



AZ ŰRUTAZÁS ENERGETIKÁJA

Hirn Attila^{1,2,3)}



- 1) Energiatudományi Kutatóközpont, Űrkutatási Laboratórium
- 2) REMRED Kft.
- 3) Magyar Asztronautikai Társaság

Tartalom

- Az űrtevékenység napjainkban
- Mihez is kell energia(forrás)?
- Energiaellátás a világűrben – lehetőségek és nehézségek
- Kitekintés



Forrás: NASA/JPL



Az űrtevékenység napjainkban



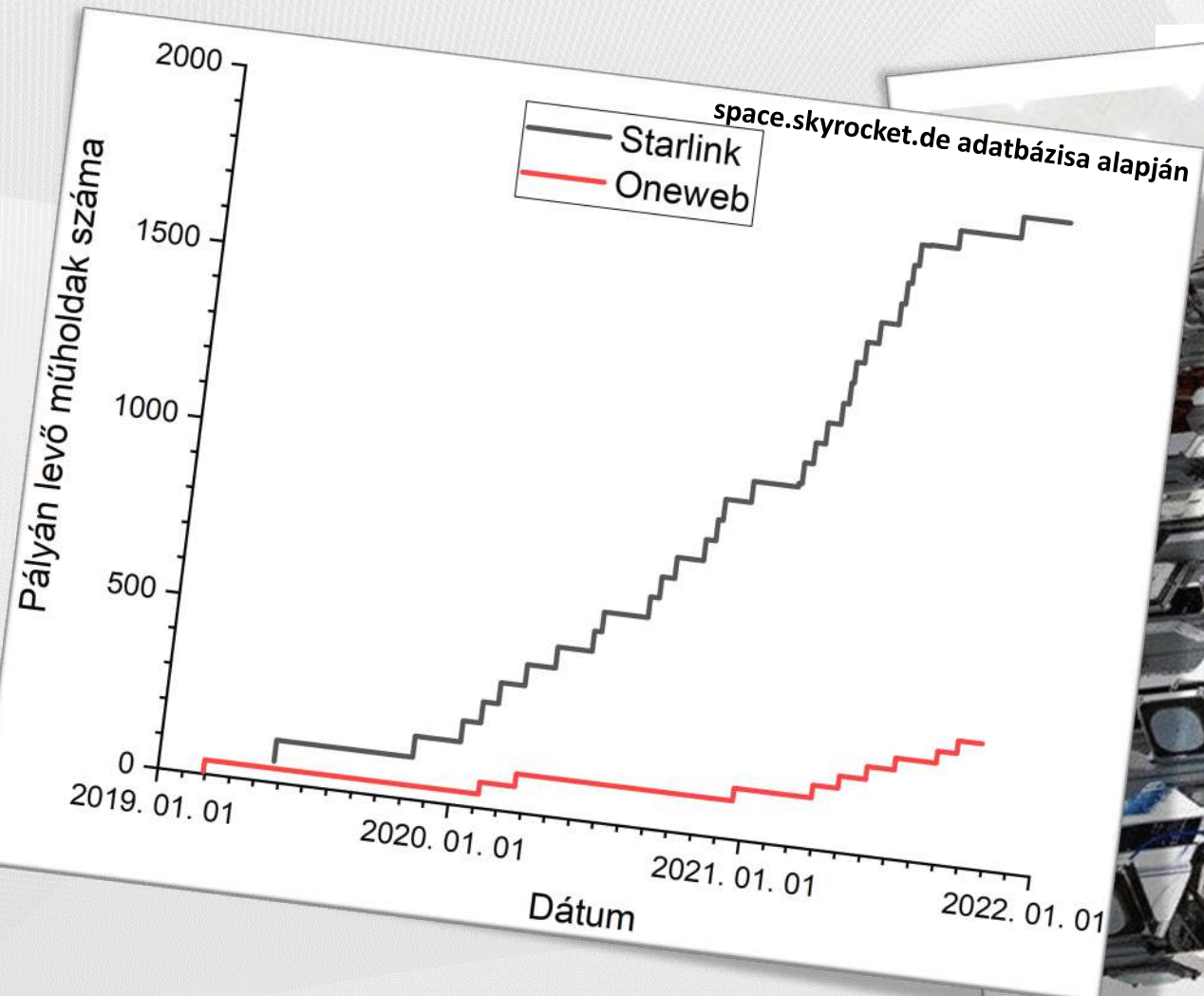
Űrtevékenység

- Föld körüli pályákon
 - Űrtávközlés
 - TV, Internet, stb.
 - Navigáció
 - Földfelszíni
 - Tengeri
 - Légiforgalmi
 - Földmegfigyelés/távérzékelés
 - Meteorológia
 - Precíziós mezőgazdaság, terménybecslés
 - Katasztrófaelhárítás és -felmérés
 - Környezetvédelem
 - ...
 - ...





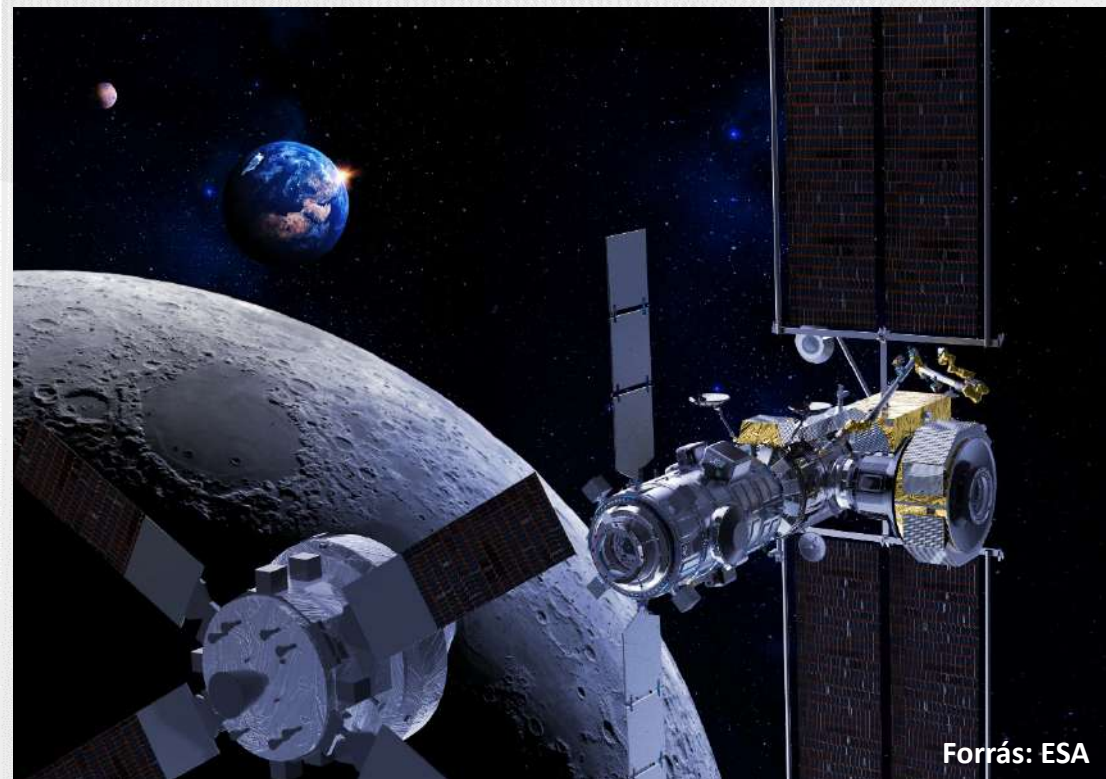
Űrtevékenység Föld körüli pályákon



Forrás: SpaceX



A ciszlunáris térségben





Jelen dokumentum minden szerzői joga az Energiatudományi Kutatóközpont tulajdona. A dokumentum másolása (részben vagy egészben), tárolása, továbbítása elektronikus vagy nyomtatott formában csak az Energiatudományi Kutatóközpont előzetes hozzájárulásával engedélyezett.

Ref: UKL2021-EK-MAN-HO-003_00_01

Sablon: UKL2020-EK-PQA-HO-002_00_01

...és azon túl

Hirn Attila | EK-UKL | Energetikai Szakkollégium, BME / twitch.tv/eszkorg | 2021/11/11 | Dia 7



Forrás: SpaceX



Forrás: REMRED



...és azon is túl





Mihez is kell energia(forrás)?



Pályára állítás

- A nehézségi erő legyőzése ($\sim 100 \text{ GW}^*$)
 - Föld körüli pályára állás
 - Más égitestről való felszállás
 - Bolygóközi térbe jutás
 - Csillagközi térbe jutás
- Pályára állás más égitestek körül
- Visszatérés a Földön / leszállás más égitesteken
- Pályamódosítások (néhány kW^*)
- Pozicionálás (néhány W^*)

* Tipikus nagyságrendek, esetenként nagyságrendi eltérések is lehetnek!



Forrás: SpaceX



Űreszköz (platform) üzemeltetés

- Létfontosságú és egyéb alrendszerek (néhány 100 W*)
 - Tápellátó rendszer
 - Kommunikációs rendszer
 - Fedélzeti számítógép
 - Navigáció
- Szolgáltatások, kísérletek (hasznos teher)
- Eszközök temperálása (néhány 10 W*)

* Tipikus nagyságrendek, esetenként nagyságrendi eltérések is lehetnek!

