

# Űreszközök energiaforrásai



Szimler András  
BME HVT, Űrtechnológia Laboratórium  
V1/105



# Az energiaforrások főbb jellemzői

- Feszültség, áram, teljesítmény adatok V, A, W
- Tárolt energia Wh, Ah
- Energiasűrűség Wh/kg, Wh/dm<sup>3</sup>
- Teljesítménysűrűség W/kg, W/dm<sup>3</sup>
- Élettartam év, ciklus
- Hatásfok %
- Működési és tárolási hőmérséklet C°
- Öregedési tulajdonságok BOL/EOL
- Egyéb (sugárzás-, rázkódás-, vákuumállóság, ár ...)

# Az űreszközök energiaforrásokat érintő jellemzői

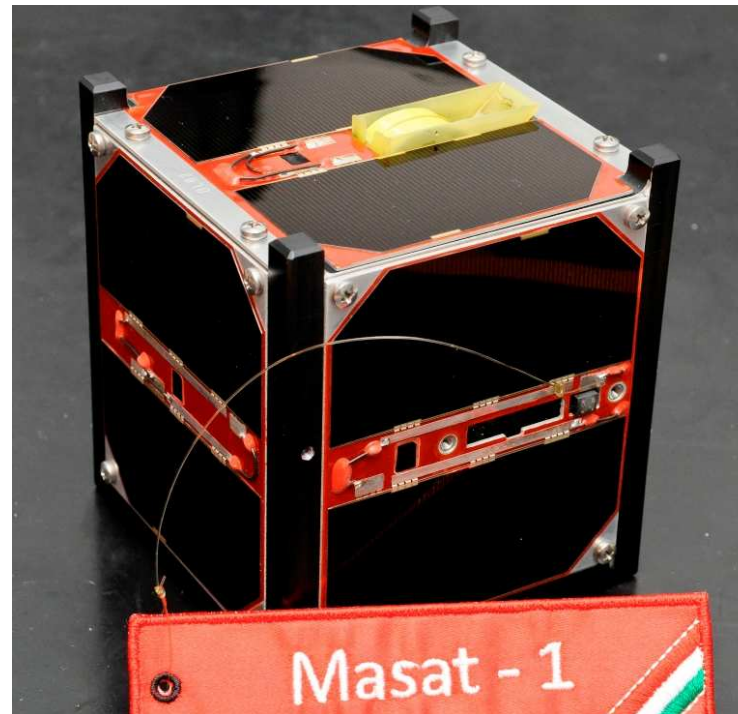
- Az űreszköz pályadatai (LEO, GEO, HEO, napszinkron pálya, interplanetáris, lander, rover ...)
- Az űreszköz tervezett élettartama
- Az űreszköz működése alatt jellemző energia és teljesítmény igény (üzemállapotok, feladatok)

# Fotoelektromos átalakítók

- **A napelem az elsődleges energia generálási lehetőség az űrben 5CsE-en belül**
- **Az átlagos energiasűrűség 1CsE esetén a Nap teljes sugárzási spektrumában  $\sim 1366 \text{ W/m}^2$**
- **Az energia a Naptól mért távolság négyzetével csökken**
- **A környezeti hatásoknak leginkább kitett eszköz**
  - UV sugárzás, lágy röntgen sugárzás (Nap fler)
  - Elektronok és protonok becsapódása
  - Atomos oxigén
  - Termikus ciklusok naponta akár többször ( $-100/+100^\circ\text{C}$ )
  - Különbéféle méretű meteoritok

# Napelemek az űrben

- **Si** (1958)
  - Vanguard-1
  - Rosetta és Philae
  - Hubble SA1&2 (SM1)
- **GaAs** (1982)
  - Hubble SA3 (SM3B)
- **DJ** (1997)
- **TJ** (2001)
  - MASAT-1



# Napelemek tulajdonságai

- **Egyrétegű cellák**

- Monokristályos Si  $U_{OC} \sim 0,6V$ ;  $\eta \sim 17\%$  (25%)
- (GaAs)

- **Többrétegű cellák MJ**

Különbéféle spektrálisan eltérő érzékenységű anyagok.

- (Kétrétegű (DJ) GaInP-GaAs)
- Háromrétegű (TJ) GaInP-GaAs-Ge  $U_{OC} \sim 2,5V$ ;  
 $\eta \sim 30\%$  (37%)

- **A jövő napelem cellái 4J, 5J, 6J**

- AlGaInP, GaInP, AlGaInAs, GaInAs, GaInNAs, Ge
- jobb EOL, magasabb hatásfok

# Elektrokémiai energiatárolók

- **Elemek**

rövid missziók, átmeneti és kritikus állapotok, fellövés, landing, átmenetileg a napelemtábla nyitásáig, RTC, asztronauták

