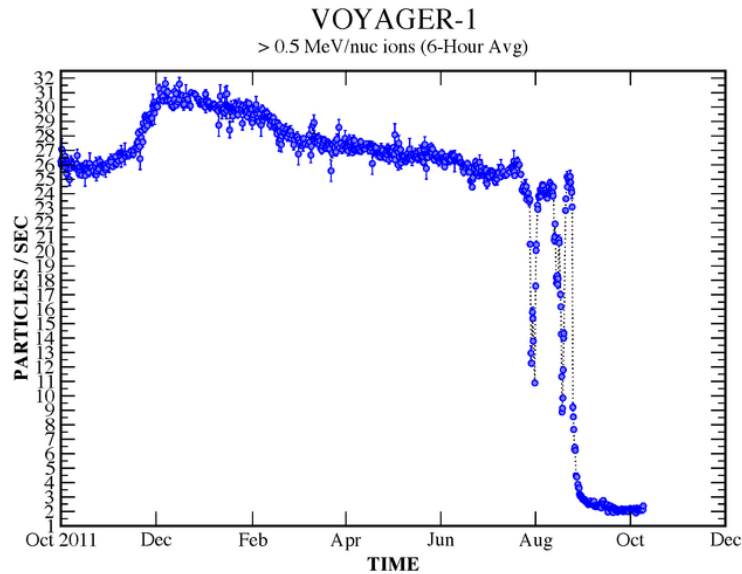


Styczeń 1979  
przełot koło Jowisza

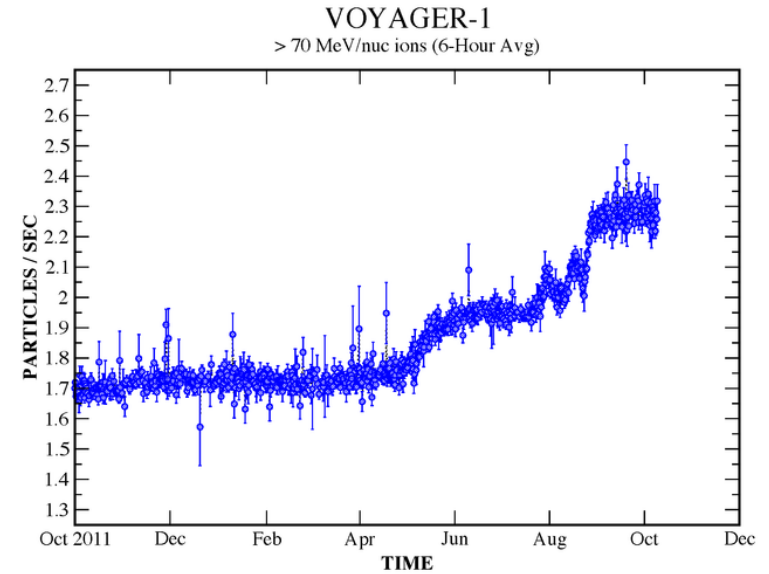


12 listopada 1980 r., największe  
zbliżenie do Saturna

# Voyager. Misja międzygwiazdna.



Generated:  
Wed Oct 10 14:16:24 2012

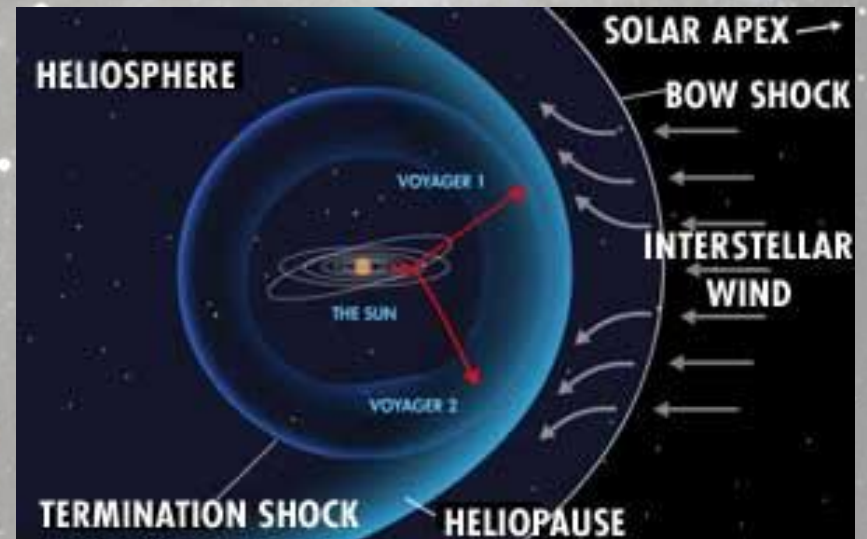


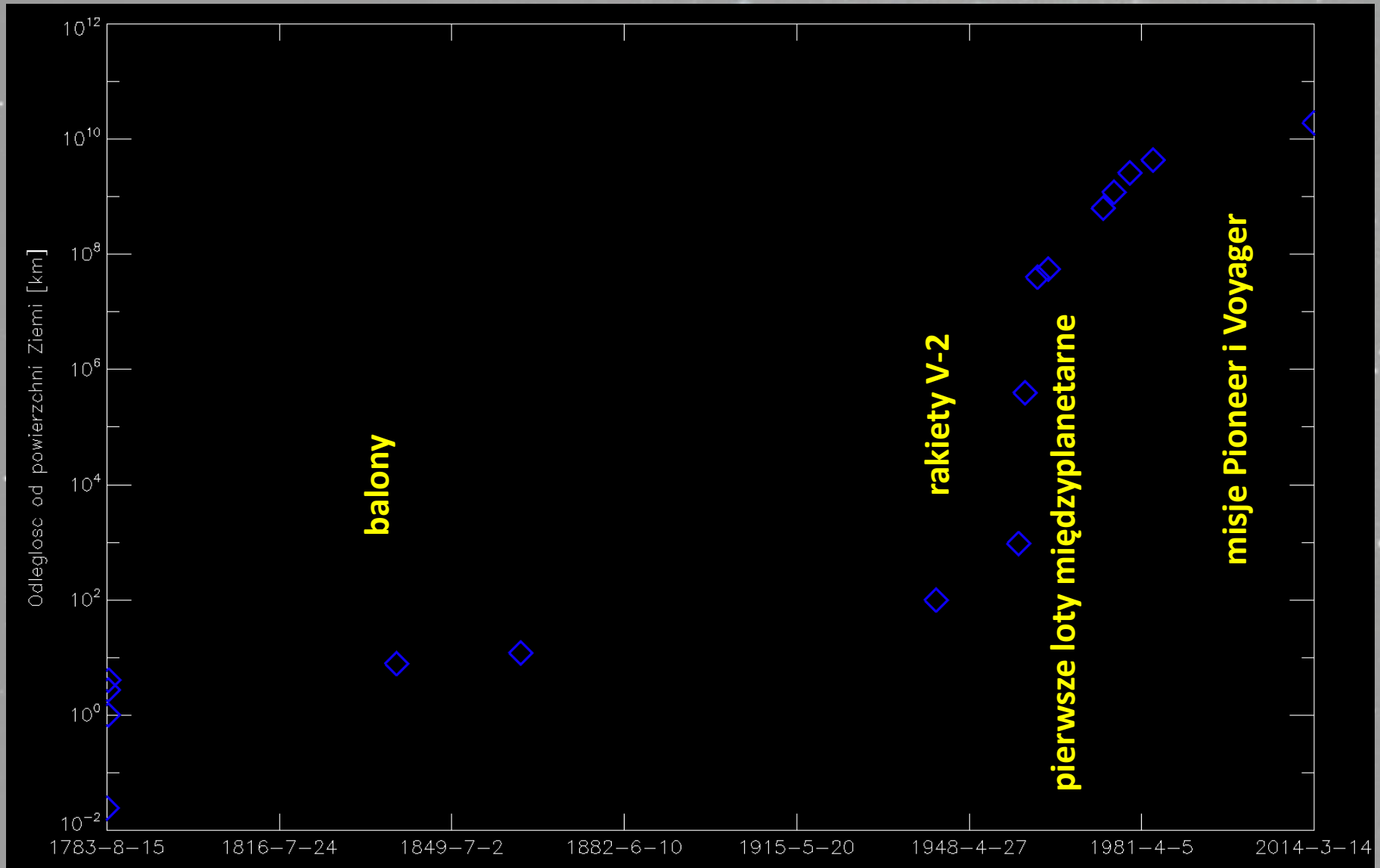
Generated:  
Wed Oct 10 14:16:23 2012

W 2011 r. Voyager 1 opuścił Układ Słoneczny.

Po 32 latach stał się pierwszym statkiem międzygwiazdowym zbudowanym przez człowieka.

Wciąż działa!



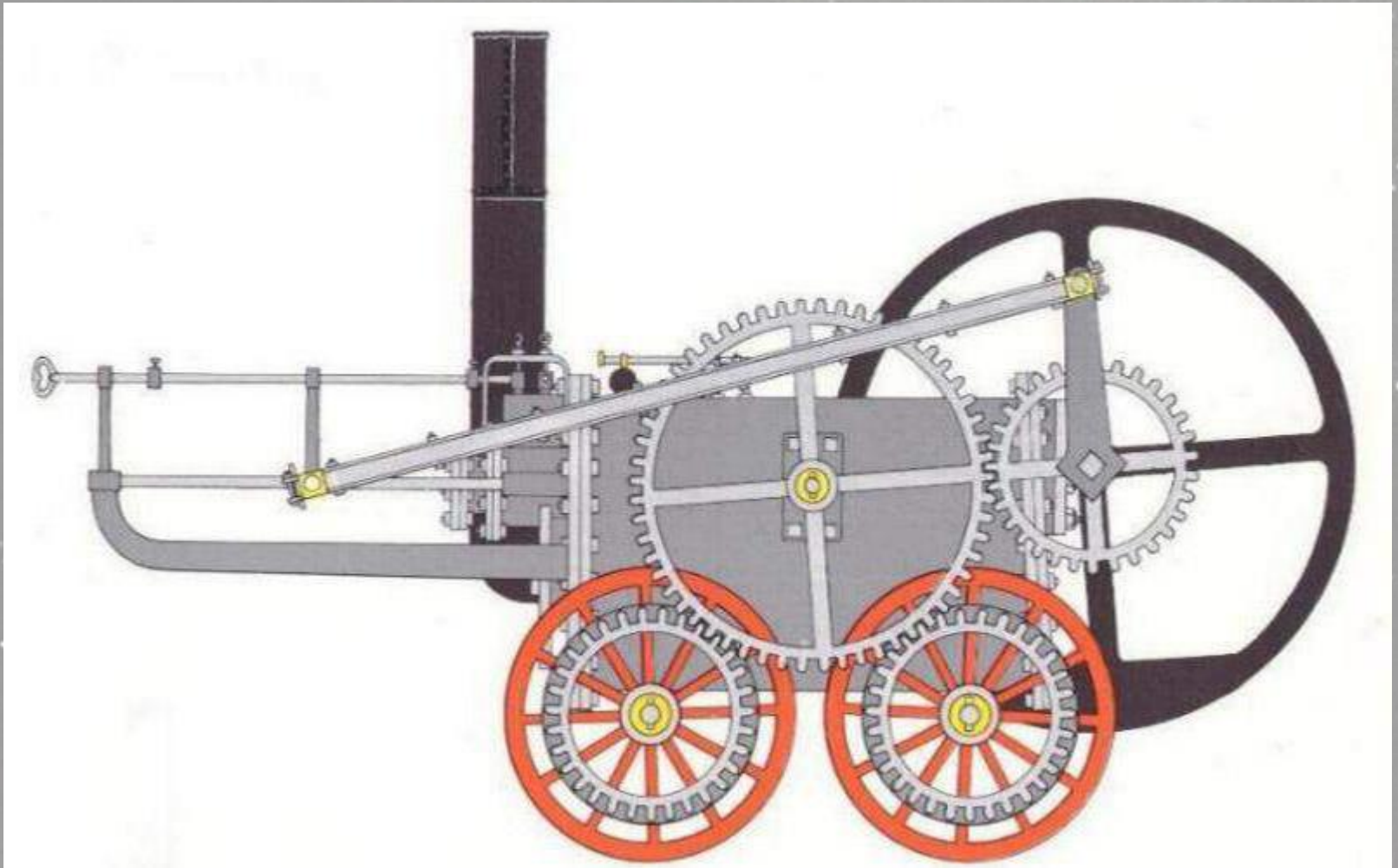


Odległości uzyskiwane przez obiekty budowane przez człowieka przyrastają coraz wolniej. Poza tym uzyskiwane prędkości nie dają szans na szybkie odwiedziny pobliskich gwiazd.

