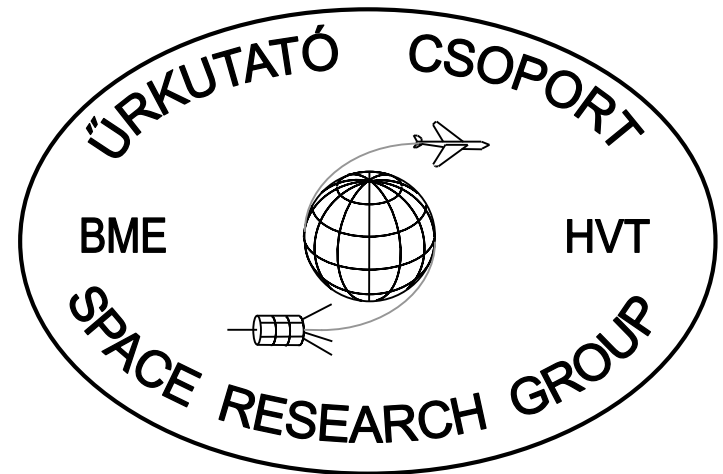
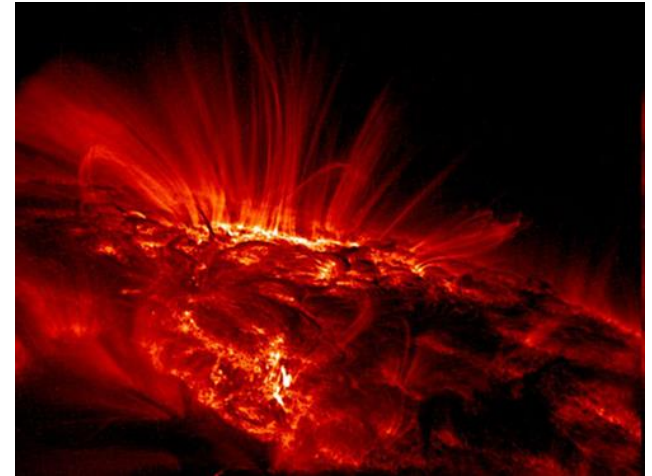
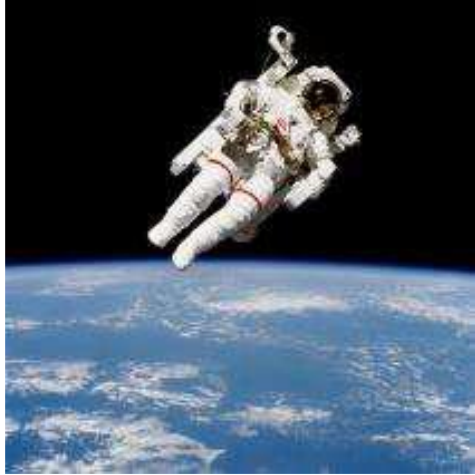


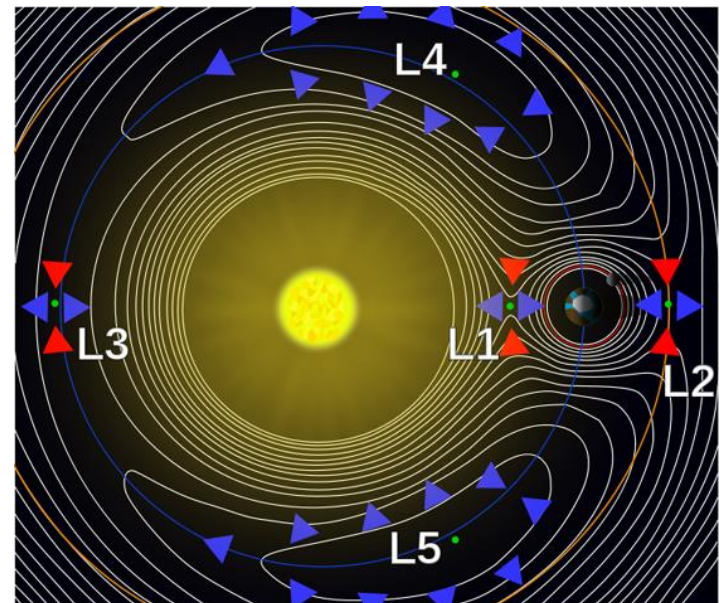
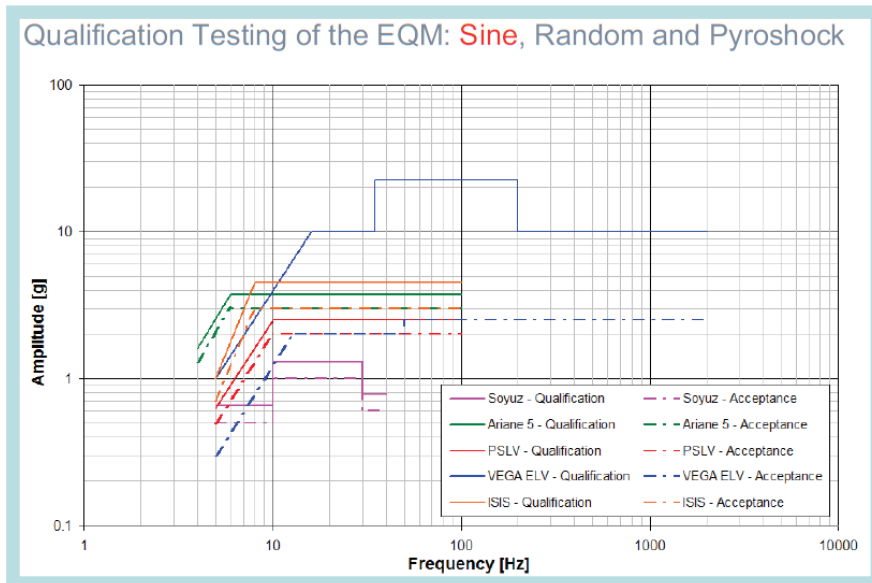
# Űrkörnyezet