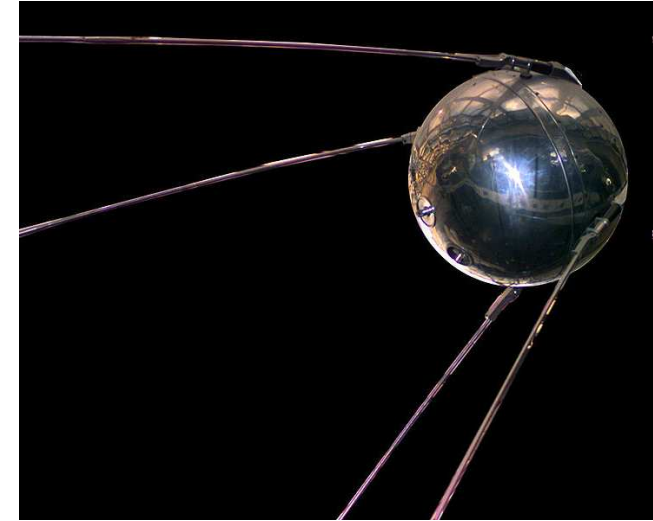
- **Akkumulátorok**

napelemes rendszerekben

- **Üzemanyagcellák**

emberes programokban

# Elemek az űrben



- **Ag-Zn**

Sputnik-1

CCCP, 1957

- **Li-SO<sub>2</sub>**

Galileo Probe

NASA, 1989, Jupiter légkör

Stardust

NASA, 1999, visszatérés a Földre

Opportunity, Spirit

NASA, 2003, landolás a Marson

- **Li-SOCl<sub>2</sub>** (lítium-tionil-klorid)

Rosetta / Philae ESA, 2004, üstökös felszíni működés

MASAT-1

2012, RTC tápellátás



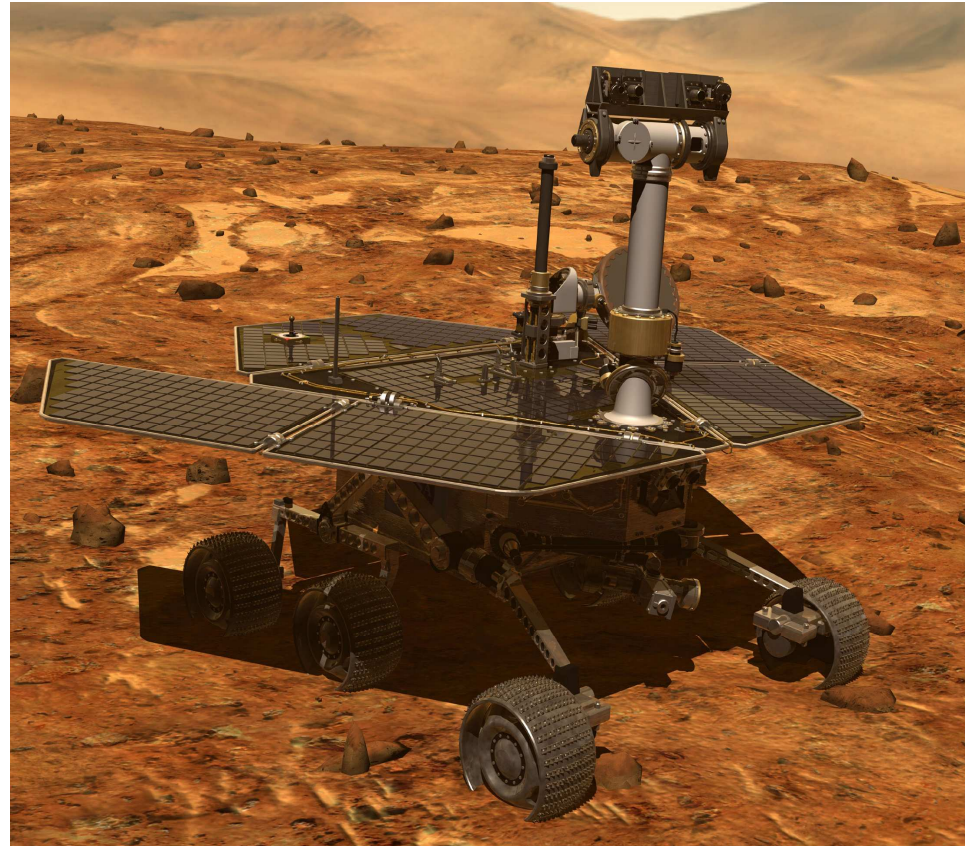
# Főbb elem típusok és jellemzőik

		AgZn	LiSO <sub>2</sub>	LiSOCl <sub>2</sub>
Energiasűrűség	[Wh/kg]	130	220	275
Térfogati energiasűrűség	[Wh/dm <sup>3</sup> ]	360	300	340
Működési hőmérséklet	[C°]	0 - 40	-50 - 70	-40 - 70
Önkisülés	[%/év]	60	<1	<2,5
Névleges cellafeszültség	[V]	1,6	3,0	3,6
Áramterhelhetőség		nagy	nagy	kicsi

Szerkezeti felépítésük: cella, sztring, blokk s/p, modul

# Akkumulátorok az űrben

- **Ni-Cd** (1966)
  - ISS/Orosz
- **Ni-H<sub>2</sub>** (1977)
  - ISS/USA
  - Hubble
- **Li-ion** (2003)
  - Rosetta/Philae
  - Mars Exploration Rovers (Opportunity, Spirit)
  - MASAT-1