# Problemy prędkości

8 km/h, lokomotywa parowa

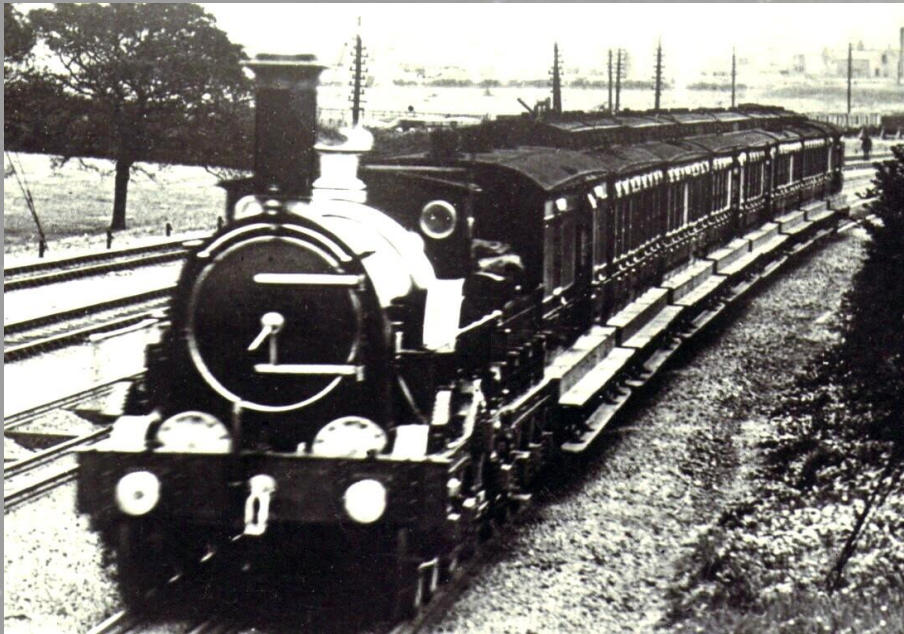
Richard Trevithick  
21 lutego 1804 r.



# Problemy prędkości

48 km/h

George i Robert Stephenson  
październik 1829 r.  
Rakieta Stephensona



93 km/h (średnia)

Latający Holender  
Trasa Londyn Paddington – Exceter  
1848 r.

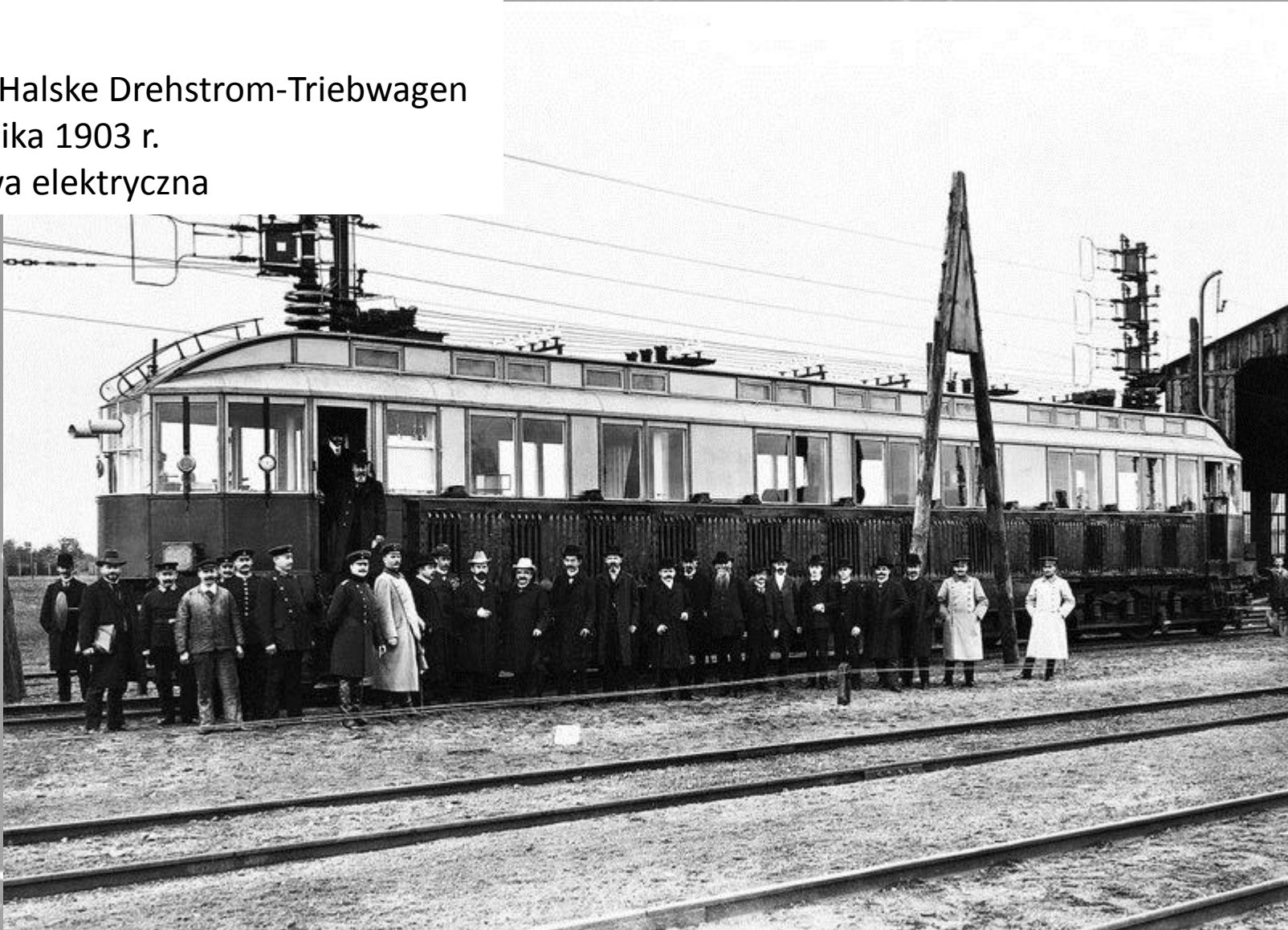
# Problemy prędkości

203 km/h

Siemens & Halske Drehstrom-Triebwagen

6 października 1903 r.

Lokomotywa elektryczna





# Problem prędkości

275 km/h

Joseph Sadi-Lecointe  
8 lutego 1920 r.  
Nieuport-Delage NiD.29

302 km/h

ten sam zestaw  
20 października 1920



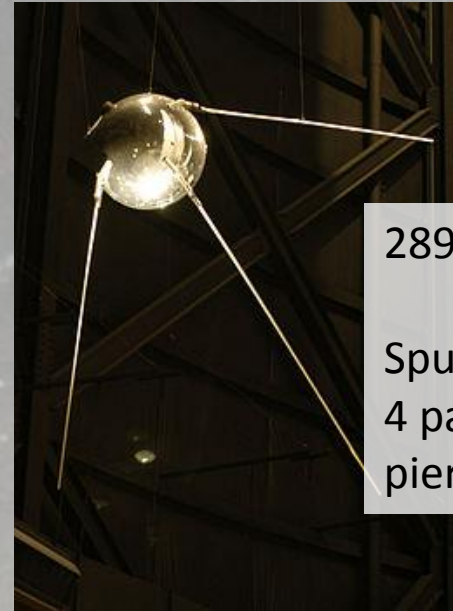
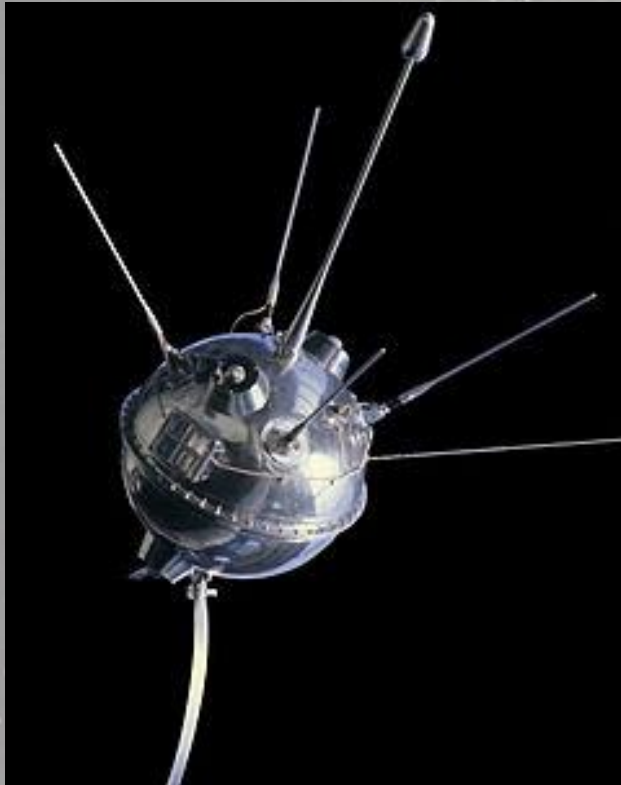
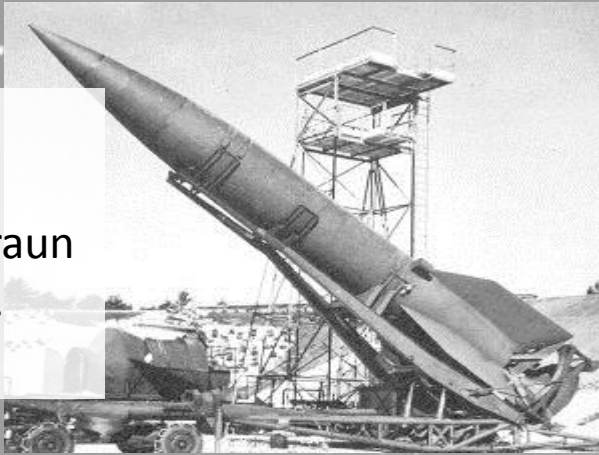
512 km/h

Mario de Bernardi  
30 marca 1928 r.  
Macchi M.52

# Problem prędkości

5580 km/h

Werner von Braun  
Marzec 1942 r.  
V-2



28962 km/h

Sputnik-1  
4 października 1957 r.  
pierwszy sztuczny satelita

2 stycznia 1959, Łuna 1, pierwszy  
obiekt, który uzyskał prędkość  
ucieczki z Ziemi