Szimler András  
BME HVT, Űrtechnika Laboratórium V1/105

# Gravitációs tér

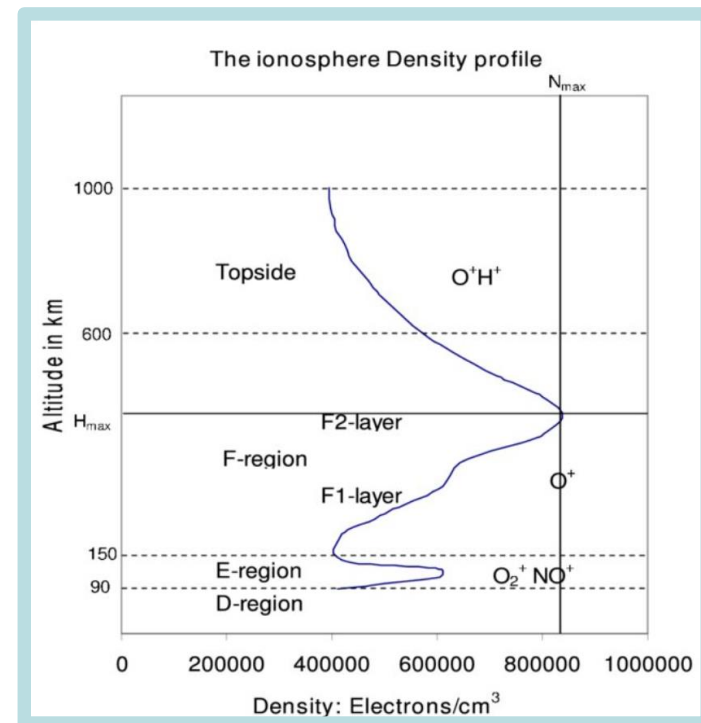
- ❑ Kepler törvények, műholdpályák
- ❑ Hintamanőver (Rosetta, Voyager)
- ❑ Lagrange pontok
  
- ❑ Startál jelentkező vibráció
- ❑ Meteoritok, űrszemét



# Atmoszférikus hatások

- ❑ Légkörrel rendelkező bolygók közelében
- ❑ LEO pályán (300-1500km)
- ❑ Légkör fékező hatása (ISS 100-200 m/nap)
- ❑ Atomos oxigén: agresszív és erősen erodál
- ❑ Elektronok

Altitude (km)	Pressure (torr)	Kinetic temperature (°K)	Gaseous density (p/cm <sup>-3</sup> )	Composition
Sea level	760	~300	$2.5 \times 10^{19}$	78% N <sub>2</sub> , 21% O <sub>2</sub> , 1% A
30	10	—	$4 \times 10^{17}$	N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , A
200	10 <sup>-6</sup>	~1200	10 <sup>10</sup>	N <sub>2</sub> , O, O <sub>2</sub> , O <sup>+</sup>
800	10 <sup>-9</sup>	~1300	10 <sup>6</sup>	O, He, O <sup>+</sup> , H
6500	10 <sup>-13</sup>	—	10 <sup>3</sup>	H <sup>+</sup> , H, He <sup>+</sup>
22,000	< 10 <sup>-13</sup>	—	10 <sup>1</sup> –10 <sup>2</sup>	85% H <sup>+</sup> , 15% HE <sup>2+</sup>