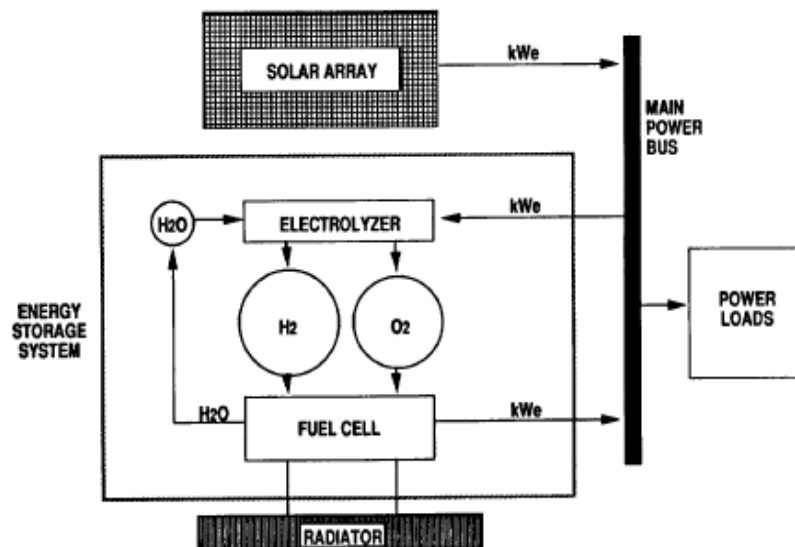


# Főbb akkumulátor típusok és jellemzőik

		NiCd	NiH <sub>2</sub>	Li-ion
Energiasűrűség	[Wh/kg]	30	60	165
Térfogati energiasűrűség	[Wh/dm <sup>3</sup> ]	100	50	>250
Működési hőmérséklet	[C°]	0 - 40	-20 - 30	10 - 30
Önkisülés	[%/nap]	0,5	5	0,3
Névleges cellafeszültség	[V]	1,25	3,0	3,6
Életciklus 50% DOD esetén	[ciklus]	>1000	>1000	>1000
Töltési hatásfok	[%]	72	70	96
Memória effektus		igen	igen	nem
Töltési mód		CC	CC	CC/CV+BAL.
Cella töltöttségének monitorozása		-	nyomás	feszültség
Szerkezeti felépítésük: cella, sztring, blokk s/p, modul				

# Üzemanyag cellák az űrben

- **Apollo program** 1966-1978, 20W/kg
- **Space Shuttle** 1981- , 100W/kg,  
 $\eta > 70\%$ ,  $P_{\max} = 16\text{kW}$
- **A jövő:**
  - Regeneratív, továbbfejlesztett PEM 275W/kg



# Üzemanyag cellák tulajdonságai

- **Emberes programokban ~10 napig**
- **Tulajdonságai**
  - Nagy teljesítmény kW
  - Víztermelés: ~0,5l/kWh
  - Cellafeszültség: ~0,8V
  - Üzemi hőmérséklet: 80-175°C
  - Jó hatásfok
  - Különbéféle típusok (PEM, alkáli, ...)

# Elektromechanikus energiatárolás

## Flywheel Energy Storage System (FEES)

### NASA FEES

- Fordulatszám: 53 000 rpm
- Tárolt energia: 2,8 kWh
- 2-4x jobb a teljesítménysűrűsége (W/kg) mint az akkumulátoroké
- A kinetikus veszteségek miatt csak néhány órára tárol

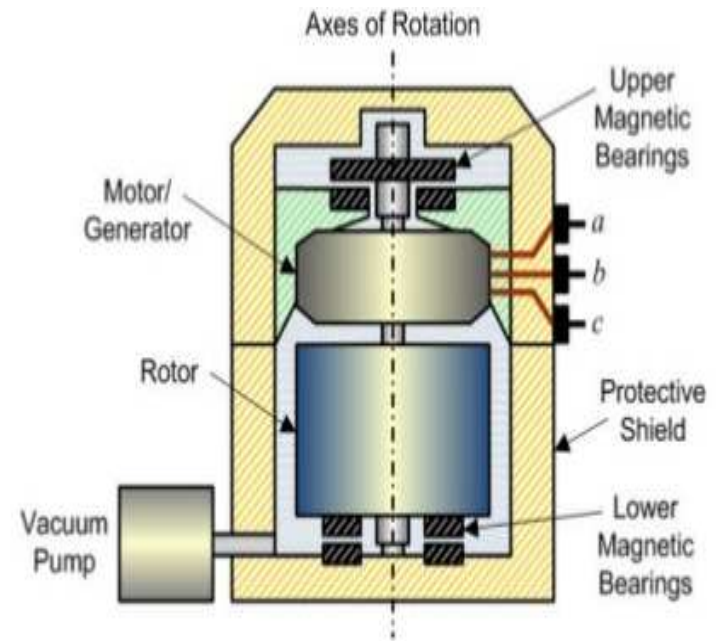
ISS LEO pályán kering, 92 perc orbit 36 perc eclipse.

A szervizperiódusa 3x hosszabb mint a NiH<sub>2</sub> akkumulátoré.

2015.10.28.