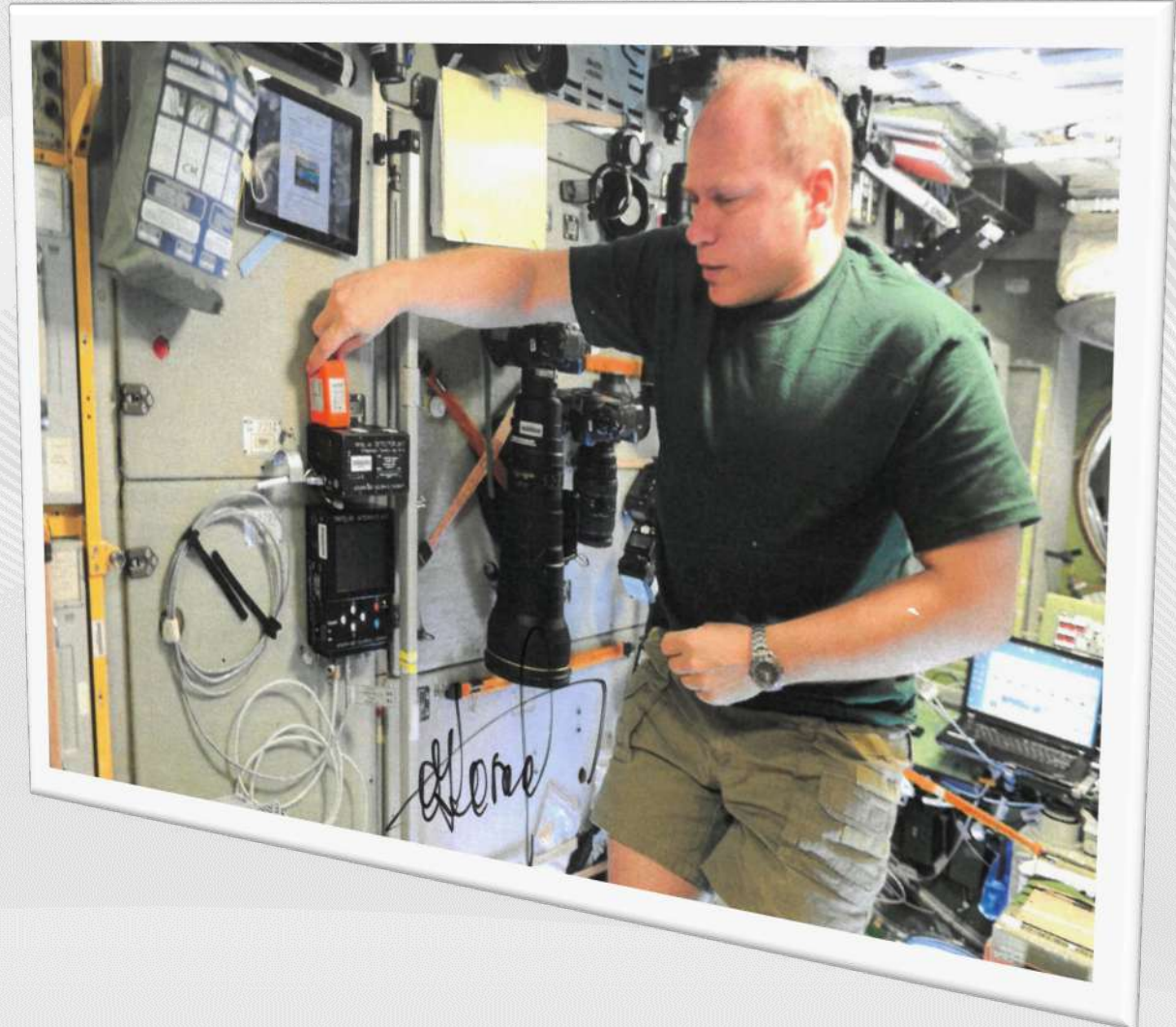
Boeing TDRS-K kommunikációs műhold – Forrás: Boeing





Tudományos mérések példa

- TRITEL dózismérő rendszer
 - ISS
 - Gateway
 - MSR-ERO
 - ...





Jelen dokumentum minden szerzői joga az Energiatudományi Kutatóközpont tulajdona. A dokumentum másolása (részben vagy egészben), tárolása, továbbítása elektronikus vagy nyomtatott formában csak az Energiatudományi Kutatóközpont előzetes hozzájárulásával engedélyezett.

Ref: UKL2021-EK-MAN-HO-003_00_01

Sablon: UKL2020-EK-PQA-HO-002_00_01

Életfenntartó rendszerek

Hirn Attila | EK-UKL | Energetikai Szakkollégium, BME / twitch.tv/eszkorg | 2021/11/11 | Dia 13



Forrás: CCTV (Tiangong / CSS – 2021)



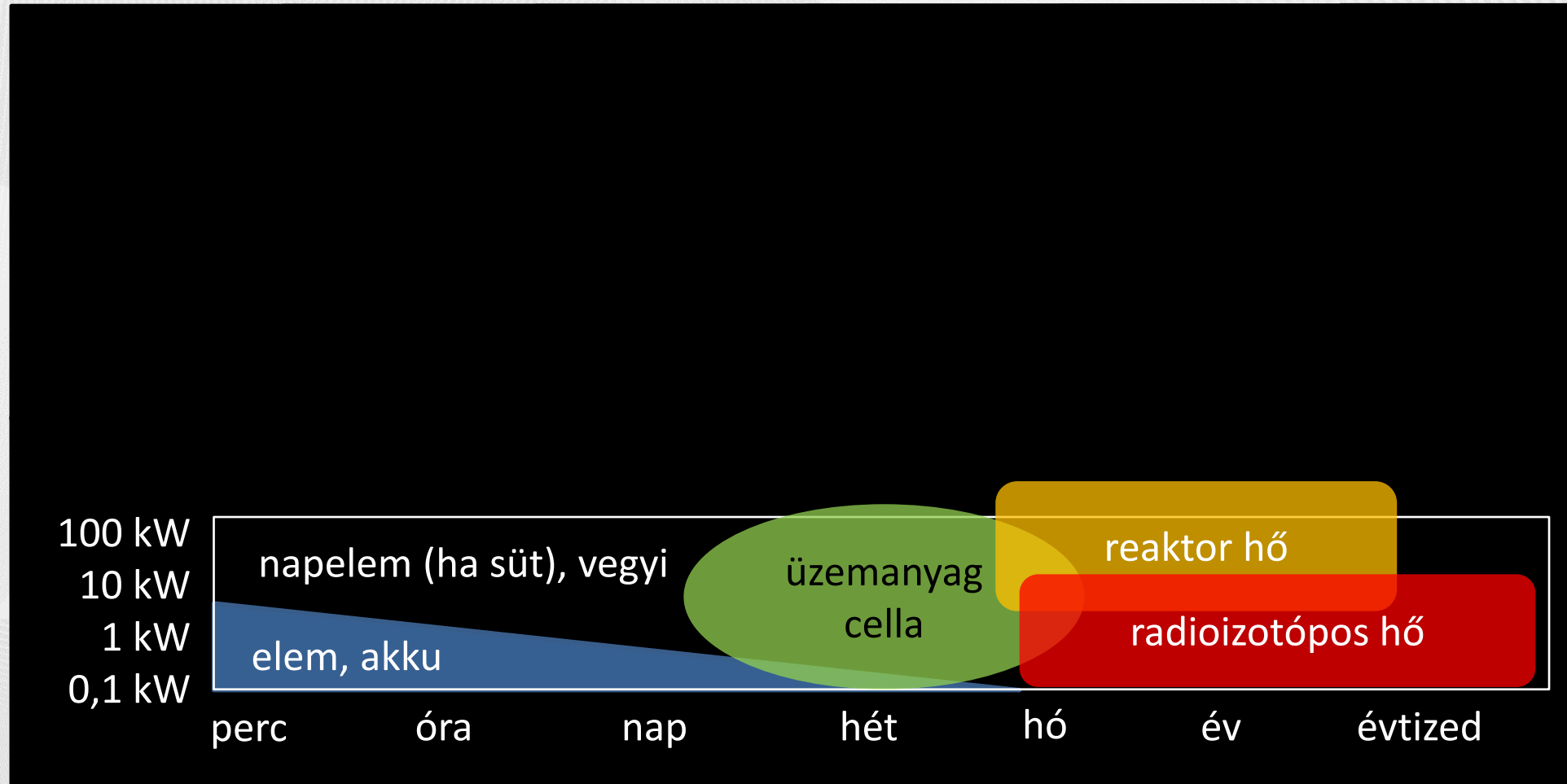
Forrás: NASA (STS-131 és ISS Exp. 23 – 2010)



Energiaellátás a világűrben – lehetőségek és nehézségek

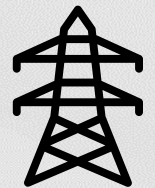
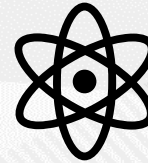
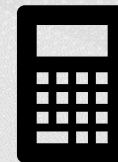


Energiaforrások a világűrben



Fő szempontok

- Energiasűrűség
- Megbízhatóság
- Élettartam
- Biztonság
- Fajlagos ár (és fejlesztési idő)