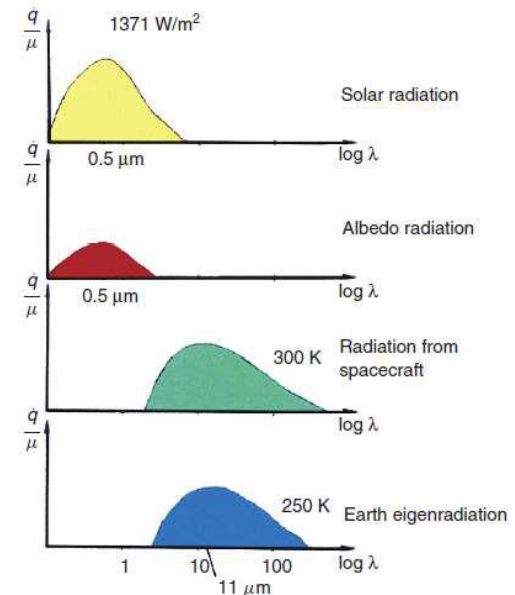
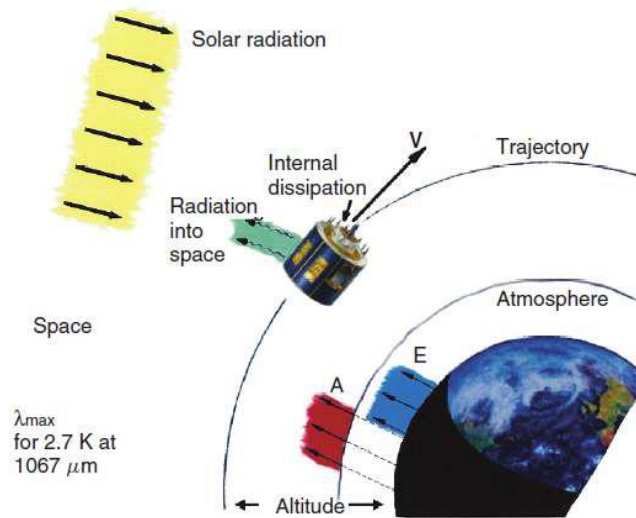
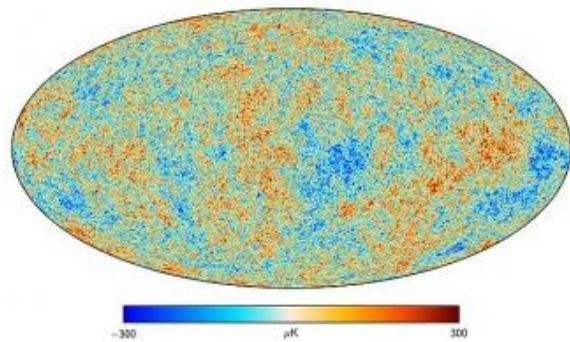


# Vákuum

- Szublimáció / kipárolgás
- A konvekciós hűlés hiánya
- Fémek hideghegedése
- Anyagok viselkedése megváltozhat

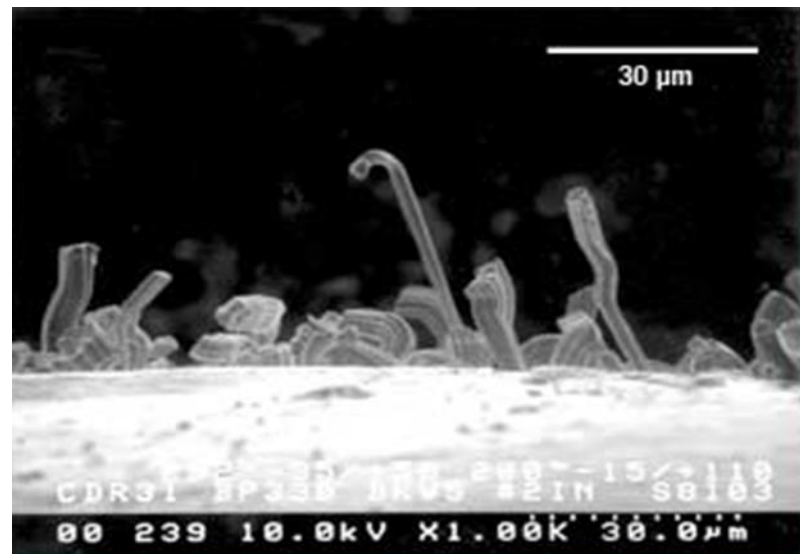
# Hőmérséklet

- ❑ A világűr átlagos hőmérséklete 2,73K (CMBR)
- ❑ Külső felület hőmérséklete ISS  $-157^{\circ}$   $+121^{\circ}$  C
- ❑ Átlagos belső hőmérséklet  $-40^{\circ}$   $+80^{\circ}$  C
  