Űreszközök energiaforrásai

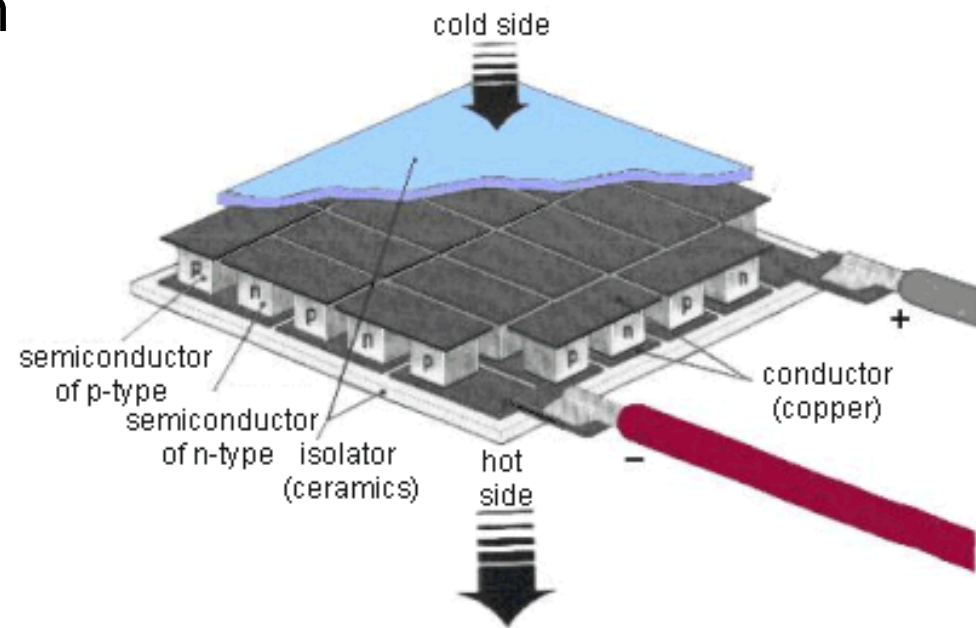
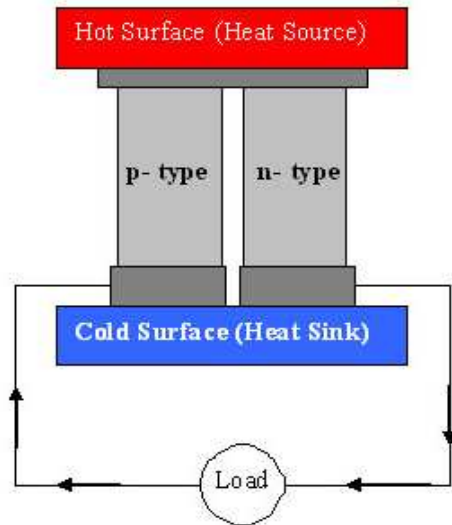
14/25