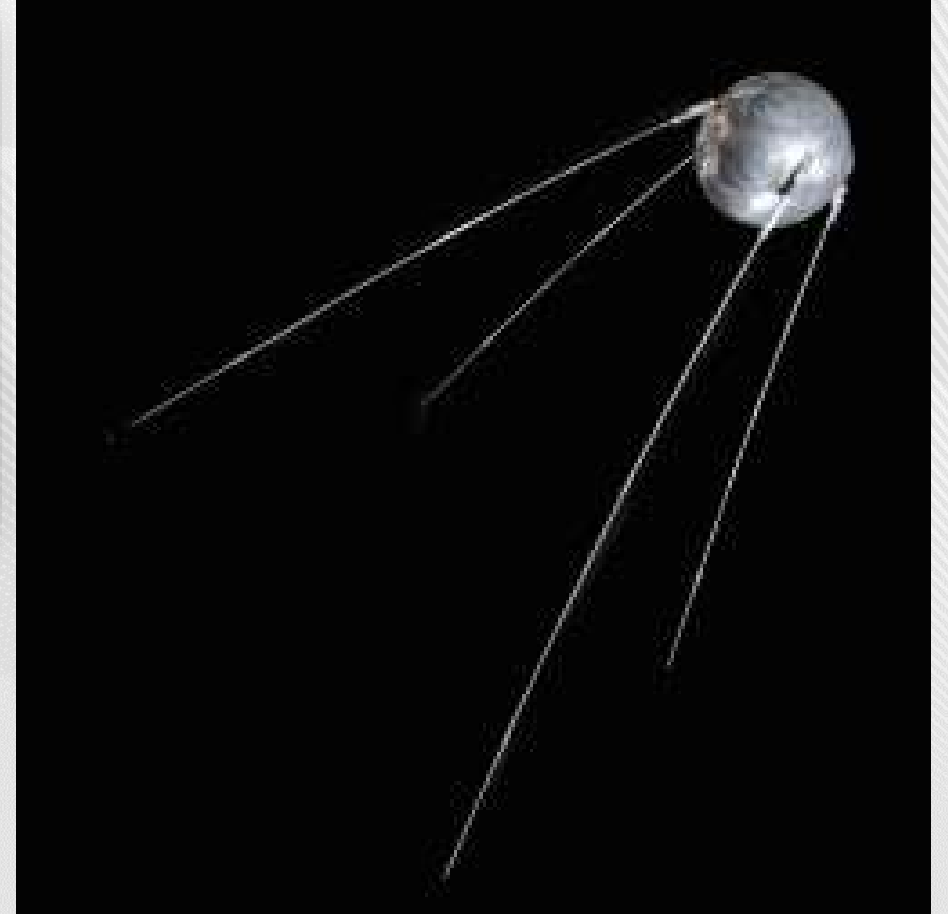


Elemek, akkumulátorok

- Elektrokémia
- Kis energiasűrűség
- Lemerülés, kiegészítő (napelem)
- Környezeti hatások (hőmérséklet)
- Példák: Szputnyik-1, Rosetta Lander



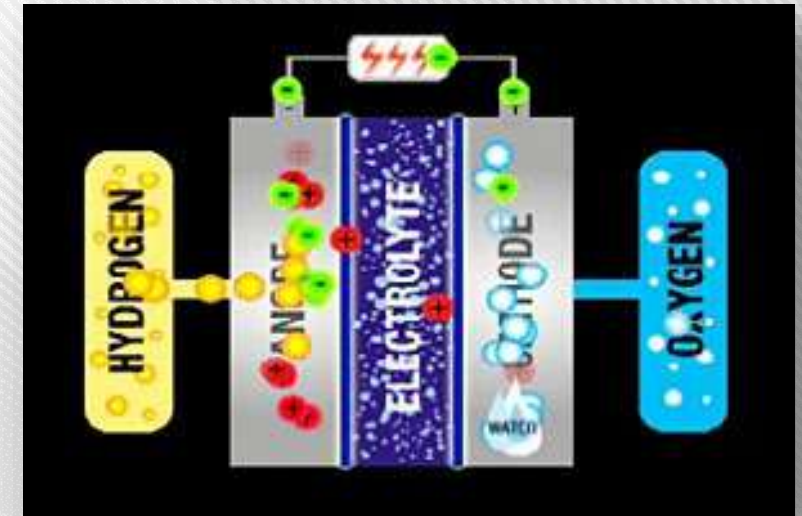
Forrás: NASA



Forrás: National Air and Space Museum, Smithsonian Institution (replika)

Üzemanyagcellák

- Elektrokémia
- Elektrolízissel ellentétes folyamat
- Elektróda nem fogy el
- Üzemanyag, oxidálószer pótolható
- Nagyobb energiasűrűség és teljesítmény 250-350 W/kg



Forrás: NASA



Napelemek (fotovoltaikus)

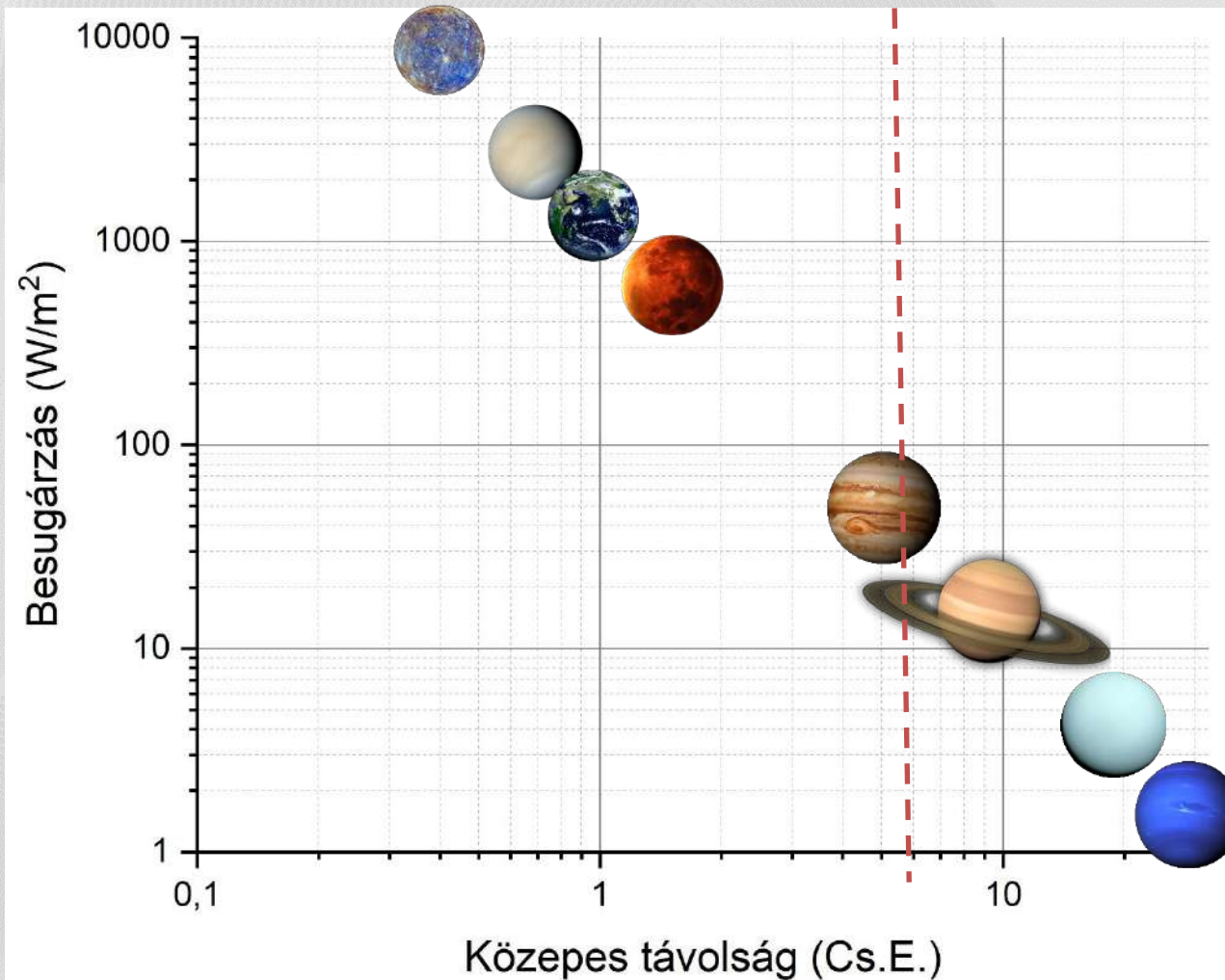
- Naptól nem túl távol
- Földnél kinyerhető $\sim 300\text{W/m}^2$
- Jobban tervezhető, mint a Föld felszínén
- 30% (35%) hatásfok
- Degradáció, környezeti hatások
 - Meteor-erózió, hóingadozás, sugárzás (napkitörések és van Allen-övek) porlerakódás (Mars)
- Nyitószervezet



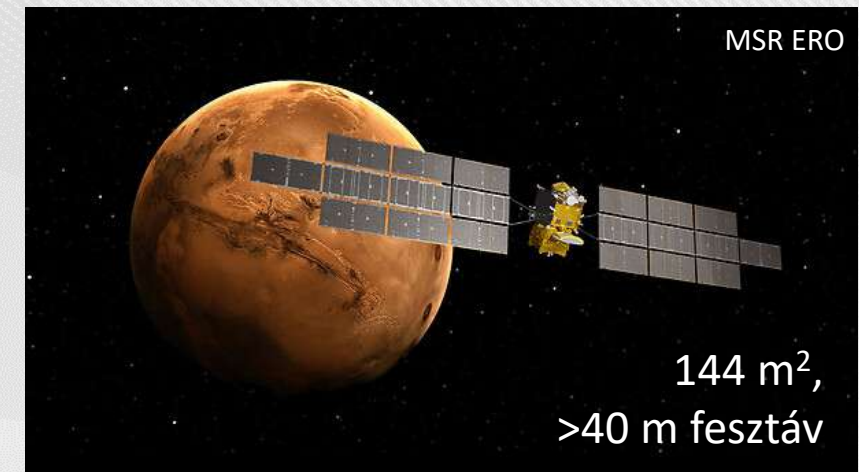
Forrás: NASA



Napelemek (fotovoltaikus)