- ❑ Hőtágulás
- ❑ Ón-tűkristály (whisker) képződés



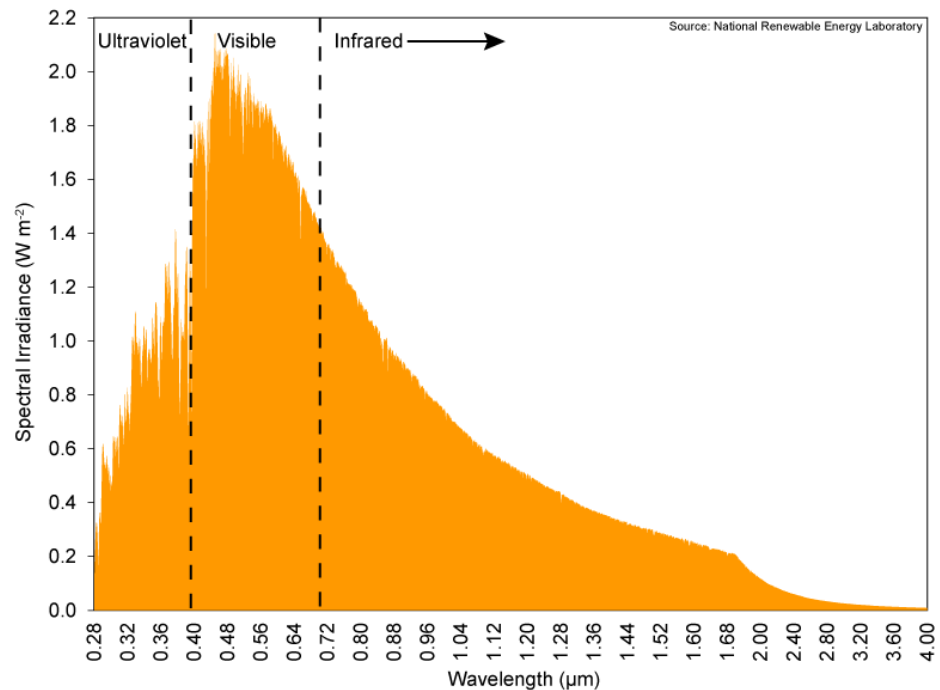
# Őn-tűkristály képződés

- ❑ Főleg Sn de más fémek is hajlamosak rá
- ❑  $\Delta T$ ,  $T$  és a hőciklusok számától függ  
( $30\mu\text{m} - 9 \text{ mm/év } \varnothing 0,006-10\mu\text{m}$ )
- ❑ Átmeneti vagy tartós rövidzár, vákuumban plazma csatorna



# Elektromágneses sugárzás

- ❑ A Napból érkező sugárzás dominál
  - ~1366 W/m<sup>2</sup>, 7% UV+röntgen, 47% látható, 46% infravörös
- ❑ Energiatermelés 5CSE
- ❑ UV anyagszerkezet változás, elektron leválasztás
  
- ❑ CMBR 160,4 GHz



# Kozmikus sugárzás

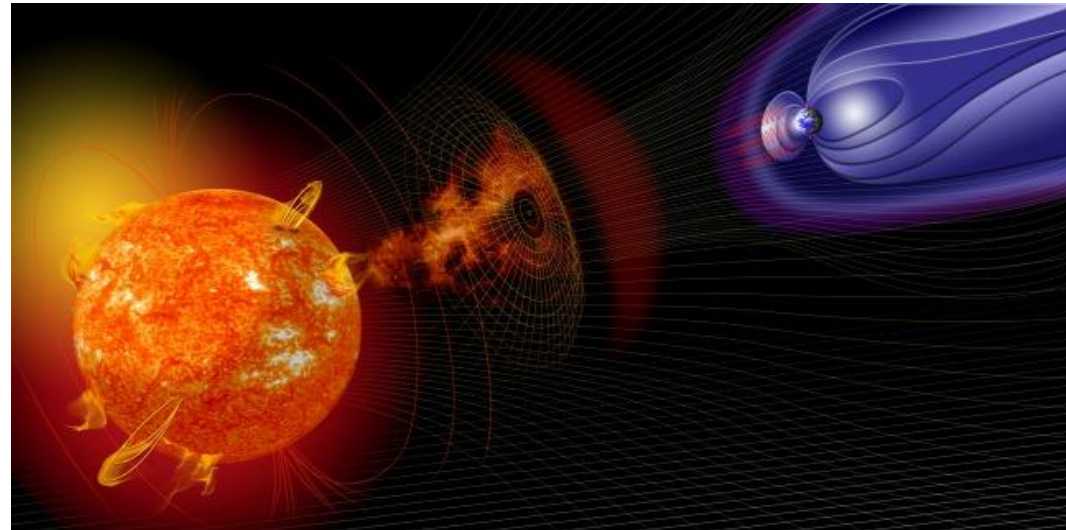
## ☐ Naperedetű kozmikus sugárzás

- Napszél ( $10^6$  tonna/s hidrogén)
- Naptevékenység  
11 éves ciklusok, flare, korona, ...