# Termoelektromos generátorok

Ahol a napelemes energiatermelés nem megoldható

Seebeck effektus, Peltier elem



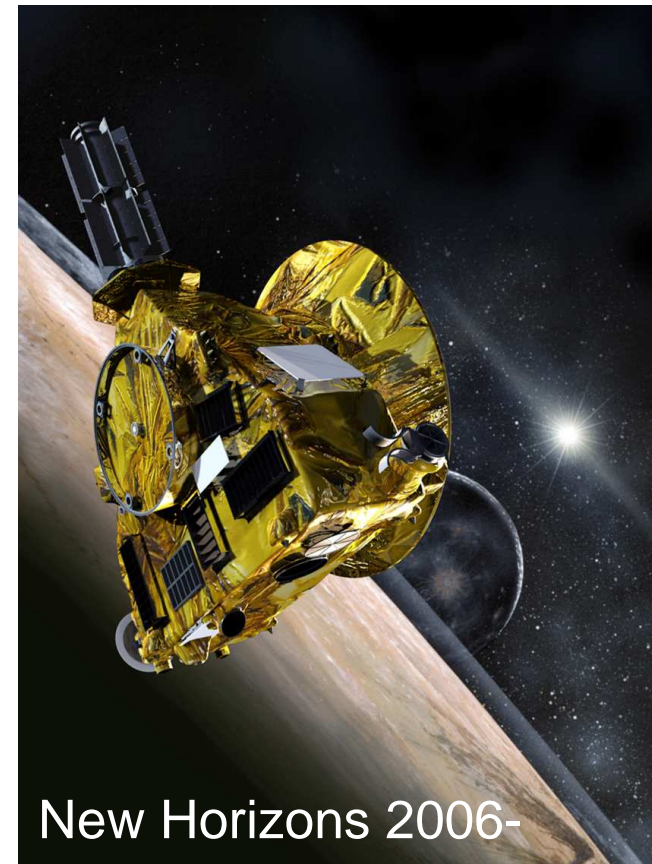
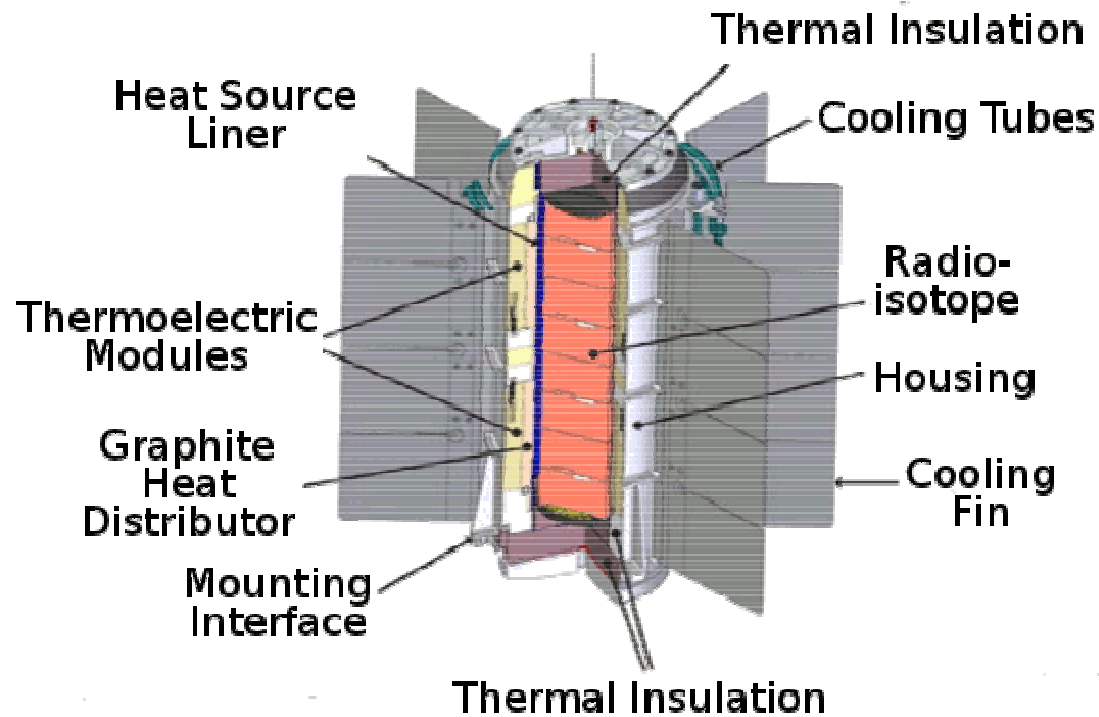
- Termoelektromos akkumulátor (légköri szonda)
- Radioizotópos Termoelektromos Generátor (RTG)
  - Külső Naprendszer kutatás (5CsE fölött) Voyager-1,-2 (1977, 420W)
  - Curiosity Mars rover

# Az RTG-k felépítése

Fűtőelem:  $^{238}\text{PuO}_2$

Pu-238 (felezési idő 87,7 év, alfa bomlással 560W/kg hő)