Forrás: ESA

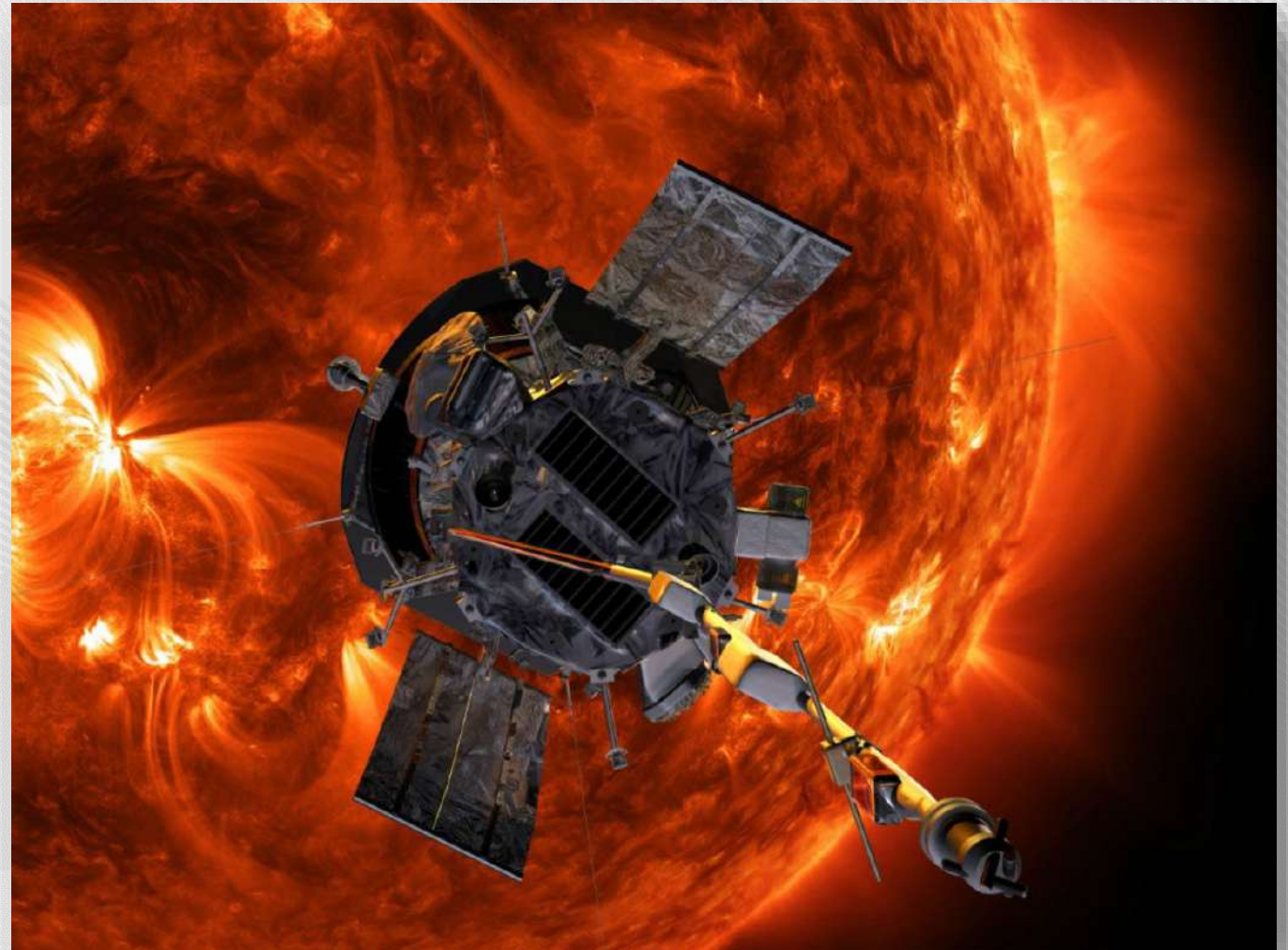


Forrás: Airbus



Napelemek (fotovoltaikus)

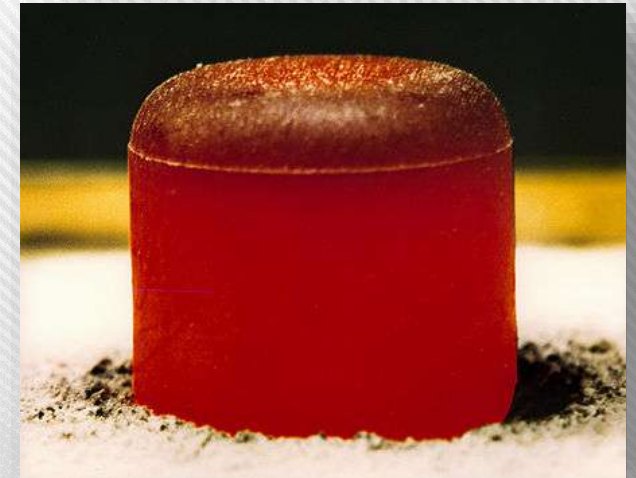
- Naptól nem túl távol
- De Naphoz közel is vannak problémák!
- Parker Solar Probe
 - < 10 Nap-sugár (~ 6 millió km)
 - $1\text{ W } P_{\text{el}}$: 13 W disszipáció ($\sim 500\text{x}$ -szorosa, mint LEO-n)





Radioizotópos egységek

- Radioaktív elemek bomlásából származó hő
- RHU (radioactive heater units)
 - Űreszköz (elemek) melegen tartása
 - 3 cm x Ø2,5 cm
 - ~40 g, ebből 2,7 g ^{238}Pu
 - P_t : ~1 W
 - Oroszok: Po-210 is



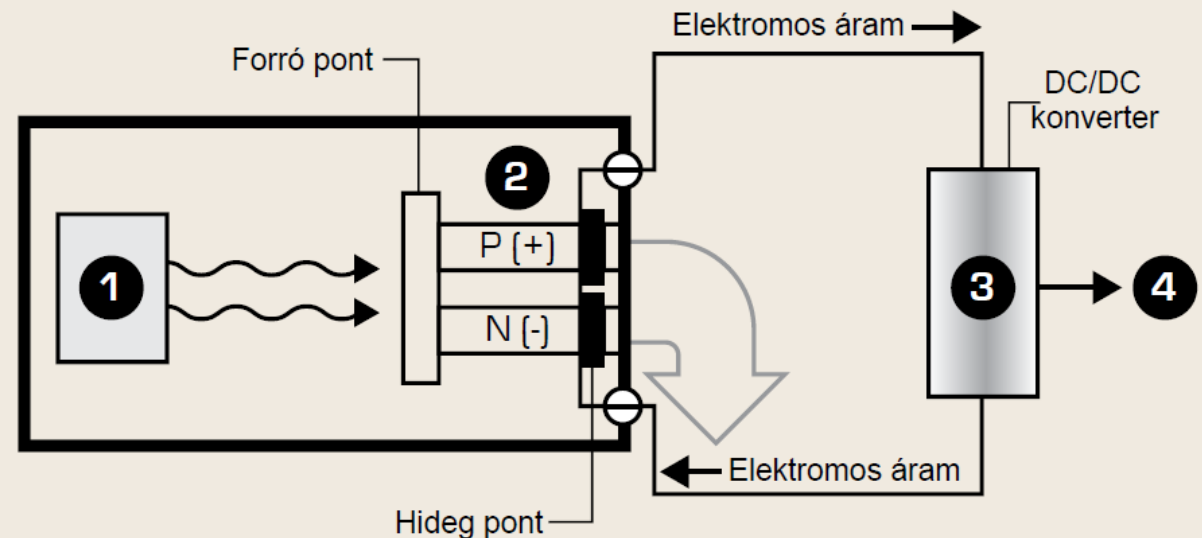
Forrás: Los Alamos National Laboratory

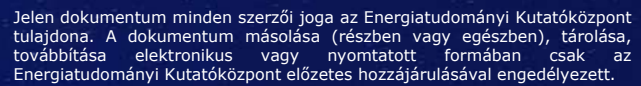


Radioizotópos egységek

- RTG (radioactive thermoelectric generator)
 - Hő + elektromos áram (Seebeck-effektus, termopár)
 - Jellemzően alfa-sugárzó izotópok
 - Nincs mozgó alkatrész, hosszú élettartam

- 1 Radioaktív bomlás során hő keletkezik
- 2 Termopár a hőt elektromos árammá alakítja
- 3 Termopár kivezetések
- 4 Leadott teljesítmény