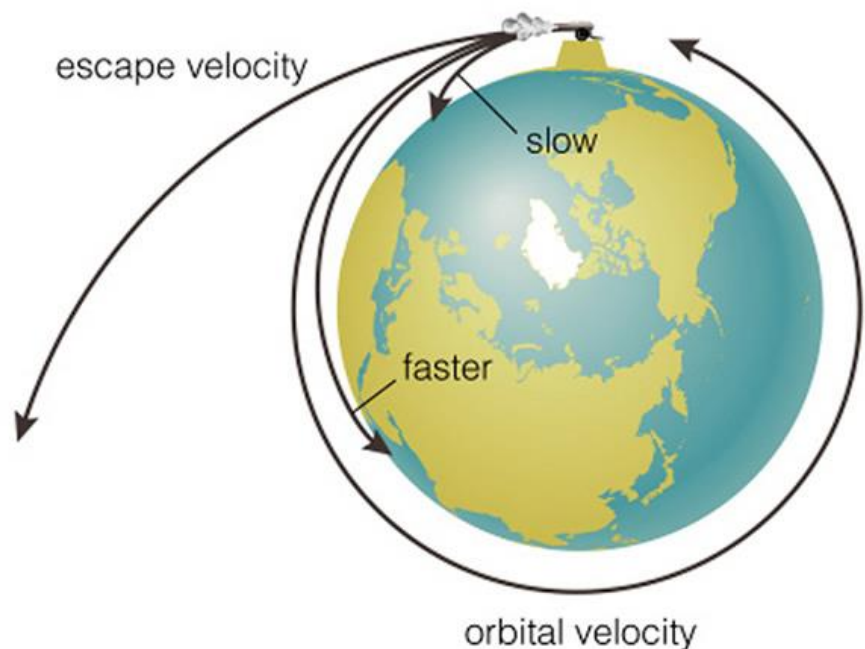
# Problem prędkości

Najczęściej mówimy o trzech prędkościach kosmicznych.

I-sza: prędkość potrzebna do wejścia na orbitę kołową

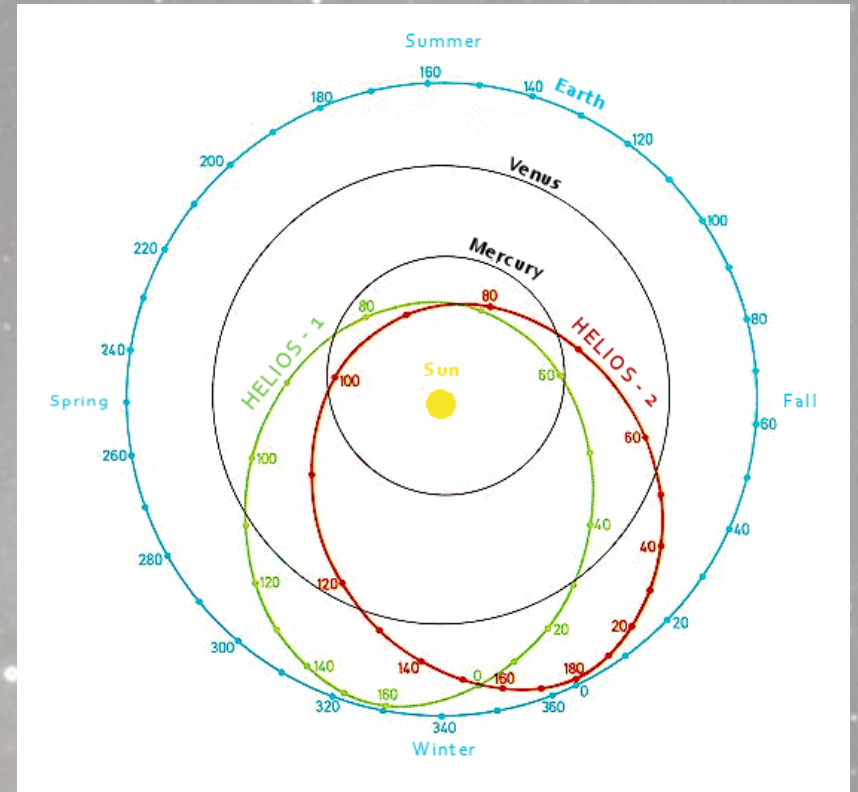
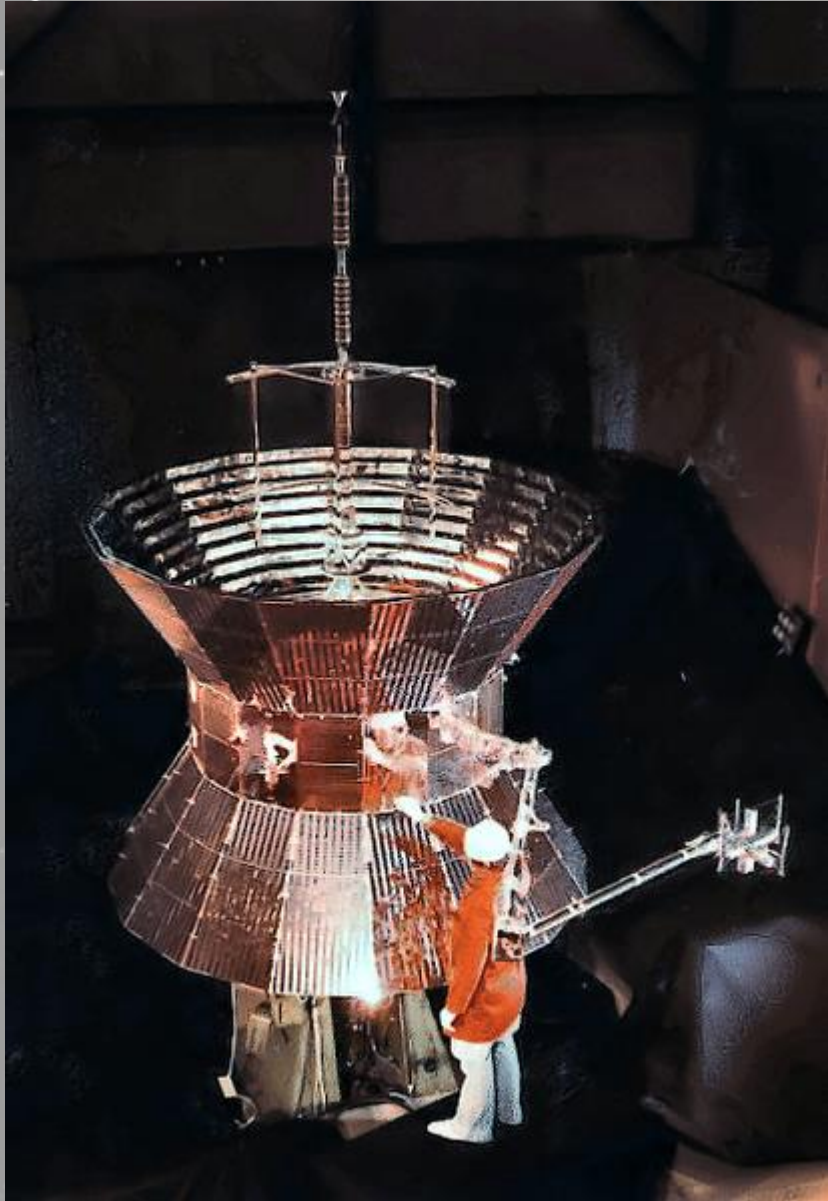
II-ga: tzw. prędkość ucieczki (paraboliczna), to minimalna prędkość potrzebna do oddalenia się od danego ciała niebieskiego

III-cia: minimalna prędkość potrzebna do opuszczenia Układu Słonecznego – główny wkład ma tutaj prędkość ucieczki ze Słońca.



$$\begin{aligned}V_I &= 7.1 \text{ km/s} &= 28\,476 \text{ km/h} \\V_{II} &= 11.19 \text{ km/s} &= 40\,284 \text{ km/h} \\V_{III} &= 42.1 \text{ km/s} &= 151\,560 \text{ km/h}\end{aligned}$$

# Czy jesteśmy w stanie osiągać takie prędkości?

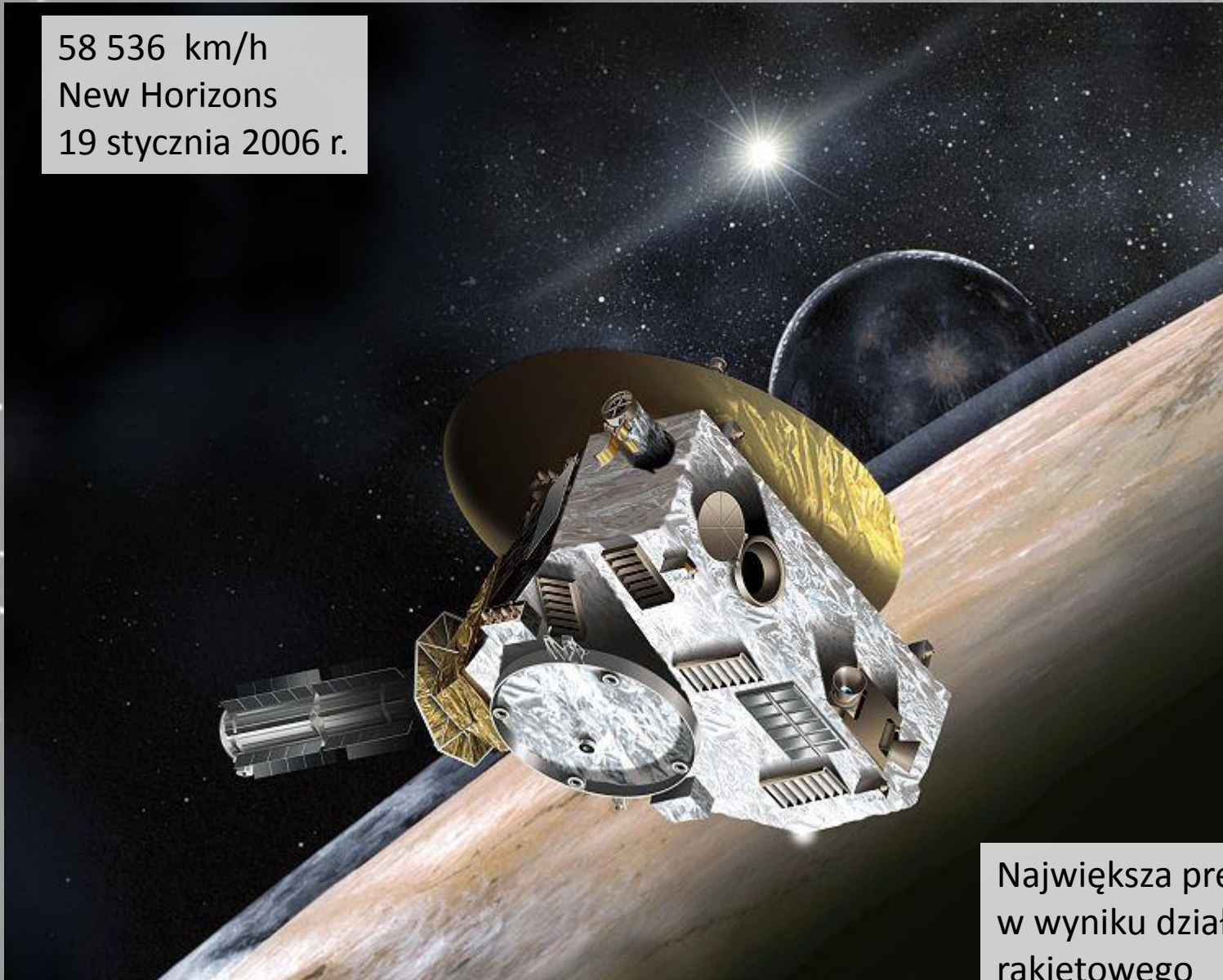


252,792 km/h (0.000234c) – względem Słońca  
Helios 2  
17 kwietnia 1976 r.