Termoelemek: Si-Ge





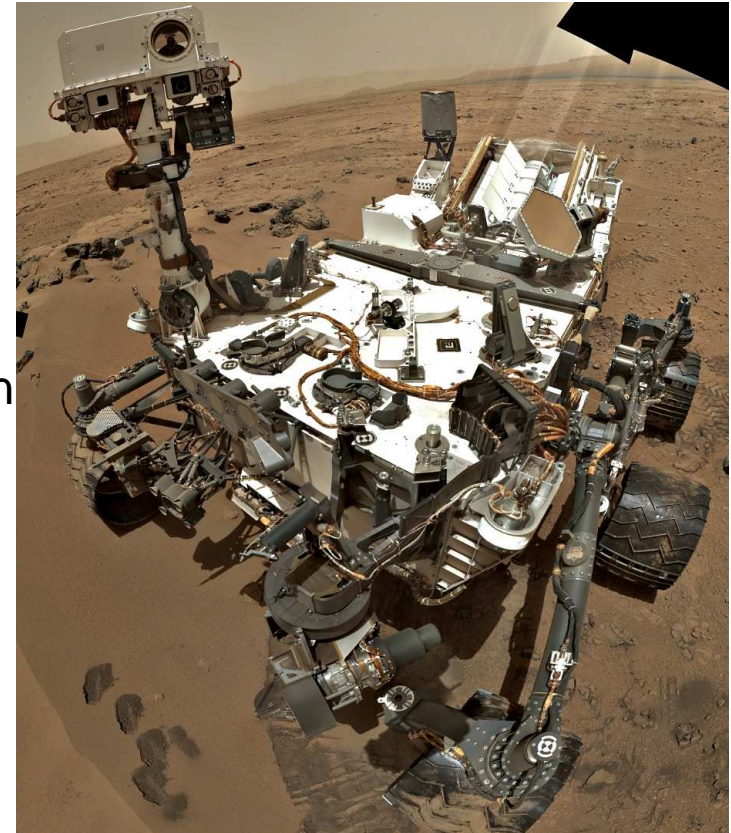
# Az RTG-k tulajdonságai

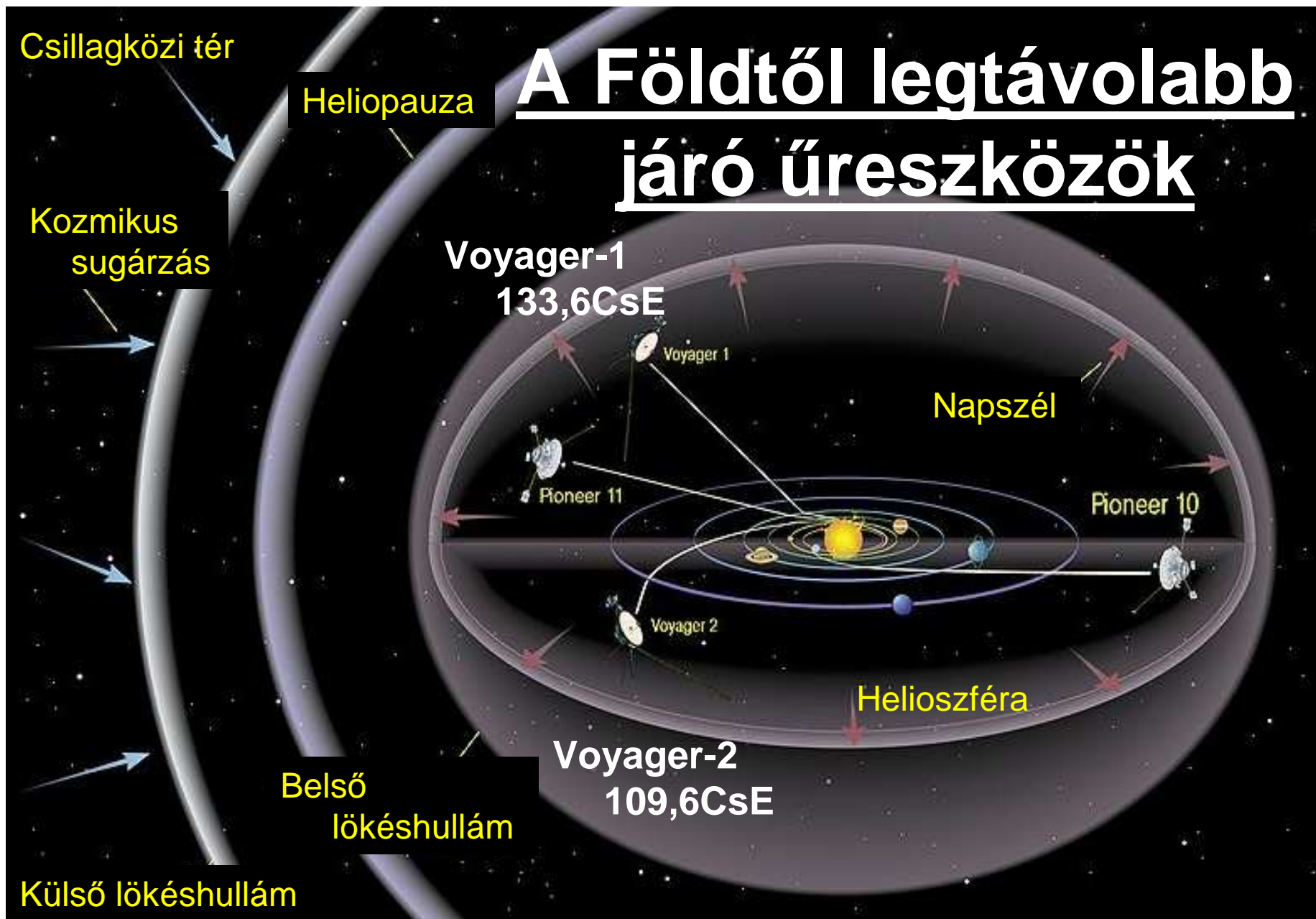
## Előnyök:

- Rövid távon közel állandó kimenő teljesítmény
- Jól tűri a hideg környezetet és a sugárzást
- Hosszabb az élettartama a napelemekétől
- Nagy teljesítménysűrűség a kW-os tartományban
- Nincs benne mozgó alkatrész illetve folyadék
- Gondozásmentes
- Nagy mechanikai stabilitás

## Hátrányok:

- A nukleáris folyamat nem kapcsolható ki és be
- Folyamatos hűtést és árnyékolást igényel (neutron, gamma)
- Az átalakítási hatásfok alacsony ~5%
- A radioizotóp ritka és nagyon drága