## ☐ Galaktikus kozmikus sugárzás

## ☐ Összetétele

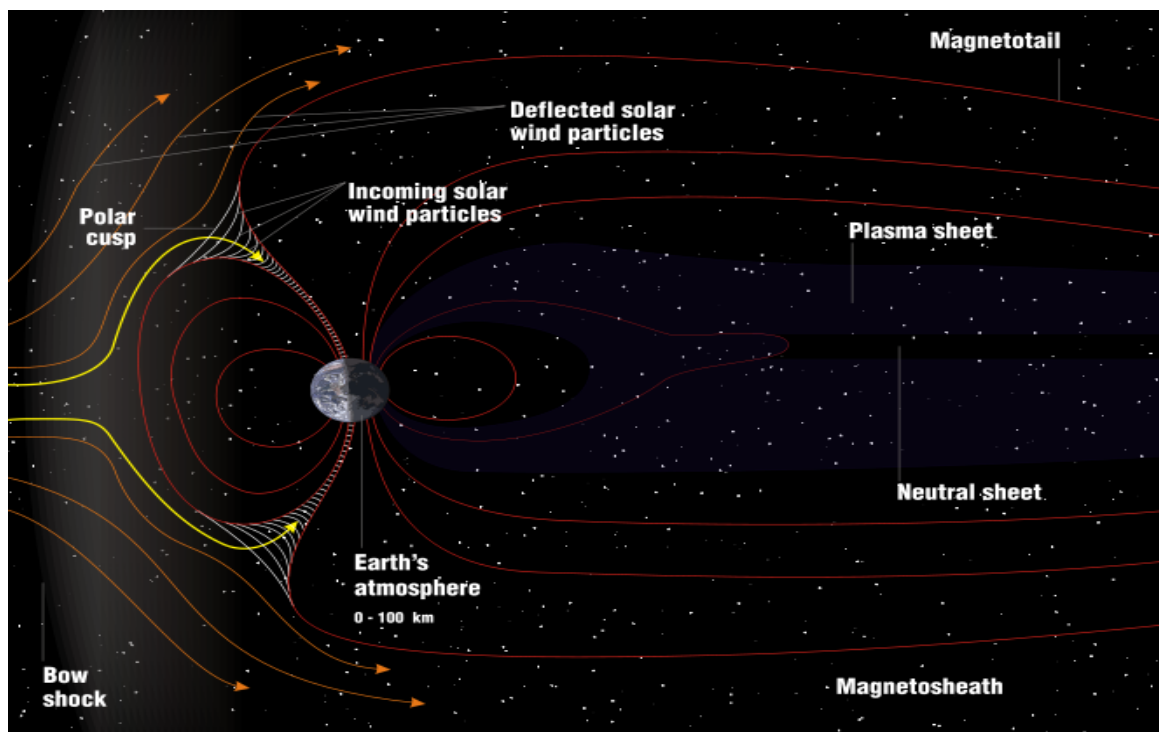
- Primer sugárzás
  - 90% proton
  - 9%  $\alpha$  ( $\text{He}^{2+}$ )
  - 1% elektron és ionok
- Szekunder sugárzás
  - gamma és röntgen
  - neutronok



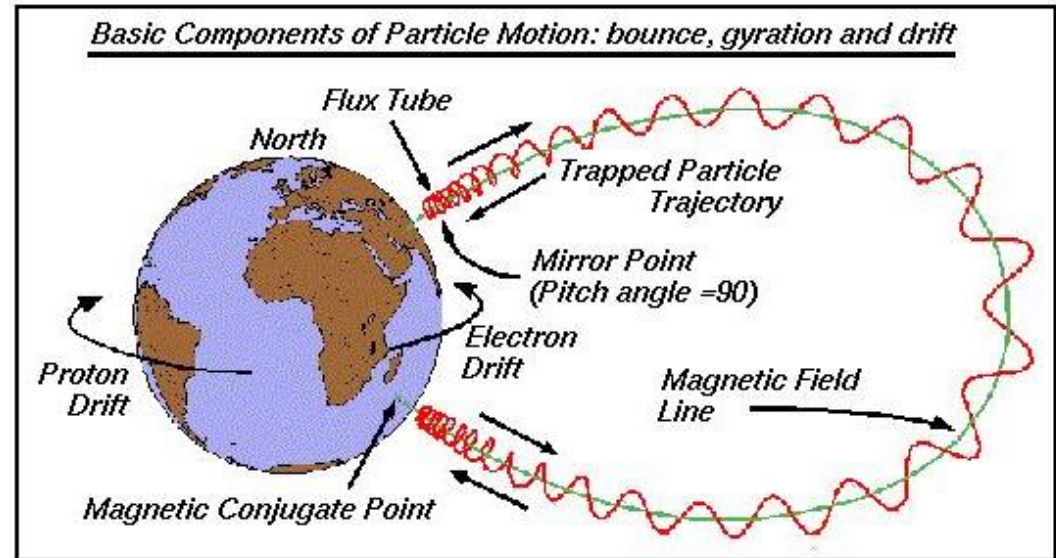
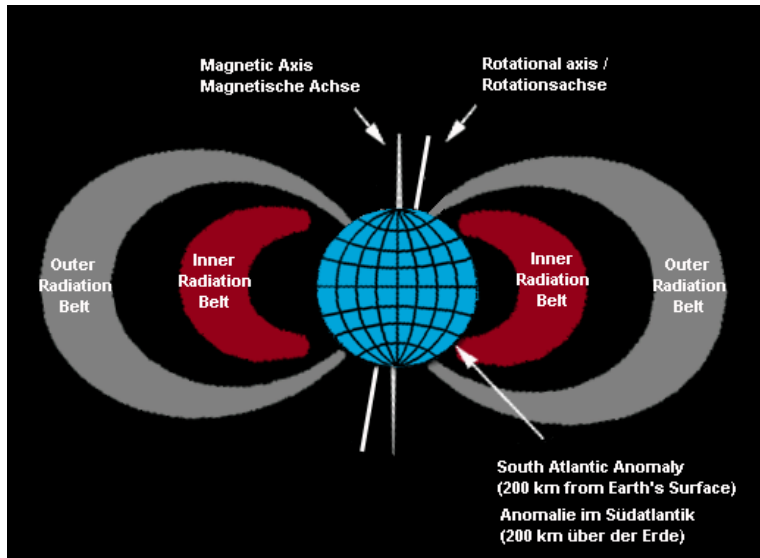