Największa prędkość uzyskana przez sondę kosmiczną.

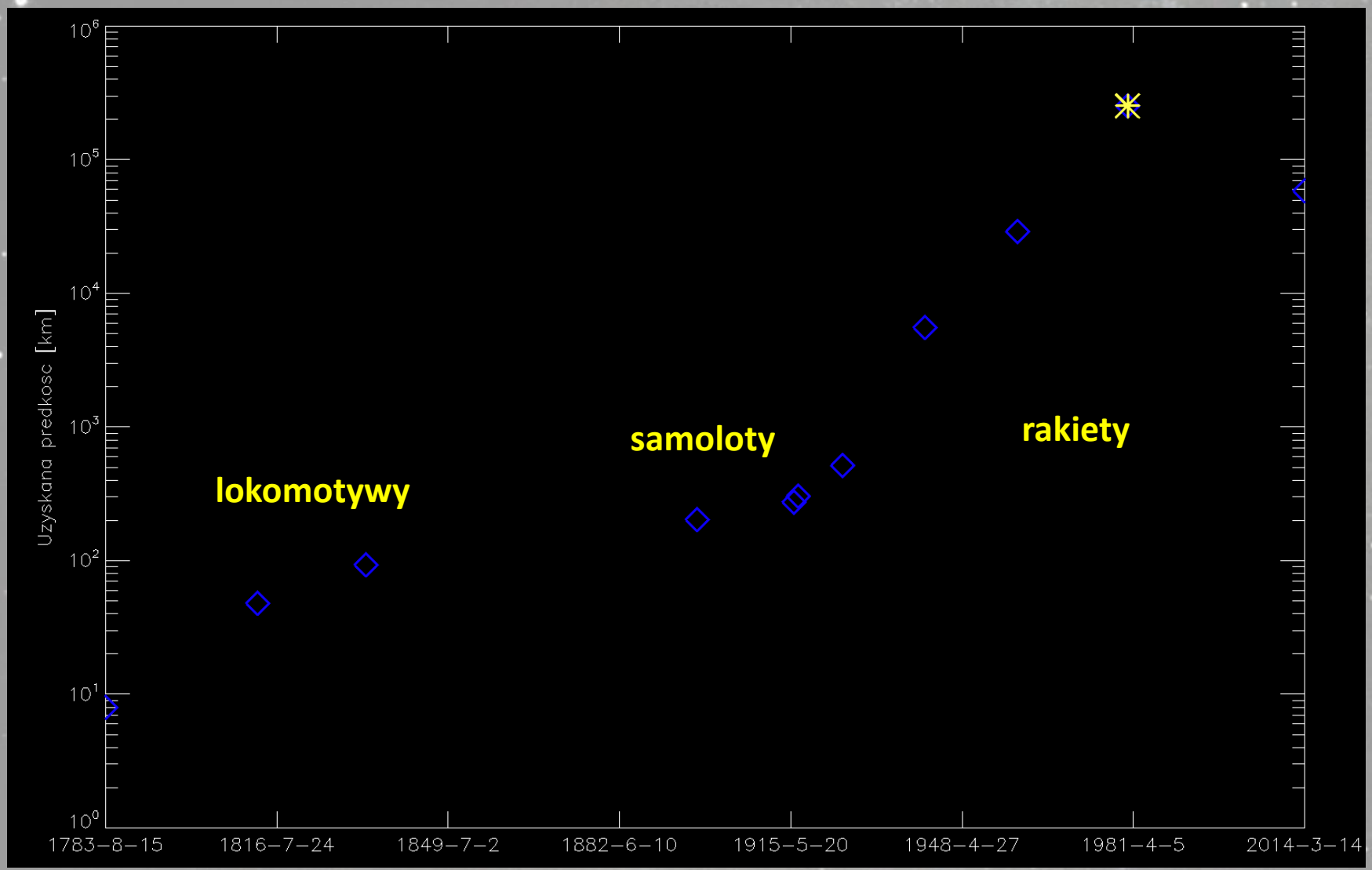
# Problem prędkości

58 536 km/h  
New Horizons  
19 stycznia 2006 r.



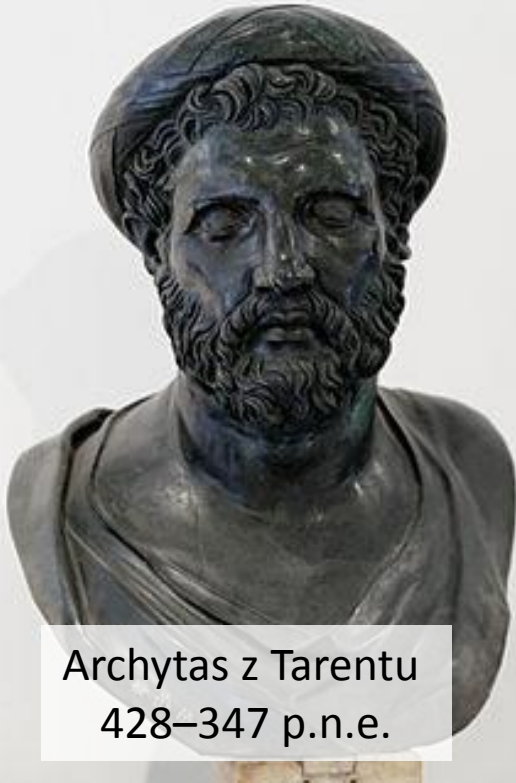
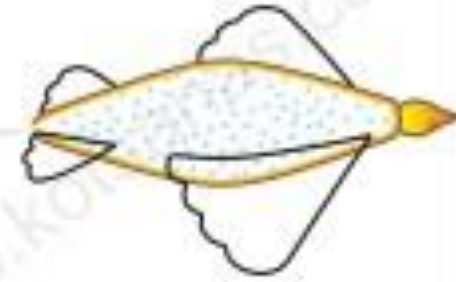
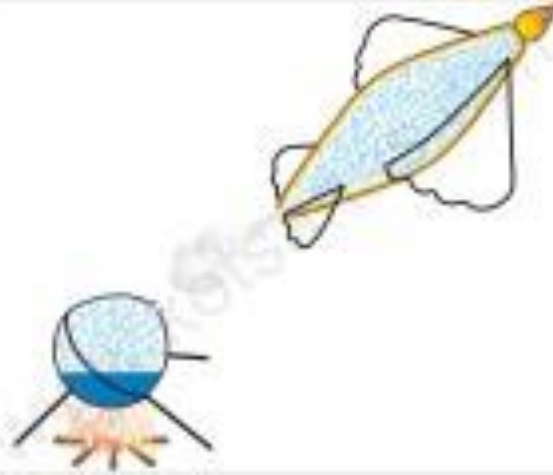
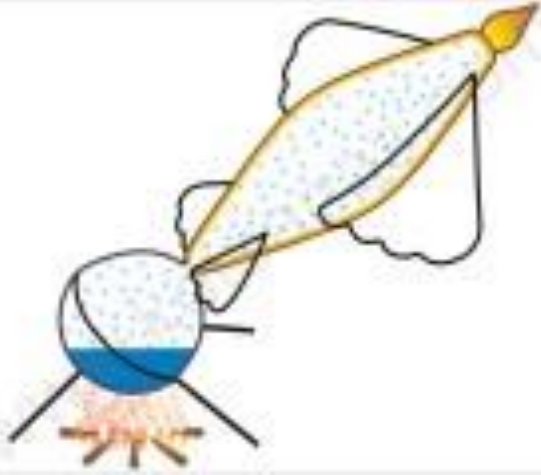
Największa prędkość uzyskana  
w wyniku działania napędu  
rakietowego

# Problem prędkości



Voyager 1 dotrze na odległość 4 lat świetlnych za kilkadziesiąt tysięcy lat...

# Archytas i gołąb na parę czyli pierwsze zastosowanie odrzutu



Archytas z Tarentu  
428–347 p.n.e.

Archytas jest uważany za twórcę mechaniki

Skonstruował pierwsze w historii urządzenie latające napędzane siłą odrzutu, które nazwał gołębiem.

300 lat później Heron z Aleksandrii skonstruował swoją „banię Herona”, która też korzystała z odrzutu



# Pierwsze „prawdziwe” rakiety



Chinese Fire-Arrows

Ogniste strzały dotarły do Europy razem z Mongołami, a Roger Bacon udoskonalił recepturę prochu dzięki czemu rakiety latały dalej.

Pierwsze rakiety na paliwo stałe.

Chińczycy wynaleźli proch około 300 r. p.n.e.

Robili go z saletry, siarki i pyłu węglowego. Prochem wypełniali tuby bambusowe i odpalali je podczas różnych uroczystości.

Z 1045 r. pochodzi pierwszy przekaz o użyciu tzw. ognistych strzał. Były to zwykłe strzały, do których doczepiano wypełnione prochem tuby z otworem. Odpalony proch i wydostające się gazy powodowały, że strzała leciała dużo dalej.



Chinese soldier launches fire-arrow



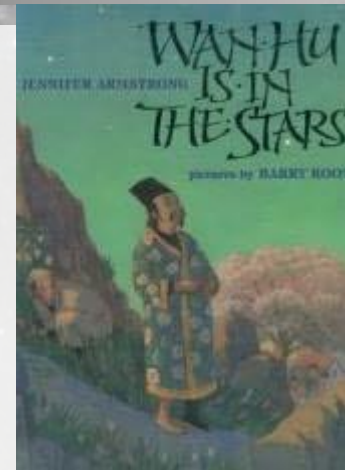
# Pierwszy „lot załogowy”



XV/XVI w.

Legenda o Wan Hu (fragmenty):

„Pewnego dnia wziął w ręce dwa wielkie latawce i usiadł na wiklinowym krześle o kształcie węża. Zamocował do niego 47 dużych rakiet.



Rozkazał swoim sługom podpalić pierwszy rząd rakiet. Jeden ze służących trzymających pochodnie podszedł i powiedział z bólem: „Panie, bardzo się boję”. Wan Hu zapytał: „Czego się boisz?”, a sługa odparł: „Jeśli nie uda ci się wznieść do nieba, to obawiam się, że możesz stracić życie”

Wan Hu tylko się zaśmiał i powiedział: „Latanie było marzeniem Chińczyków od tysięcy lat. Dzisiaj, chcę odkryć nowy sposób poznania nieba, nawet jeśli mogę się rozlecieć na kawałki. Nie musisz się bać. Po prostu odpal rakiety.”