Sablon: UKL2020-EK-PQA-HO-002_00_01

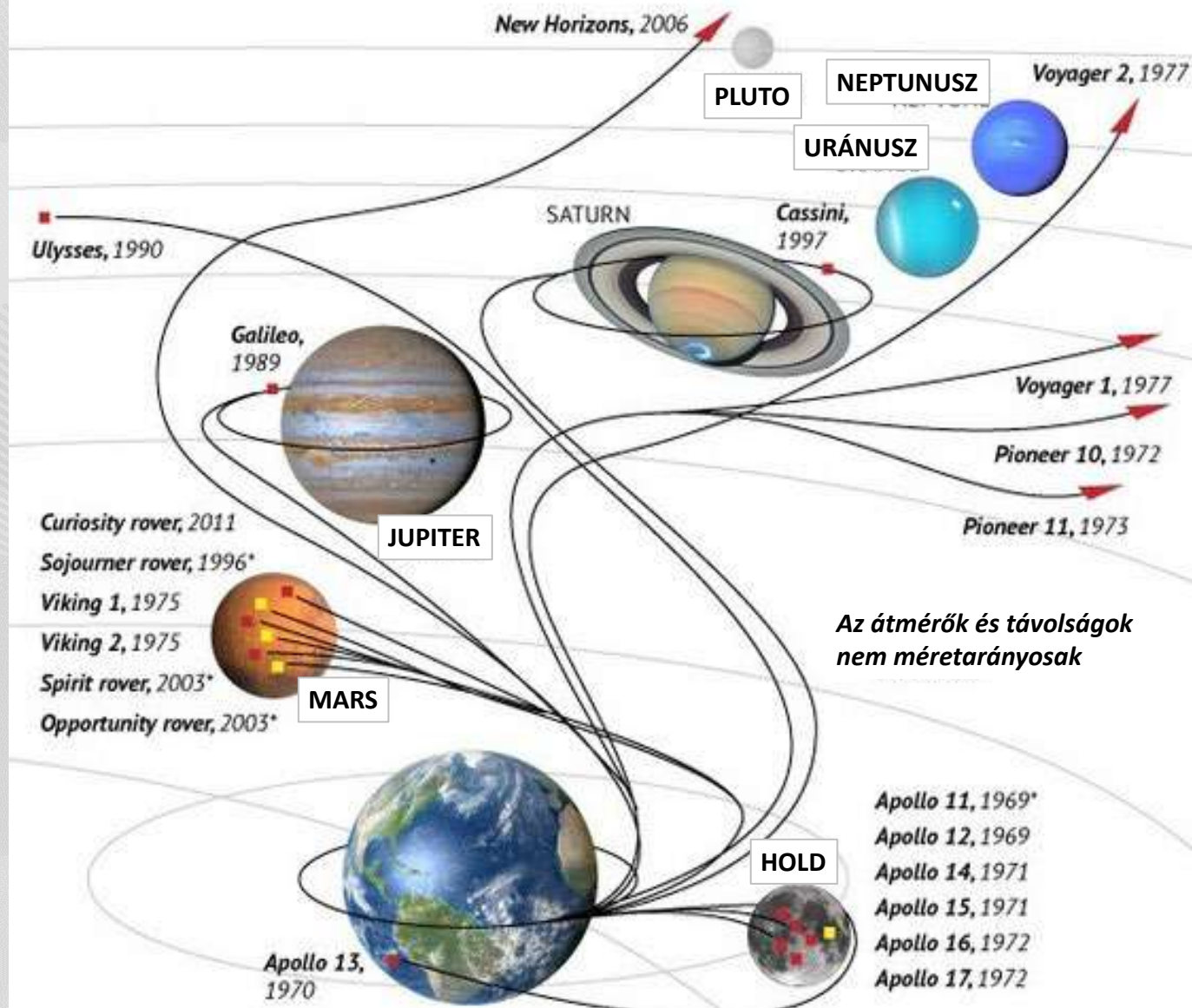
	²³⁸ Pu	⁹⁰ Sr	²¹⁰ Po	²⁴¹ Am
Felezési idő (év)	87,7	28,9	0,38	432,2
Fő bomlási mód	alfa	béta	alfa	alfa
Bomlási hő (W/g)	0,56			0,15
Leányelem	²³⁴ Pu	⁹⁰ Y	²⁰⁶ Pb	²³⁷ Np

***Apollo 11 kísérletek, Sojourner, Spirit, Opportunity: csak fűtés**
Forrás: SPACE.com / NASA / JPL / DoD

Naprendszert elhagyó küldetések (RTG-vel)

**RTG-vel felszerelt keringő-
vagy leszállóegység**

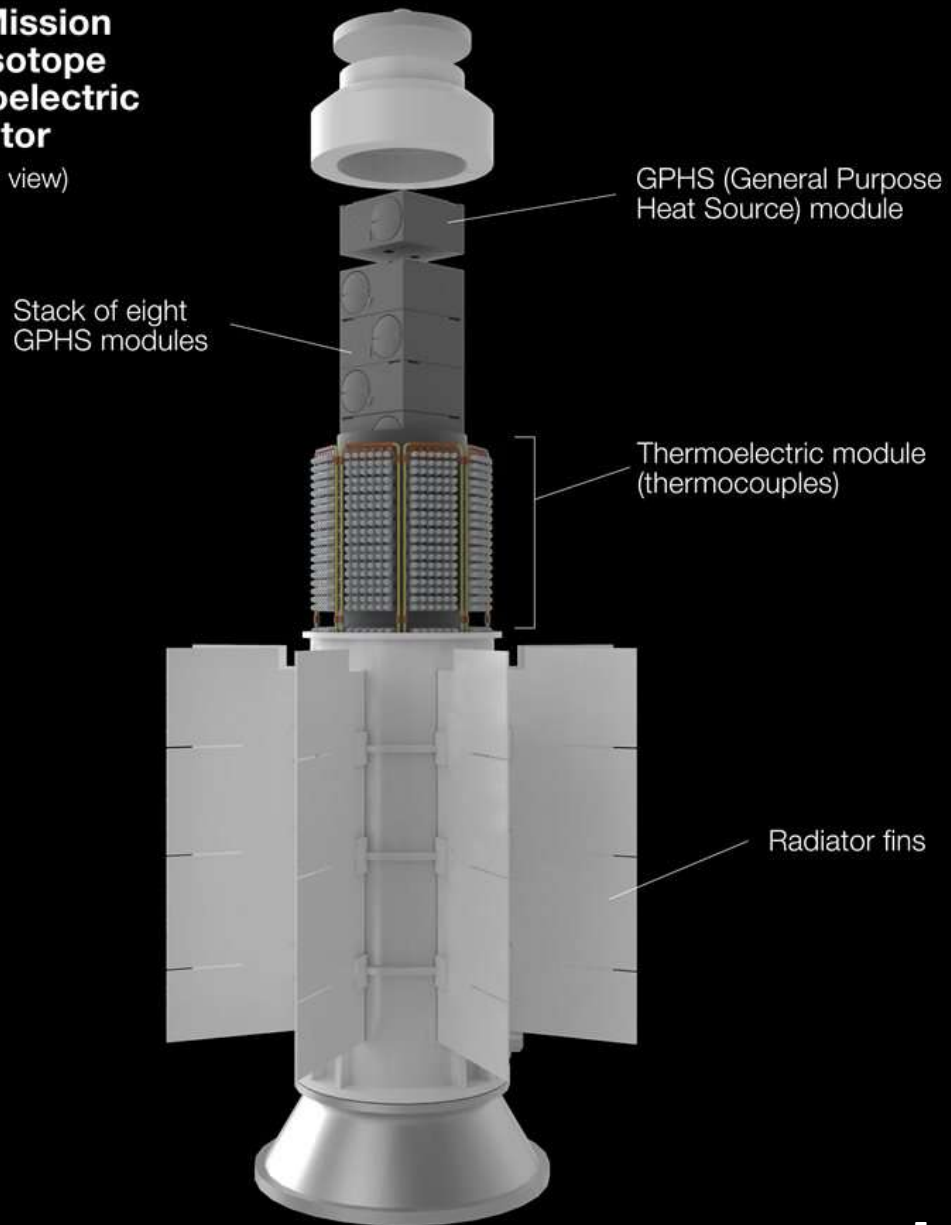
Radioizotópos fűtéssel felszerelt eszköz





Multi-Mission Radioisotope Thermoelectric Generator

(expanded view)



MMRTG

- 8 GPHS egység
(általános célú hőforrás)
- $P_t = 2 \text{ kW}$
- $P_{el} = 110 \text{ W}$
(2,7 kWh/nap)

Radioizotópos egységek

- SRG (Stirling radioisotope generator), ASRG (továbbfejlesztett)
- Konverzió Stirling-motor segítségével
(He munkaközeg, $T_{\max}$: 650°C)
- Mozgó alkatrészek
- 4x jobb hatásfok, mint az RTG-k esetében
- Még nem repült



Atomreaktorok

- Maghasadásból származó hő hasznosítása
- Akár több 100 kW (alatta RTG-t célszerű)
- Pályára állás után indítják
- Magas pálya, bolygóközi küldetés
- Egy amerikai (SNAP-10A, 1965)
- Majd 37 szovjet

SNAP-10A



Forrás: US AEC / US DoD



Atomreaktorok

#	SNAP-10 USA	SP-100 USA	Romaska SZU	Bouk SZU	Topaz-1 SZU	Topaz-2 Oroszo./ USA	SAFE-400 USA	ERATO* Franciao.
Program kezdete	1960-as évektől	1980-as évektől	1960-as évektől	1970-es évektől	1980-as évektől	1990-as évektől	2000-es évektől	1980-as évektől
kWt	45,5	2000	40	<100	150	135	400	
kWe	0,65	100	0,8	<5	5-10	6	100	20
Üzem-anyag	U-ZrH _x	UN	UC ₂	U-Mo	UO ₂	UO ₂	UN	UO ₂ , UN
Reaktor tömeg (kg)	435	5422	455	<390	320	1061	512	
Neut-ronok	termikus	gyors	gyors	gyors	termikus	termikus/ epitermikus	gyors	gyors / epitermikus
Szabá- lyozás	Be	Be	Be	Be	Be	Be		
Hűtő-közeg	NaK	Li	-	NaK	NaK	NaK	Na	Na / gáz
T _{zóna,max} (°C)	585	1377	1900	?	1600	1900?	1020	840

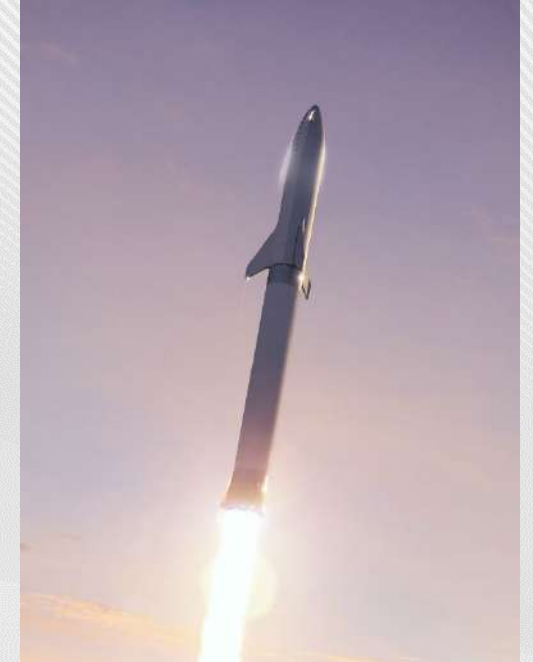


Rakétameghajtások - űrutazás

- Kémiai
 - szilárd vagy folyékony hajtóanyag
 - üzemanyag + oxidálószer
 - több fokozat
- Ionhajtómű
 - Kisebb tolóerő
- Nukleáris
- Egyéb megoldások