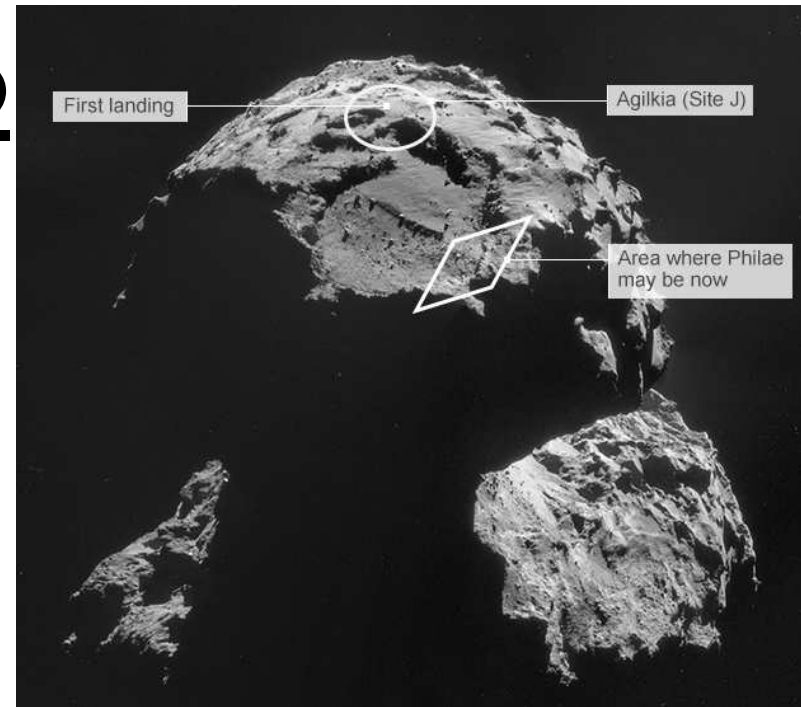
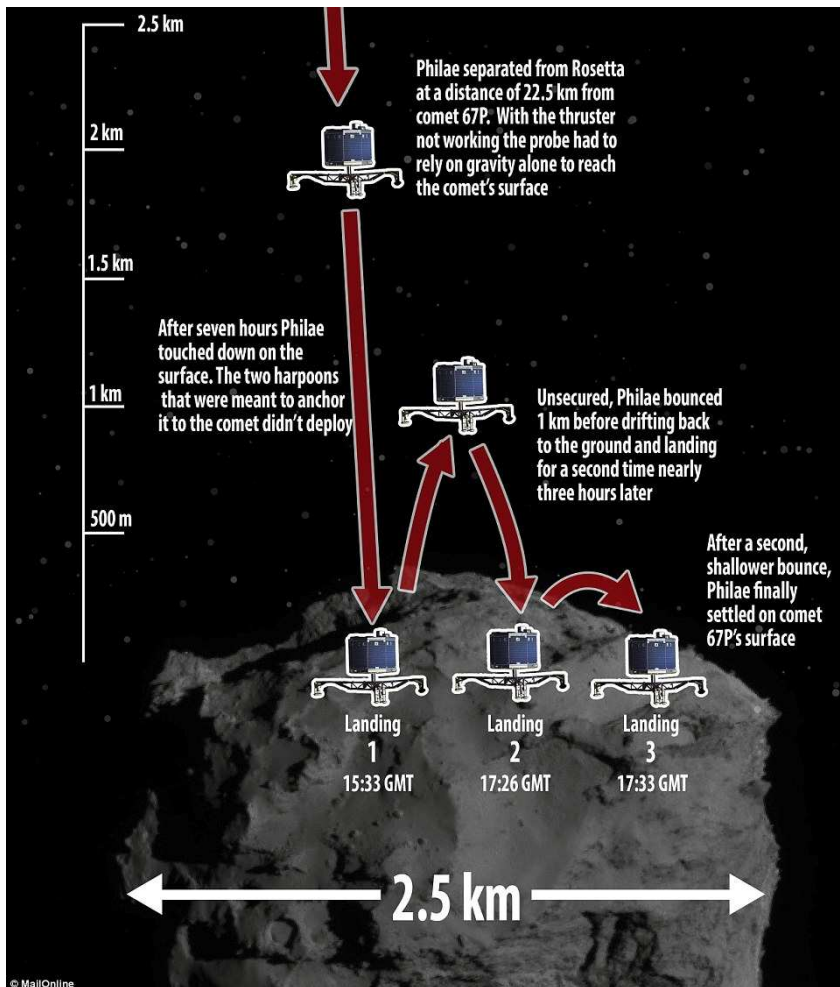




# Kapacitív energiatárolás

- Rövid ideig tartó nagyobb teljesítménycsúcsok
- Távoli missziók, pyro eszközök és radartechnika
- **Buszkapacitás**
  - A fedélzeti energiasín pufferelése
- **Szuper- vagy ultrakapacitások**
  - A legnagyobb teljesítménysűrűség (60 kW/kg)
  - Széles működési hőmérséklettartomány
  - Nagy áramcsúcsok
  - Magas ciklusszám