I tak zginęła pierwsza ofiara lotów kosmicznych



# Rakieta stopniowa



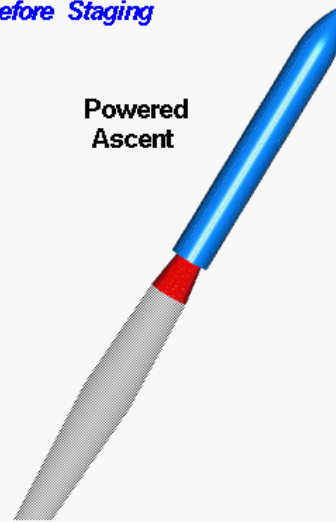
## Booster Staging



### Serial Staging

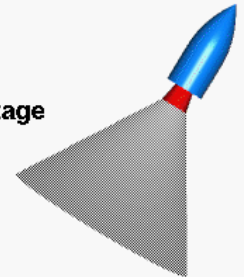
*Before Staging*

Powered  
Ascent

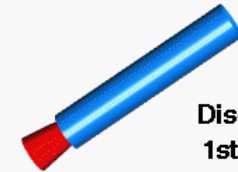


*After Staging*

Upper Stage  
Fires

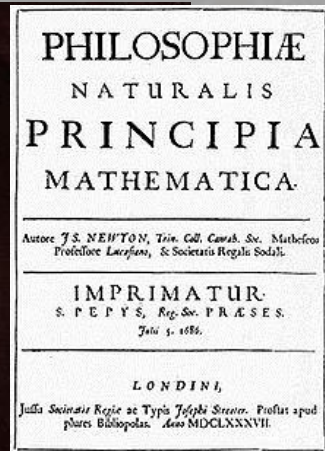


Discarded  
1st Stage



Johann Schmidlap pod koniec XVI w opracował metodę wynoszenia sztucznych ogni na większą wysokość. Polegała ona na stopniowym odpalaniu kolejnych porcji prochu.

# Podstawy fizyczne

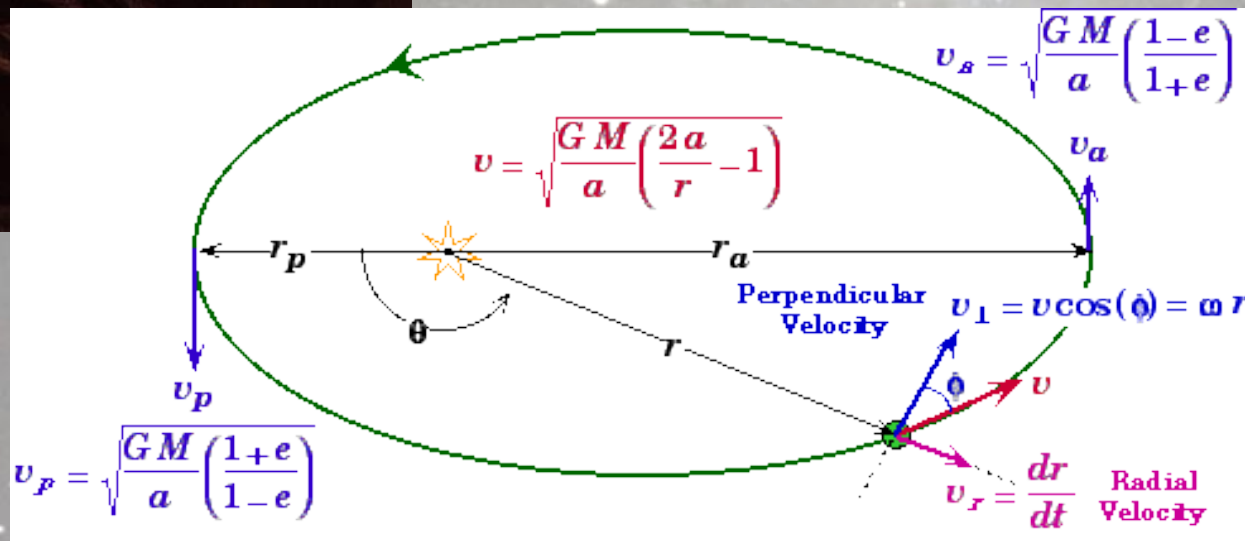


5 lipca 1687 r.

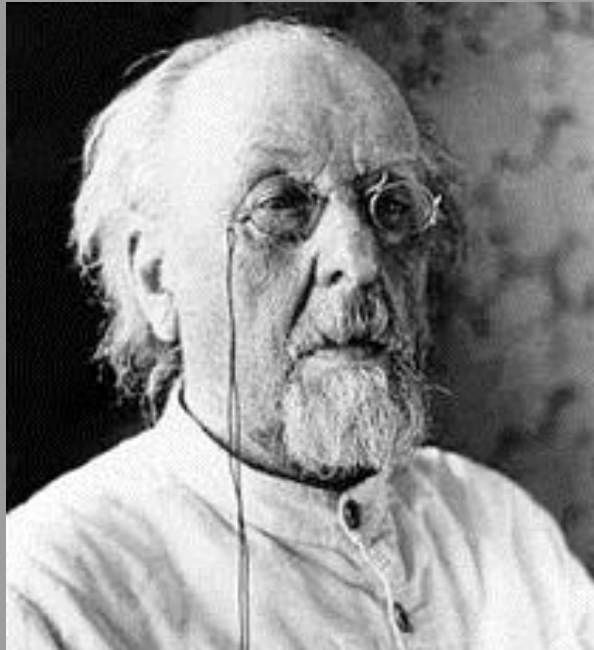
## Philosophiæ naturalis principia mathematica

*(Podstawy matematyczne filozofii przyrody)*

Prawo powszechnego ciążenia i zasady dynamiki wystarczają aby rozwinąć technikę raketową i wytłumaczyć ruch w polu grawitacyjnym.



# Pierwsza poważna koncepcja



Konstantin Edwardowicz Ciołkowski

Исследование мировых пространств реактивными приборами (1903)

W tej pracy przedstawione są najważniejsze koncepcje lotów kosmicznych.

Wzór Ciołkowskiego:  $\delta V = I_0 g \ln \frac{M_0}{M_1}$

$\delta V$  – prędkość w dowolnym momencie czasu

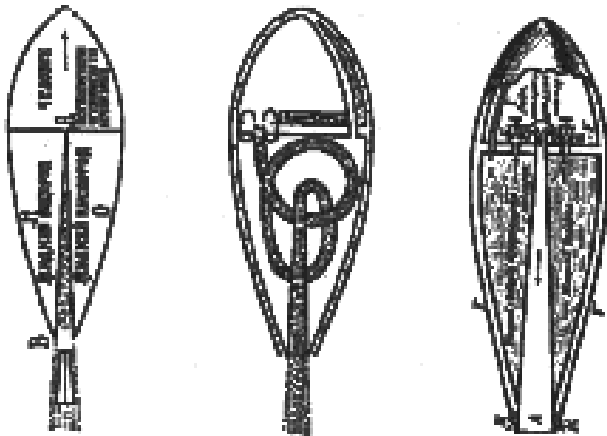
$I_0$  – impuls właściwy ( $= \frac{\Delta p}{\Delta m} = \frac{V_e}{g}$ ,  $V_e$  – prędkość

wylotowa gazów)

$g$  – przyspieszenie przy powierzchni Ziemi

$M_0$  – masa początkowa

$M_1$  – masa w dowolnym momencie czasu



Tsiolkovsky Rocket Designs

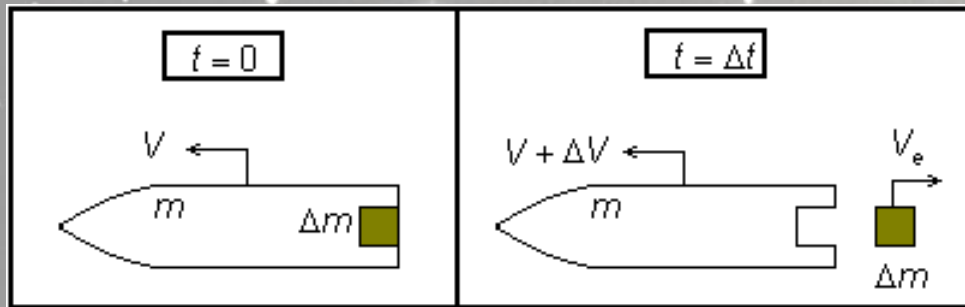
Koncepcje Ciołkowskiego wywarły olbrzymi wpływ na wszystkich, którzy są uważani za ojców lotów w kosmos (von Brown, Korolow)

# *Cechy napędu raketowego*



# Cechy napędu raketowego

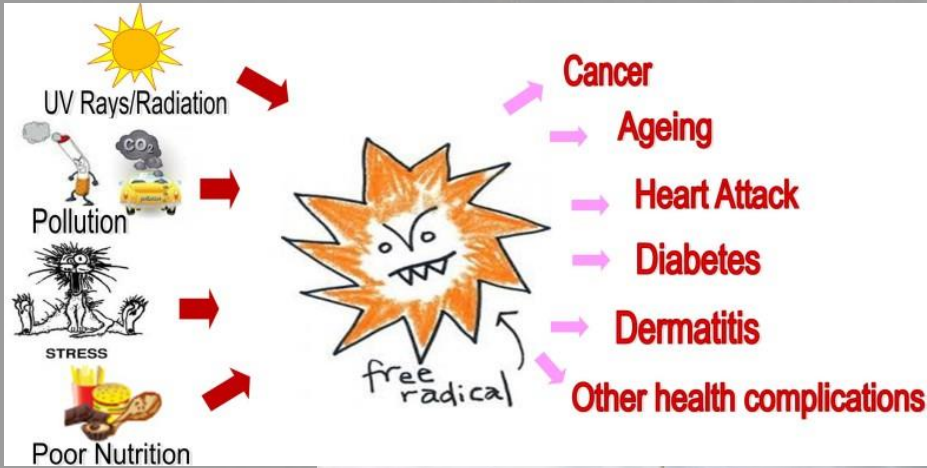
| Mieszanka   | Prędkość wylotu spalin (w próżni) [m/s] | Impuls właściwy (w próżni) [s] |
|---|---|--------------------------------|
| trójskładnikowe (np. beryl, tlen, wodór)  | 5500                                    | 555                            |
| nafta + ciekły tlen   | 3100                                    | 310                            |
| niesymetryczna dwumetylohydrazyna ((CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> NNH <sub>2</sub> ) + czterotlenek azotu (N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ) | 2870                                    | 290                            |
| ciekły wodór + ciekły tlen  | 4300                                    | 430                            |
| stałe   | 2700                                    | 270                            |
| czarny proch  | 760                                     | 65                             |



Prędkości wylotowe są nieduże w porównaniu do pierwszej prędkości kosmicznej, ale paliwa zabiera się bardzo dużo (90% i więcej masy całkowitej)

Reakcje chemiczne są mało wydajne, ale w praktyce są jedynym źródłem energii przy starcie. W próżni próbujemy wykorzystać inne mechanizmy.

# Rodniki



Są to np. pojedyncze atomy wodoru, tlenu, azotu, rodniki OH, CH itd.

Mają wielką „potrzebę” natychmiastowego łączenia się w cząsteczki. Uwalniana jest bardzo duża porcja energii.