# A Föld magnetoszférája

- ❑ Védőpajzs a sugárzás ellen
- ❑ Pozicionálás lehetősége

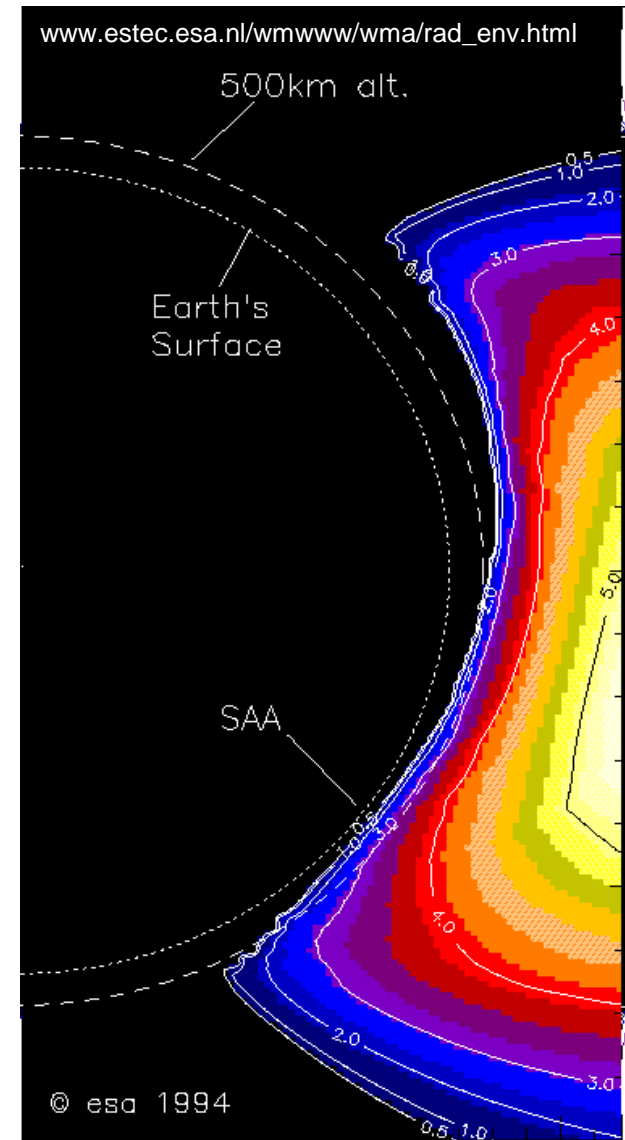
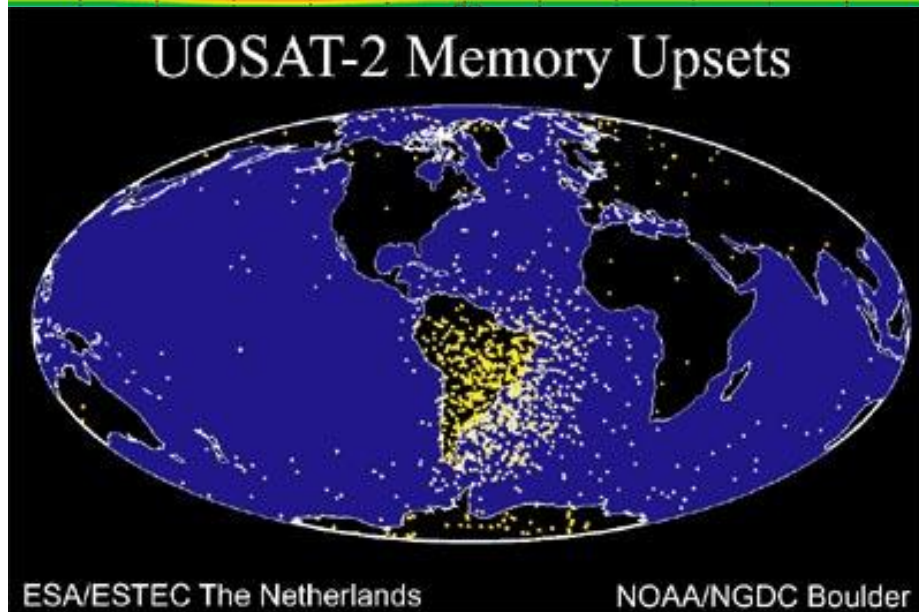
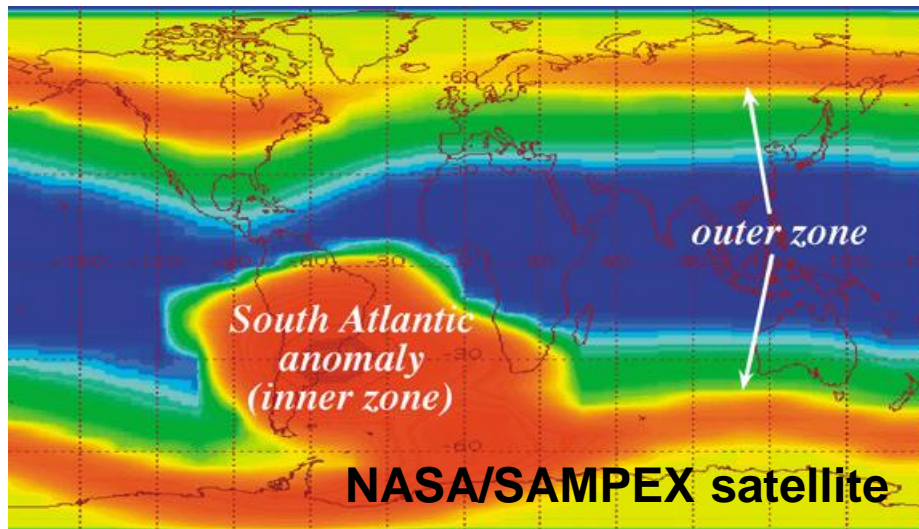