Forrás: NASA



Forrás: SpaceX



Rakétameghajtások - űrutazás

➤ Nukleáris

- Nincs égés, nem kell oxidáló anyag
- 3-6% fajlagos tolóerő (kémiai hajtóművekhez képest)
- Nagyobb hatékonyság, kisebb tömeg, nagyobb teljesítmény
- Gyorsabb utazás (Mars, sugárdózis)
- Kilépő gáz hőmérséklete: $\sim 2000^{\circ}\text{C}$

Hidrogéntartályok

Reaktortartály

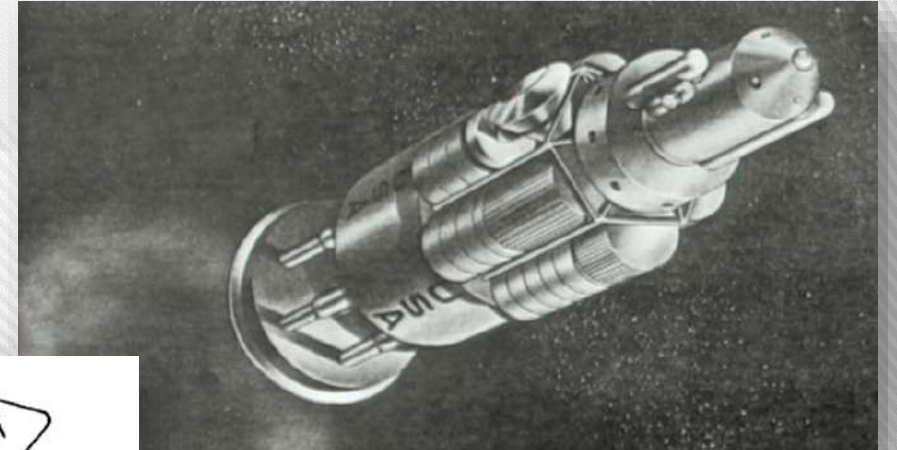
Fúvóka



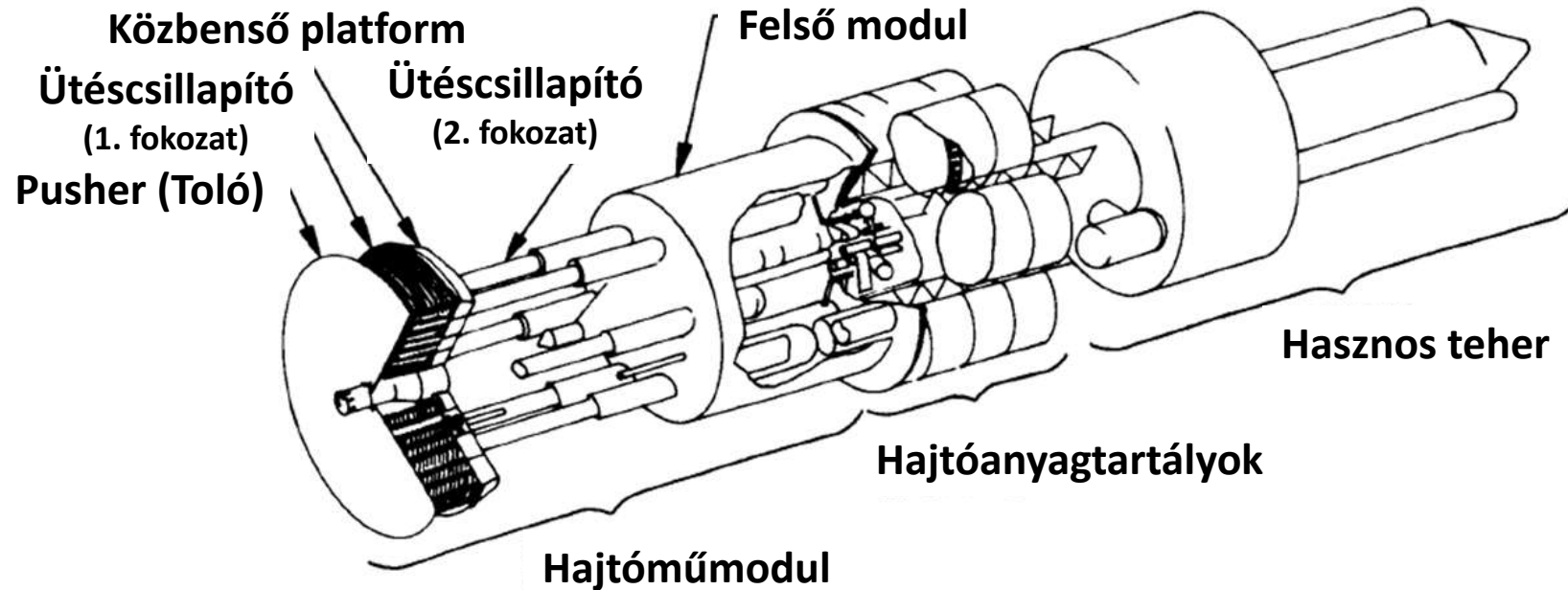
Rakétameghajtások - űrutazás

➤ Egyebek

- Project Orion (ARPA, DARPA)
- Vége: Atomcsend Egyezmény



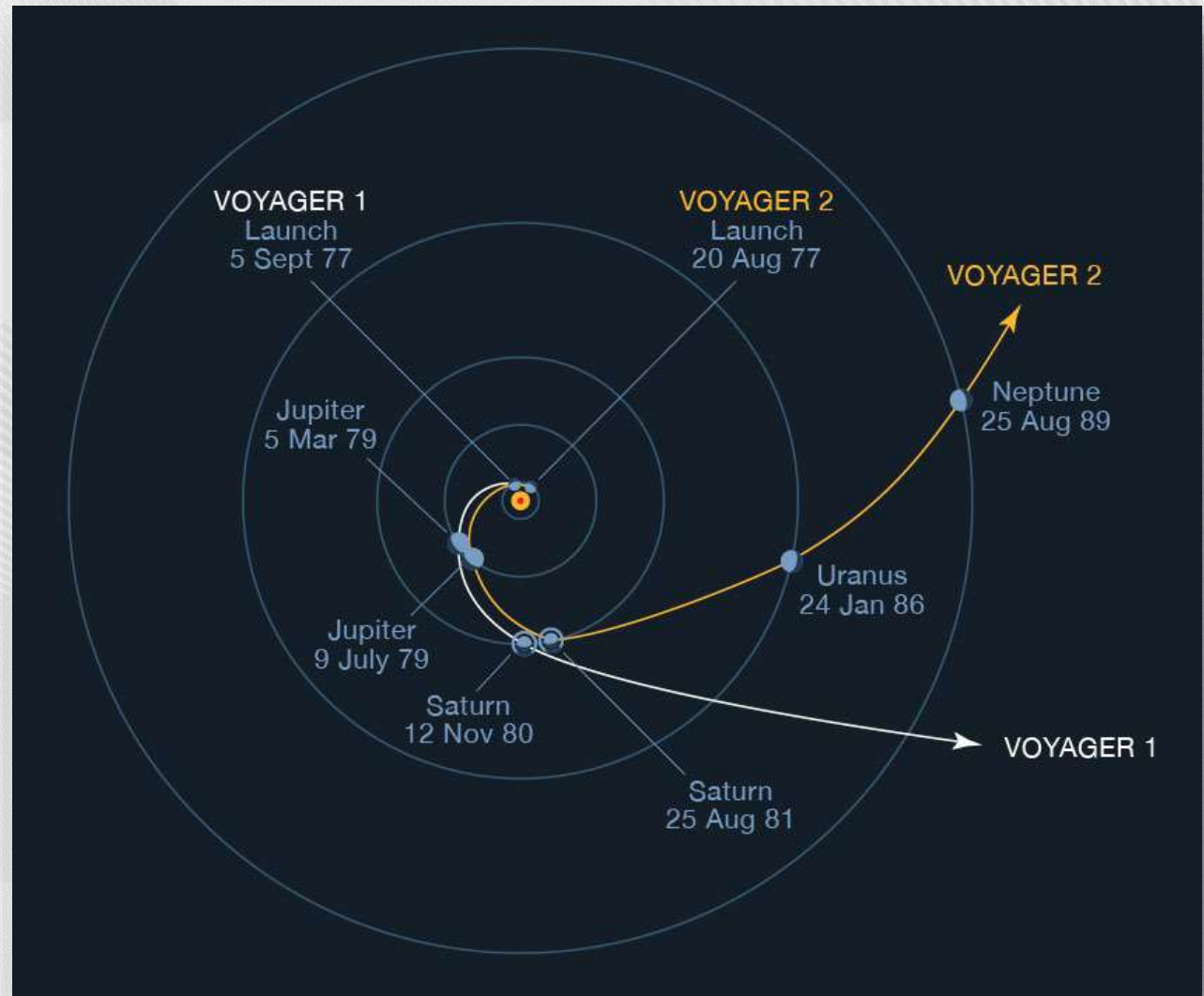
Forrás: US Air Force





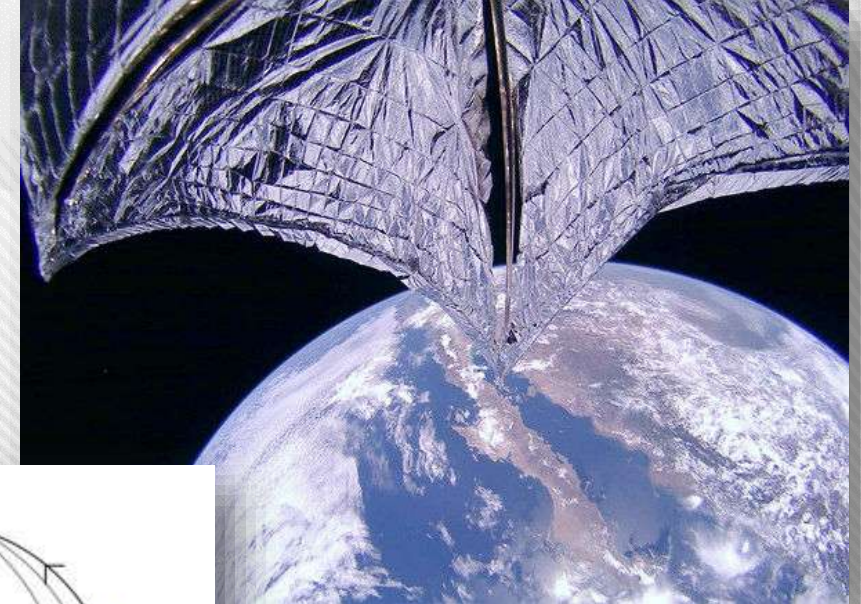
Űrutazás – egyéb lehetőségek

- Indítás az Egyenlítő közeléből
- Égitestek perldülete, hintamanőverek
- Fékezés bolygó légköre segítségével