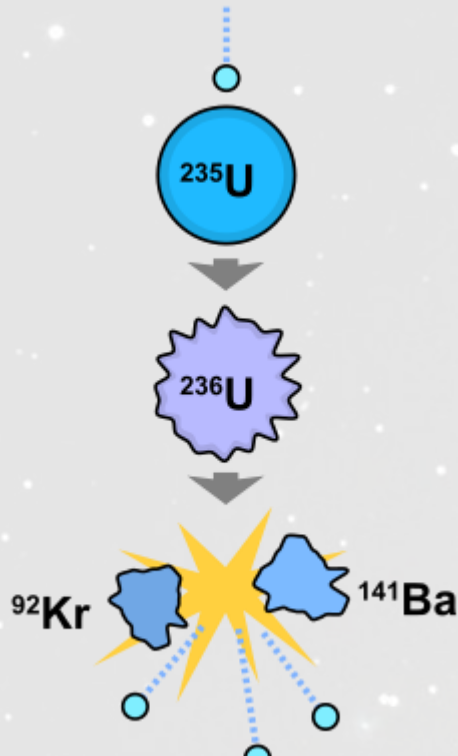
Np. średni czas życia rodnika wodorowego w temperaturze pokojowej to 2.5 ns

Podstawowy problem to wytworzenie, a potem przechowywanie. Do dziś nie udało się zbudować takiego silnika.



| Rodnik             | stężenie [%] | Prędkość wylotu spalin [km/s] | Impuls właściwy [s] |
|--------------------|--------------|-------------------------------|---------------------|
| H                  | 100          | 14.7                          | 1500                |
| CH                 | 100          | 9.3                           | 930                 |
| ON                 | 100          | 8.5                           | 850                 |
| H w H <sub>2</sub> | 20           | 5.8                           | 580                 |
| H w H <sub>2</sub> | 10           | 4.4                           | 440                 |

# Napęd jądrowy

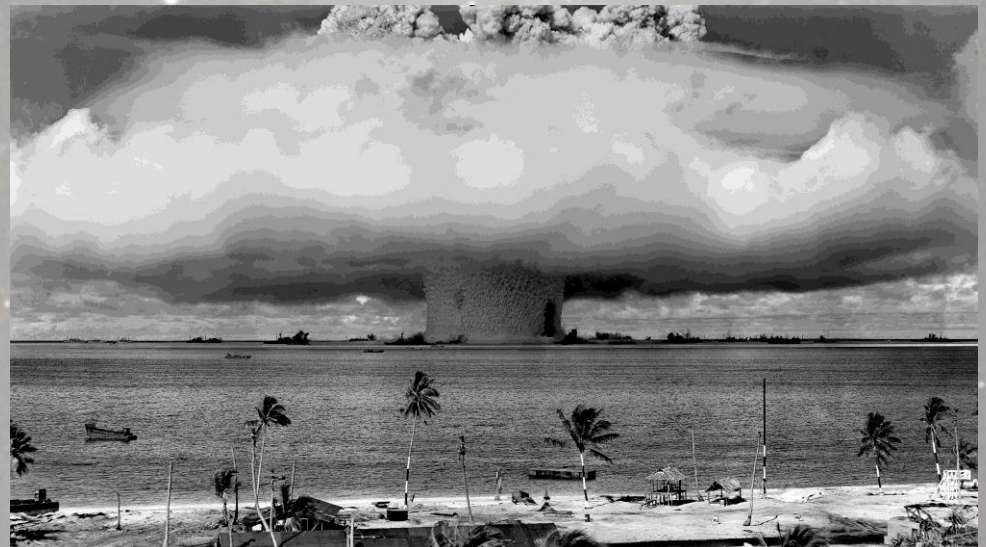


## Rozszczepienie Uranu 235

- wydajność ok. 3 miliony razy większa od reakcji chemicznych
- fragmenty rozszczepionego jądra oddalają się z prędkościami 10 000 – 15 000 km/s
- kierując je w jedną stronę uzyskalibyśmy impuls właściwy rzędu 1.5 mln sekund

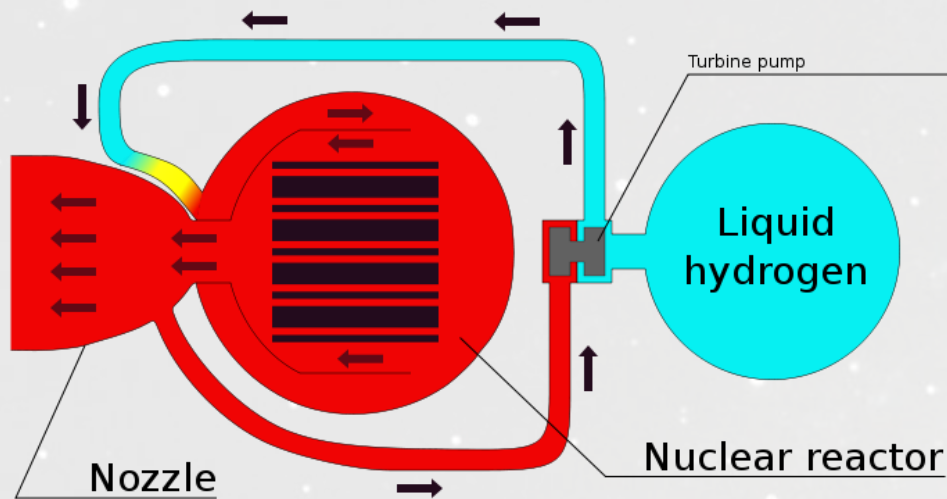
Tylko jak zamknąć bombę atomową w rakiecie?

Obiekty, w których kontrolujemy reakcje jądrowe mają olbrzymie rozmiary. Czy da się zbudować silnik?





# Napęd jądrowy

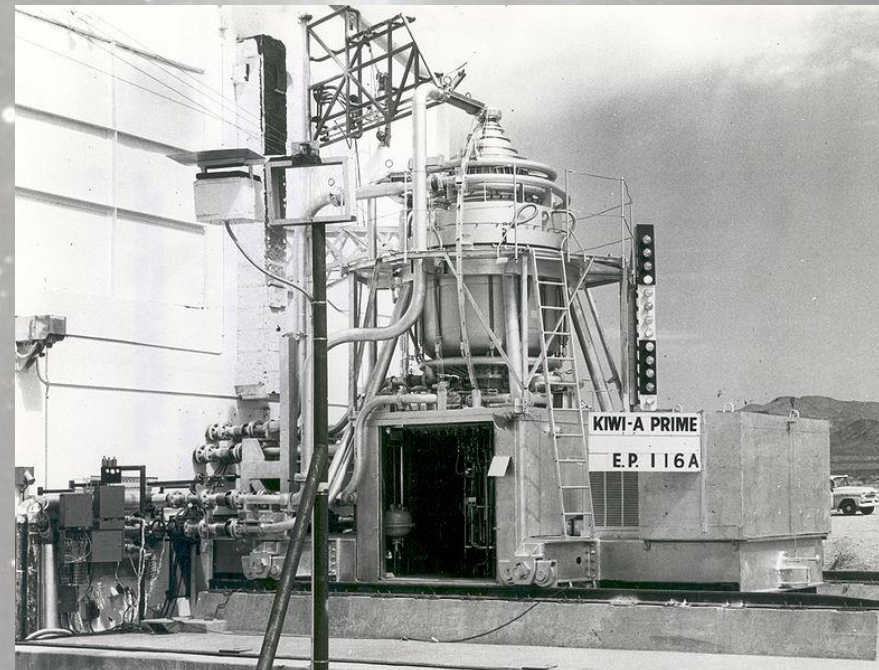


W silniku jądrowym, reaktor jest wykorzystywany do nagrzania substancji odrzutowej (wodór).

Problem to nagrzanie substancji odrzutowej do jak największej temperatury (wytrzymałość termiczna materiałów!) przy jak najniższej konstrukcji

Pierwszym silnikiem jądrowym, który udało się uruchomić był „Kivi”. Działał on przez 8 minut przy impulsie właściwym 750 s (prędkość wylotu spalin 7.5 km/s).

Phoebus 2 działał 60 minut (osiągnął impuls właściwy około 900 s). Rdzeń reaktora miał 40 cm średnicy i 60 cm wysokości. Cały reaktor miał wysokość 2.1 m i średnicę 2 m. Całkowita masa silnika to 13.6 tony. Uruchomiono go w czerwcu 1968 r.



# Napęd jonowy

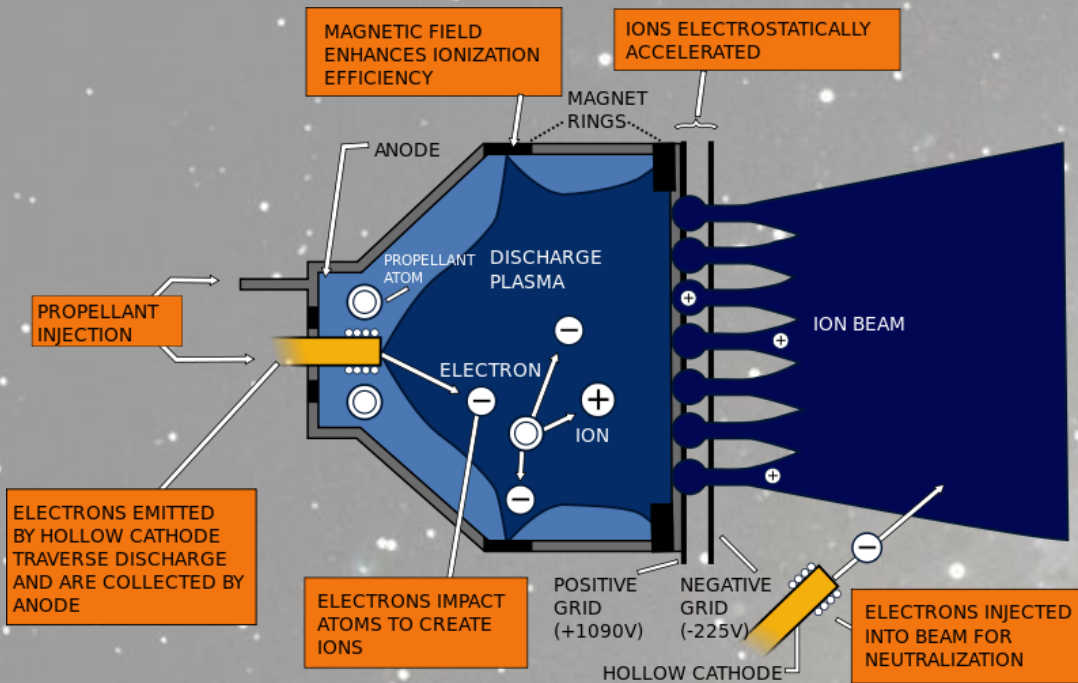
Substancja odrzucana to jony przyspieszane w komorze silnika i neutralizowane w momencie jej opuszczania.

W praktyce mogą być wykorzystywane tylko w próżni.

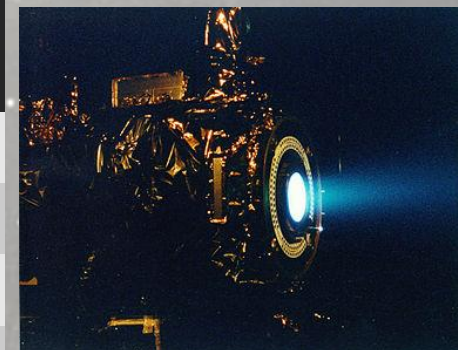
Dają niewielki ciąg, ale mogą pracować bardzo długo i w efekcie rozpędzać do znacznych prędkości.