# A ROSETTA misszió és a PHILAE

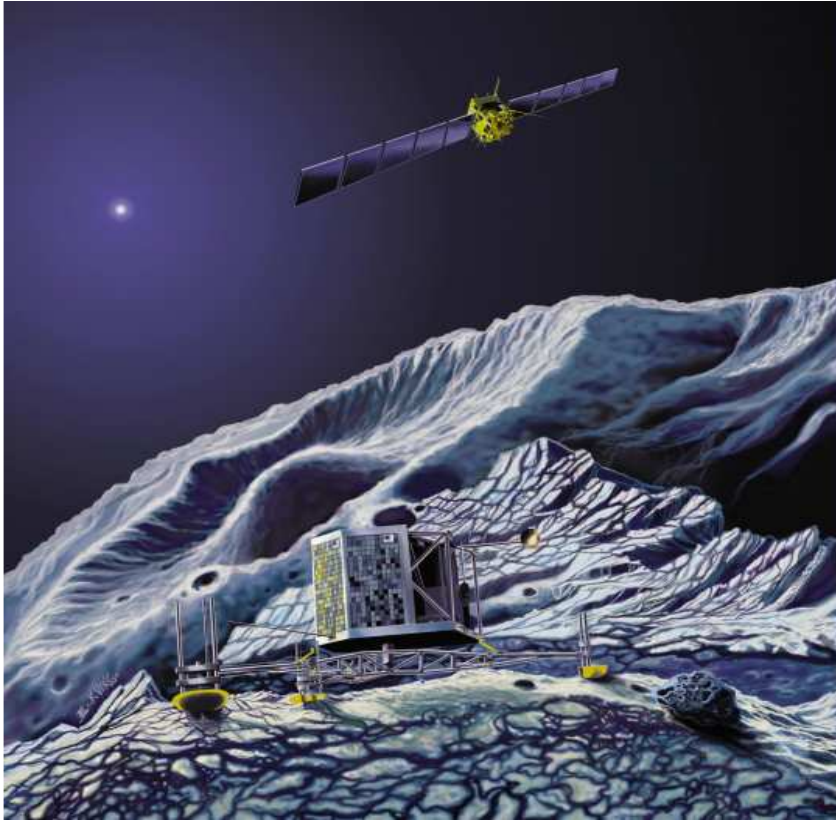


2015.10.28.

Űreszközök energiaforrásai

20/25

# A PHILAE energiaforrásai



## **Napelem**

6db Body-mounted tábla  $\Sigma 2,2\text{m}^2$ ,  
3x3cm-es Si Hi-ETA LILT cellák  
10W@3CsE

## **Akkumulátor**

Li-ion, 7s2p, 140Wh

## **Elem**

LSH20 (SAFT)

LiSOCl<sub>2</sub>, 8s4p, 26V 28Ah, 3kg

## **ROSETTA**

2x5db nyitható tábla  $\Sigma 61,5\text{m}^2$

Si Hi-ETA LILT cellák,

400 W @ 5.25 CsE (-130 °C),

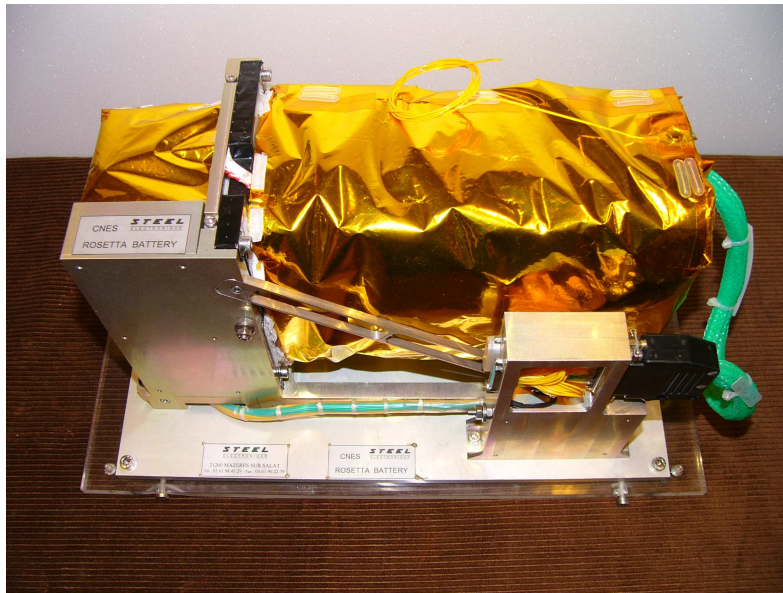
7.1 kW BOL @ 1 CsE

# A ROSETTA napelemtáblái

Condition			-80°C @ 0.11SC		+20°C @ 0.11SC
Panels	Ns	Np	Vmax	Pmax	Vmax
W-1+B-1	127	2	84.2 V	6.7 W	51.7 V
W-2	81	2	53.4 V	4.3 W	32.7 V
W-3	81	2	53.4 V	4.3 W	32.7V
W-4	81	2	53.4 V	4.3 W	32.7 V
W-5+B2	127	2	84.2V	6.7 W	51.7V
Lid	115	2	76.2 V	6.1W	46.7 V
			Total	32.4 W	



# A PHILAE akkumulátor és elem egysége



2015.10.28.

Űreszközök energiaforrásai

23/25

# Ellenőrző kérdések:

1. Milyen energiaforrásokat alkalmaznak az űreszközök fedélzetén?
2. Milyen jellemzőket kell figyelembe venni a fedélzeti energiaforrások kiválasztása során?
3. Milyen napelem cellákat használnak az űrben és milyen tulajdonsággal rendelkeznek ezek?
4. Milyen feladatokra és milyen típusú elemeket használnak az űrben?
5. Milyen rendszerekben és milyen típusú akkumulátorokat használnak az űrben?
6. Milyen főbb jellemzői vannak az üzemanyagcelláknak és hol használják ezeket?
7. Hogyan működik egy FESS, milyen főbb jellemzői vannak?
8. Mi az RTG működési elve, főbb jellemzői és hol használják?
9. Milyen főbb jellemzői vannak a szuperkapacitásoknak és mire használható?
10. Milyen típusú energiaforrásokkal rendelkezik a Philae?



# Köszönöm a figyelmüket!