# A Van Allen övek

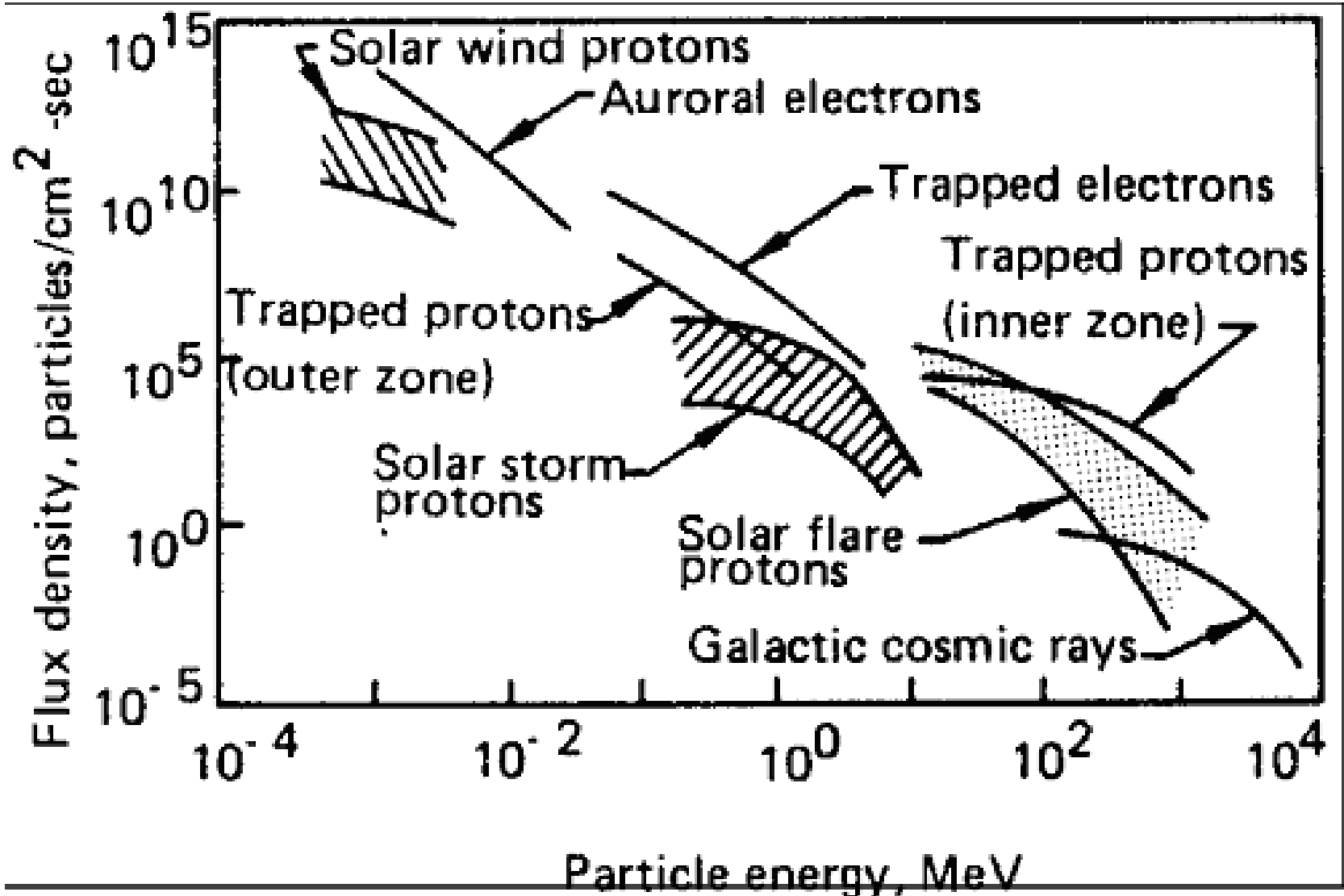


- ❑ Explorer-1 1953, Explorer-3
- ❑ Külső öv: főleg elektronok 0,1-10MeV
- ❑ Belső öv: főleg protonok 5-400 MeV

# A Dél-Atlanti anomália (SAA)



# A sugárzási energia eloszlása



# A sugárzás öregítő hatásai

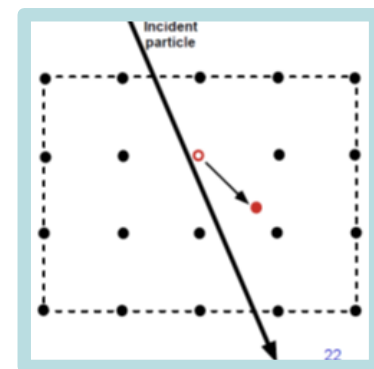
Hatásuk az idővel egyre növekszik (kumulatív)

## ☐ Ionizáció

- Elektronok, protonok,  $\alpha$ , röntgen és gamma sugárzás elektron/lyuk párokat generálnak a szigetelő anyagokban
- TID totál ionizáló dózis [*rad (anyag)*]  $1\text{ rad} = 6,24 \times 10^7 \text{ MeV/g}$
- Sugárzási ráta rad/s, rad/év
- MOS tranzisztorok bekapcsolási küszöbfeszültsége eltolódik, késleltetések megnőnek