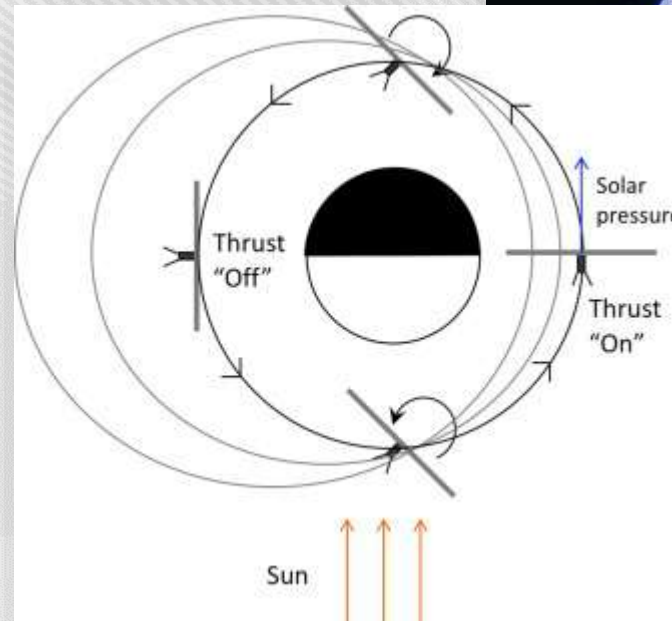


Űrutazás – egyéb lehetőségek

- Napvitorlás
 - 10 – 1000 m
- LightSail-2, 2019 júliusa
- 3U CubeSat
- alt.= 720 km, $i = 24^\circ$
- 32 m² & 4,6 μm Mylar
- Fél nagytengely csökkenése:
 - 34,5 m/nap szabályozatlan
 - 19,9 m/nap vitorlázás



Forrás: Planetary Society



Forrás: Spencer et al 2021

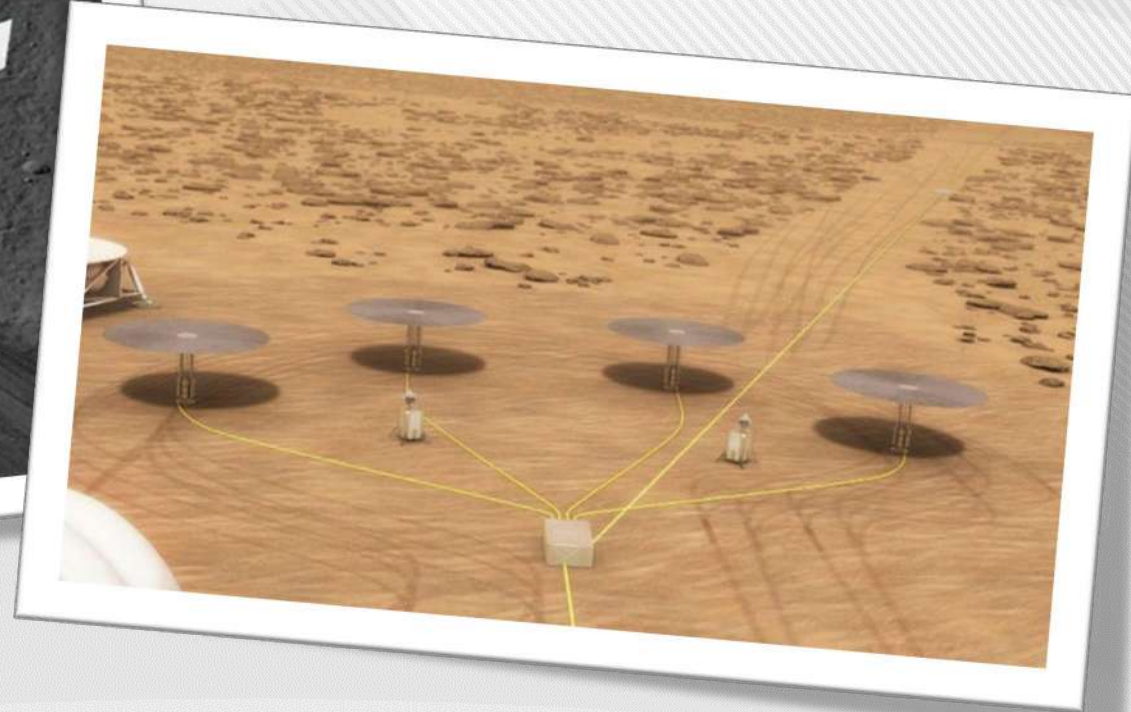
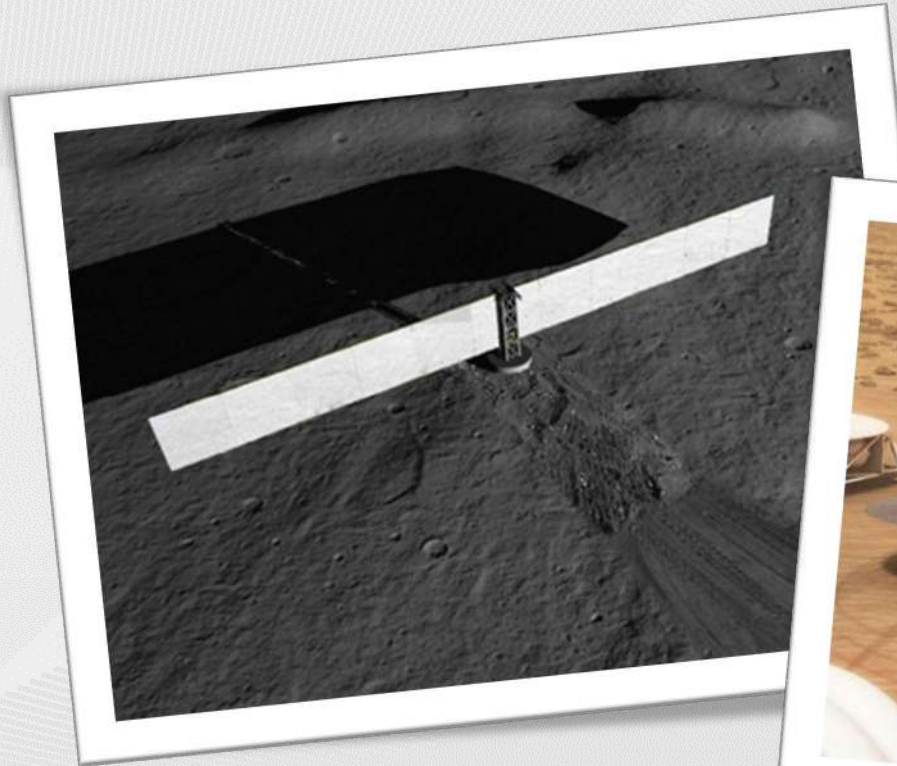


Kitekintés



Atomreaktorok

NASA: 40 kW_e Mars-bázishoz
10 x 4 kW_e egység



NASA fantáziarajzok (Kilopower egységek)

Atomreaktorok

➤ KiloPower (USA)

- 4 kWt / 1 kWe (10 kWe-ig skálázható)
- 93% dúsítású urán (300 m x Ø129 mm)
- BeO reflektor, B₄C szabályozórúd
- Folyékony fém (nátrium) hűtőközeg (heatpipe csövek az üzemanyag és a reflektor között)
- Negatív visszacsatolású
- Átalakítás: Stirling
- 750 kg, 5 m hosszú
- Hasznos teher árnyékolás: 45 kg szegényített urán + 40 kg LiH

➤ MegaPower (USA)

- 2 MWe (10 MWe-ig skálázható)
- 16-19% dúsítású urán
- Brayton-körfolyamat, levegő a munkaközeg
- 40 t, 4m x Ø2m