Realizacja:

- silniki korekcyjne
- misja Dawn, Deep Space 1, SMART 1, Hayabusha



| Napięcie [V] | Prędkość jonów [km/s] (impuls właściwy [s]) |                 |                 |
|--------------|---|-----------------|-----------------|
|              | Wodór                                       | Azot            | Cez             |
| 100          | 200 (20 000)                                | 40 (4 000)      | 20 (2 000)      |
| 1 000        | 700 (70 000)                                | 100 (10 000)    | 70 (7 000)      |
| 10 000       | 2 000 (200 000)                             | 400 (40 000)    | 200 (20 000)    |
| 1 000 000    | 20 000 (2 000 000)                          | 4 000 (400 000) | 2 000 (200 000) |



# Napęd z użyciem antymaterii



## Same zalety:

- anihilacja jest najwydajniejszą reakcją
- mało materiału pędnego w porównaniu do masy statku (wystarczy mniej niż 20%)
- potrafimy już wytwarzać antyatomy (wodoru, helu)

## Wady:

- olbrzymie ilości energii zużywane w procesie produkcyjnym
- niewyobrażalny koszt uzyskania 1 grama (pozytony: 25 miliardów €, antyatomy wodoru: 60 bilionów €)
- problemy z przetrzymywaniem wyprodukowanego materiału (znów potrzeba ogromnych ilości energii)

# Za mało, za wolno...

prędkość

czas podróży do  
ALPHA CENTAURI

**VOYAGER**  
(57 000 km/h)

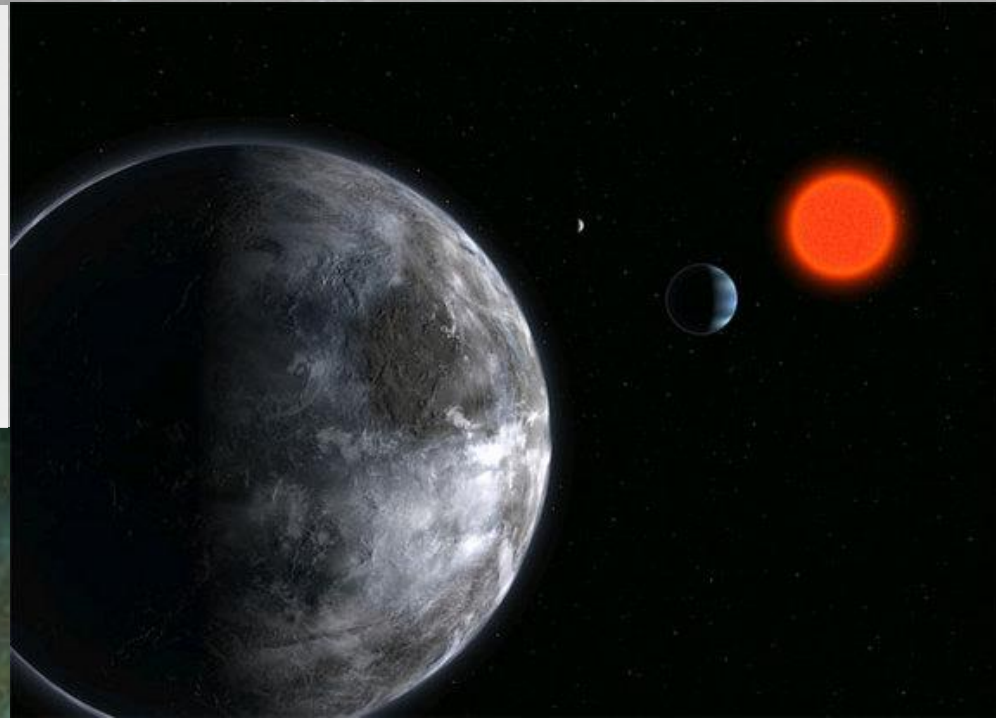
**70,000 lat**

**3 x VOYAGER**

**20,000 lat**

**1000 x VOYAGER**

**70 lat**



Joe Bergeson ©2006

W przypadku misji załogowej chcielibyśmy odbyć podróż w ciągu życia jednego pokolenia.

Obecnie nie istnieje napęd, który może zapewnić odpowiednio duże prędkości.

Poza tym, nawet gdyby udało się tego dokonać rodzą się kolejne problemy...

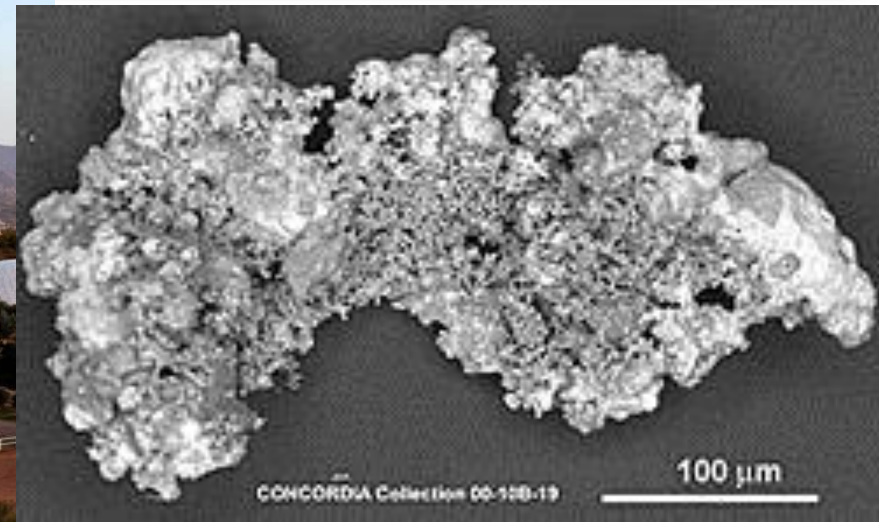
# Problemy długiego lotu załogowego

- wyżywienie
- problemy psychiczne
- zderzenia z materią



Wyspa Pitcairn

Biosfera 2

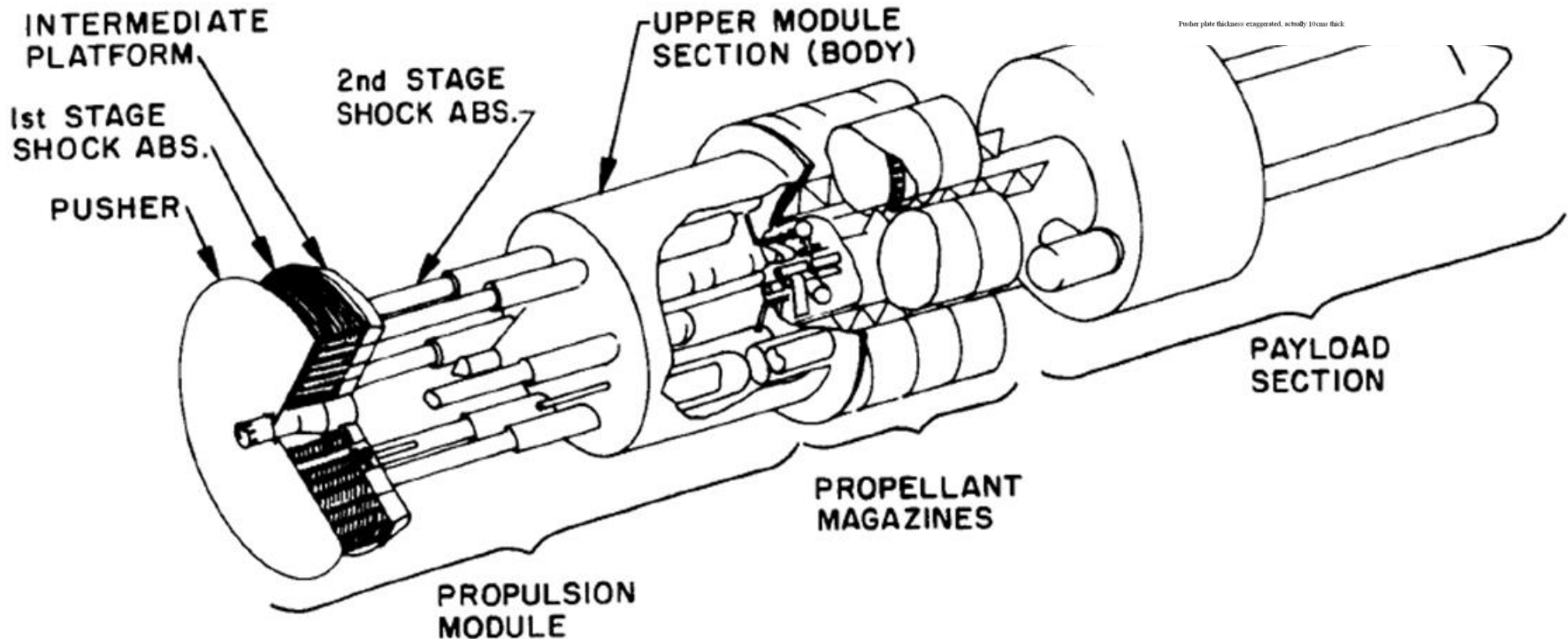
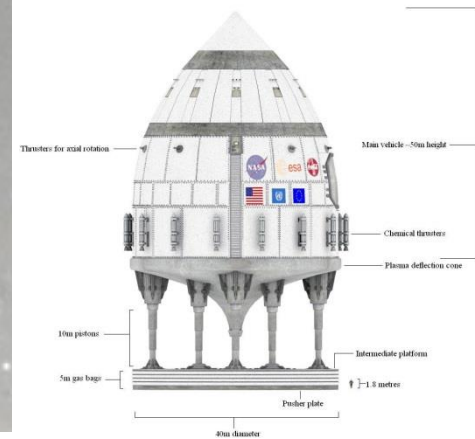


Przy masie 1 g i prędkości 50 000 km/s zderzenie uwalnia  $10^6$  J energii!

# Program Orion (1955)

- bezzałogowa
- napęd pulsacyjny jądrowy
- prędkość przelotowa: 13 411 km/s, ok. 0.045c
- ładunki 0.1-20 kt (od 1 do kilkunastu sekund)
- wersja międzyplanetarna i międzygwiazdowa
- napęd pochłania 50% masy całkowitej

## 4000 TONNE ORION



*Program Orion (1955)*

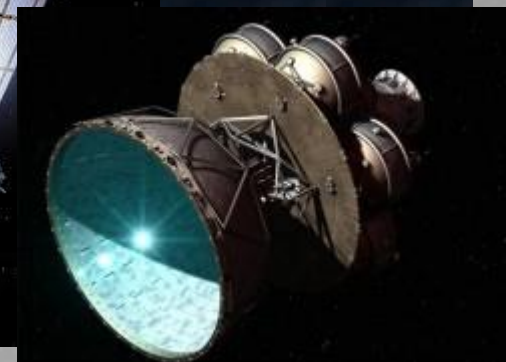
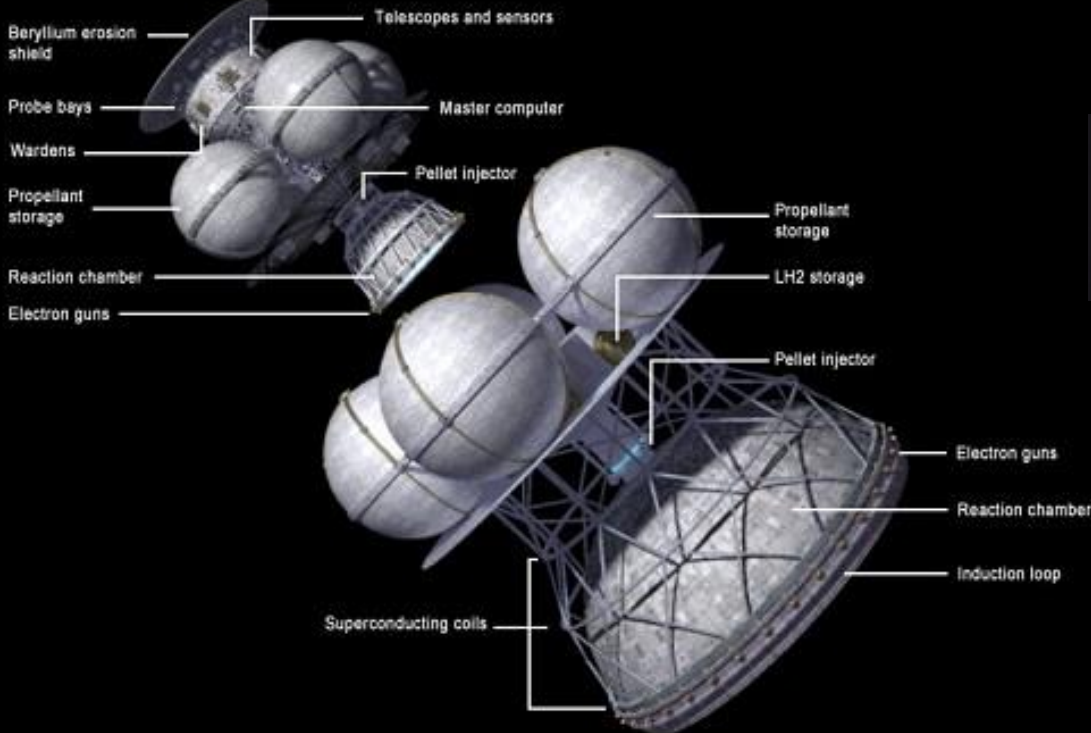
PROJECT