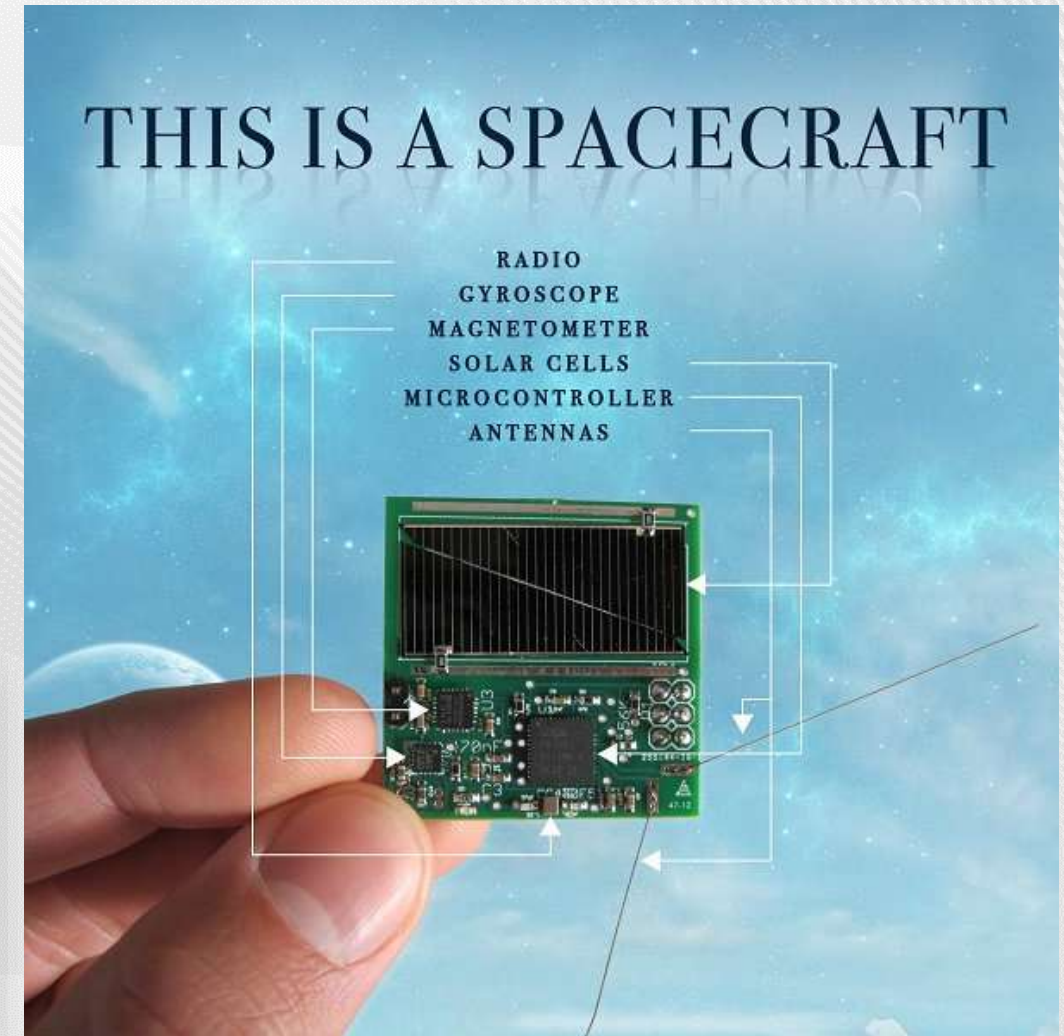
Atomreaktorok

- Oroszország, Keldis Kutatóközpont, KB Arszenal tervezőiroda
 - TEM: Transport and Energy Module
 - Atomreaktor + ionhajtómű
 - Gázhűtésű 78%He, 22%Xe
 - $P_t = 3,8 \text{ MW}$, $P_e = 1 \text{ MW}$
 - Nukleáris űrvontató
 - Első tervezett küldetés: Zeus



Napvitorlással a csillagok közé

- Breakthrough Starshot
 - Sprite műholdak (~bélyeg méret)
 - 4 g, max. 100 mW napelemekből
 - Alfa Centauri, 20 év alatt
 - 0,2c-re gyorsítás lézerekkel
 - Számos akadály



Űrlifttel Föld körüli pályára

- 42000 km hosszú kábel
- Földhöz rögzített, túlsó végén ellensúly
- Technikai problémák
- Föld helyett a Holdon?



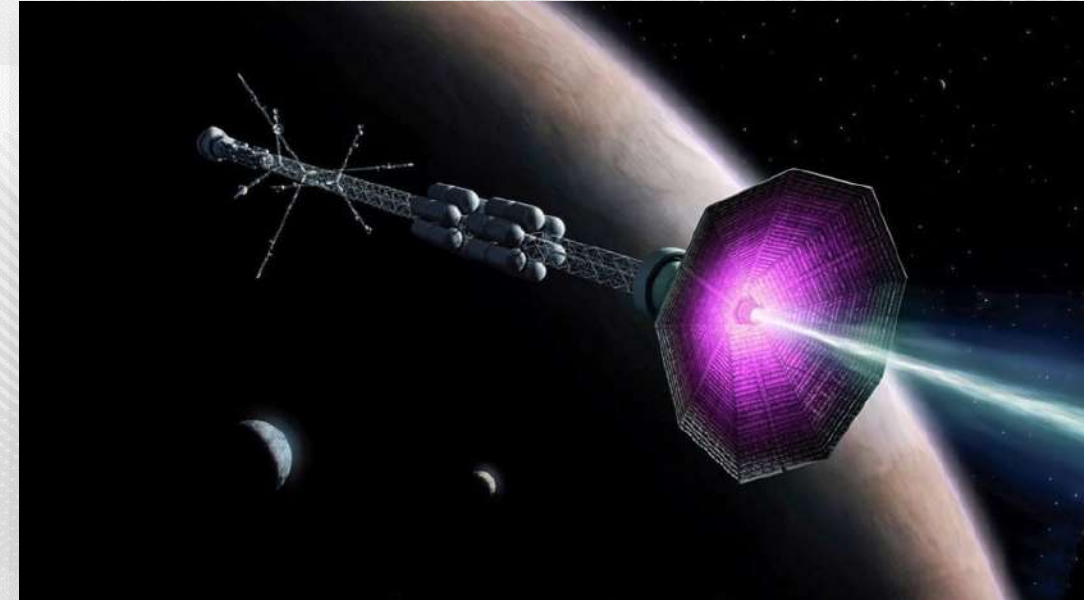


További lehetőségek

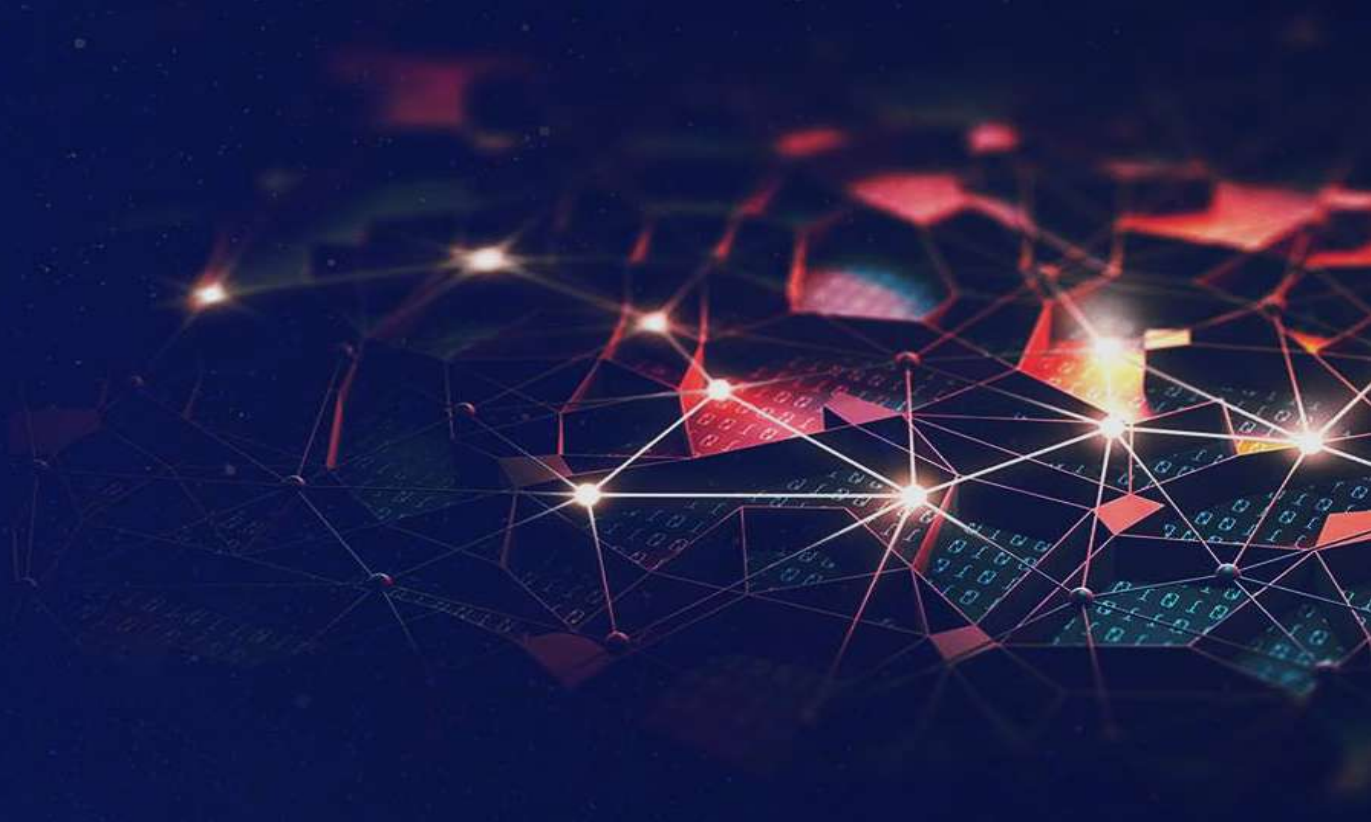
- Fúziós hajtómű
 - D/T helyett D/³He
 - Sugárvédelem
 - De magasabb hőmérséklet
- Elektromágneses gyorsítás
 - Holdról?



Forrás: NASA



Forrás: ITER



Köszönöm a figyelmet!

Web: www.spacedosimetry.com, www.ek-cer.hu, remred.space

E-mail: info@ek-cer.hu, spacelab@ek-cer.hu, info@remred.hu, spacelab@remred.hu