ORION

Testy napędu pulsacyjnego pokazały, że nie ma problemu z utrzymaniem stabilnego kierunku

# Projekt Dedal (1973-78)

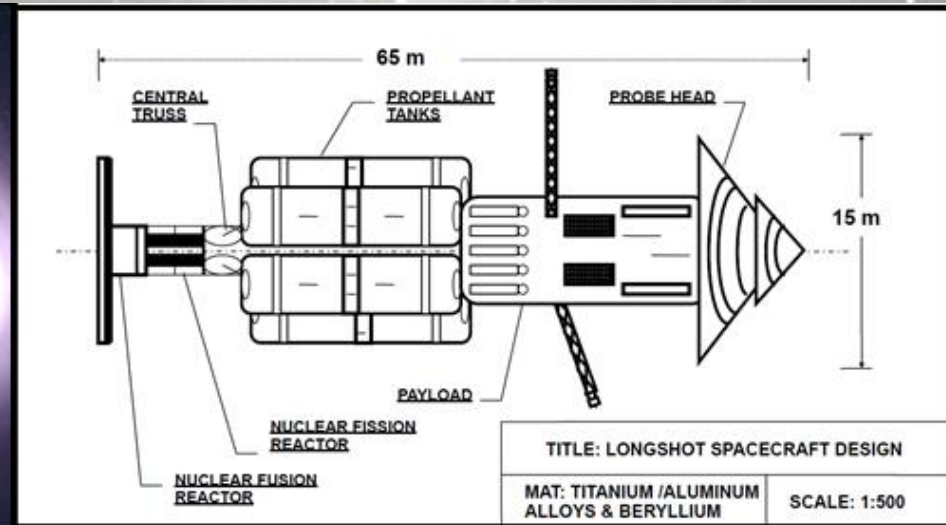
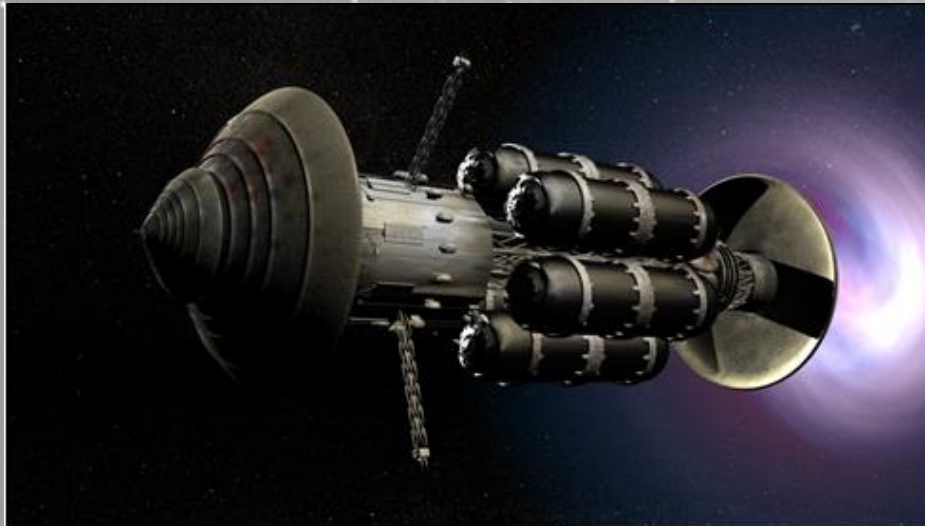
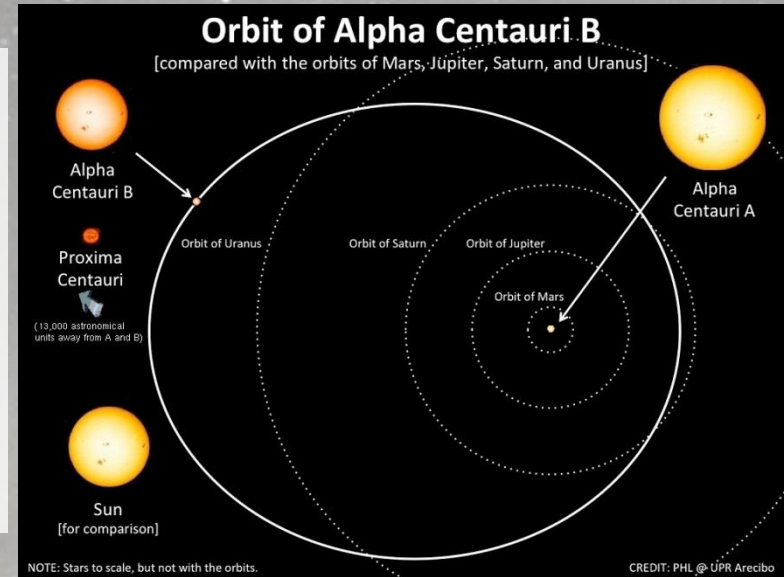
- bezzałogowa
- cel: gwiazda Barnarda
- napęd pulsacyjny jądrowy
- prędkość przelotowa: ok.  $0.12c$
- czas dolotu 50 lat
- montaż na niskiej orbicie okołoziemskiej





# Program Longshot (1987-88)

- bezzałogowa
- cel: układ Alpha Centauri
- realizacja w ciągu 20-30 lat
- napęd pulsacyjny termojądrowy
- prędkość przelotowa: 13 411 km/s, ok. 0.045c
- czas dolotu 100 lat
- montaż na niskiej orbicie okołoziemskiej
- reaktor jądrowy na pokładzie jako stacja zasilająca



## *Prometeusz (2003)*

- opracowanie technologii zasilania nuklearnego i napędu wysokiej mocy
- niewielki reaktor jądrowy pracujący co najmniej 10 lat
- silnik jonowy o wysokim impulsie właściwym

## Longshot II (2013 - ?)

- wskrzeszony studencki program Longshot
- czas dolotu 50 lat
- anihilacja antymaterii

## Ikar (2009 - ?)

- gwiazda do odległości 15 l.św.
- czas dolotu mniejszy niż 100 lat

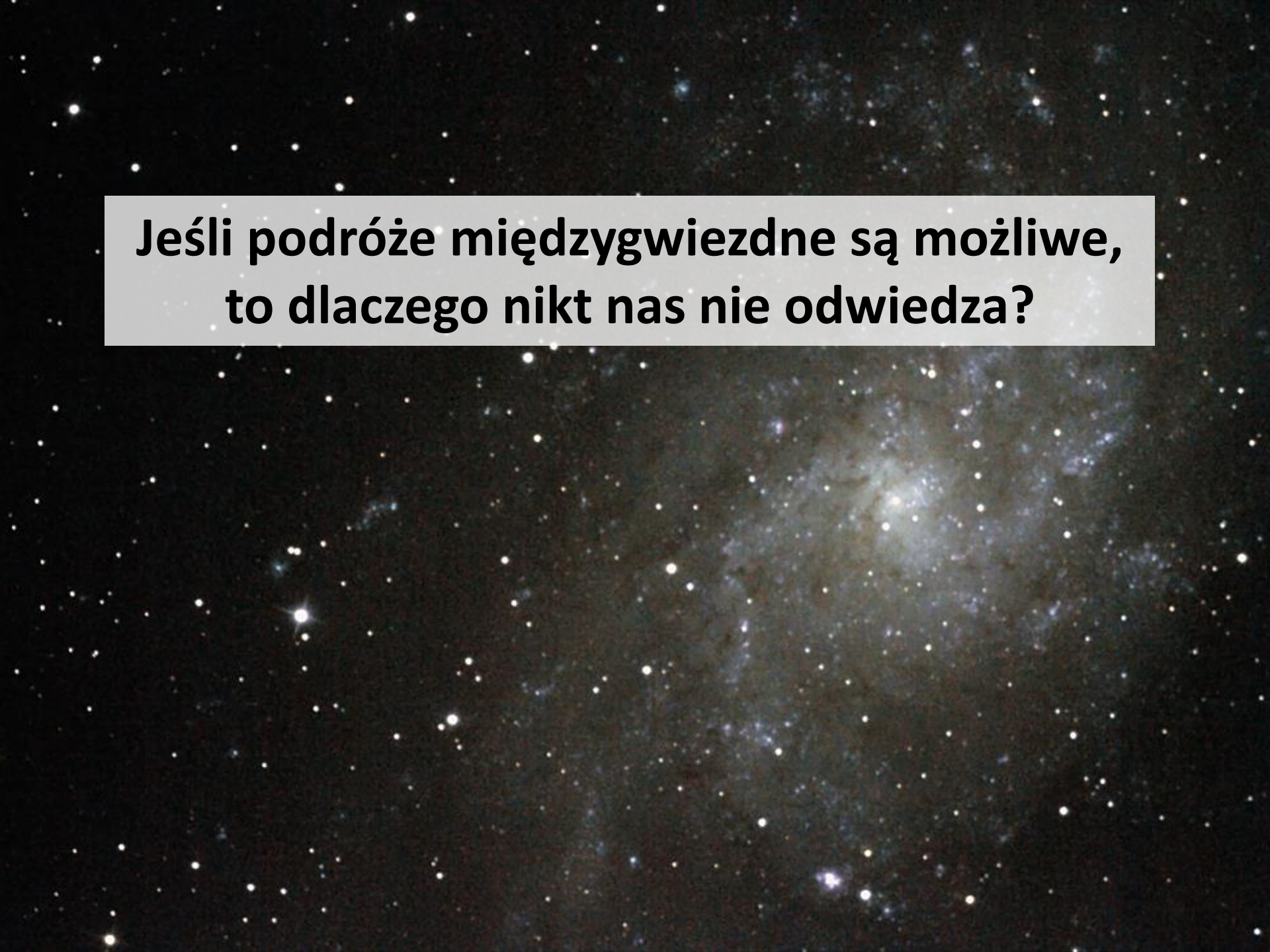
# Projekt „100 year starship”. Marzenia trwają.

<http://100yss.org/>

*“The future never just happened, it was created.”*

WILL & ARIEL DURANT



The background of the image is a deep space photograph showing a vast field of stars. In the lower right portion, there is a large, bright, and somewhat diffuse galaxy, possibly a dwarf galaxy or a star-forming region, with a yellowish-white core and a blueish outer glow. The rest of the sky is filled with numerous individual stars of varying brightness and colors, including some blue stars.

**Jeśli podróże międzygwiazdne są możliwe,  
to dlaczego nikt nas nie odwiedza?**