## ☐ Rácsszerkezet rongálódás

- protonok, neutronok, 150keV feletti elektronok hibákat generálnak a félvezető anyag rácsszerkezetében
- Bipoláris tranzisztorok szivárgása nő, áramerősítése csökken



# A sugárzás tranziens hatásai

## Egyszeri hatások, Single event effects (SEE)

LET linear energy transfer  $[(\text{MeV}/\text{cm})/(\text{mg}/\text{cm}^3), \text{MeVcm}^2/\text{mg}]$

CMOS, teljesítmény BJT, MOSFET, lineáris IC, optocsatoló, optikai detektor

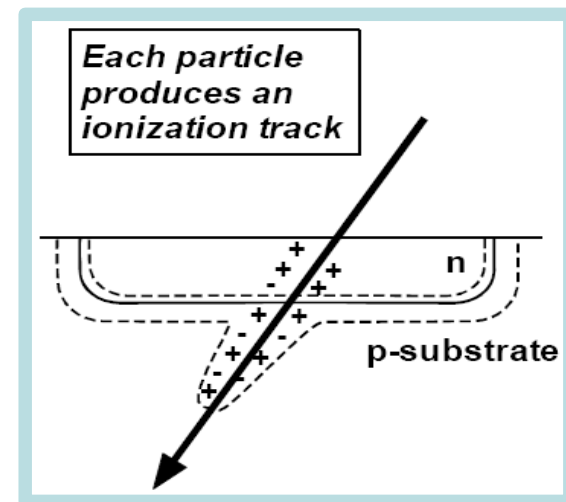
- nehéz ionok, protonok által keltett hatások

### ☐ Átmeneti hatások

- SEU upset                      digitális áramkörök
- SET transient                 analóg ák.

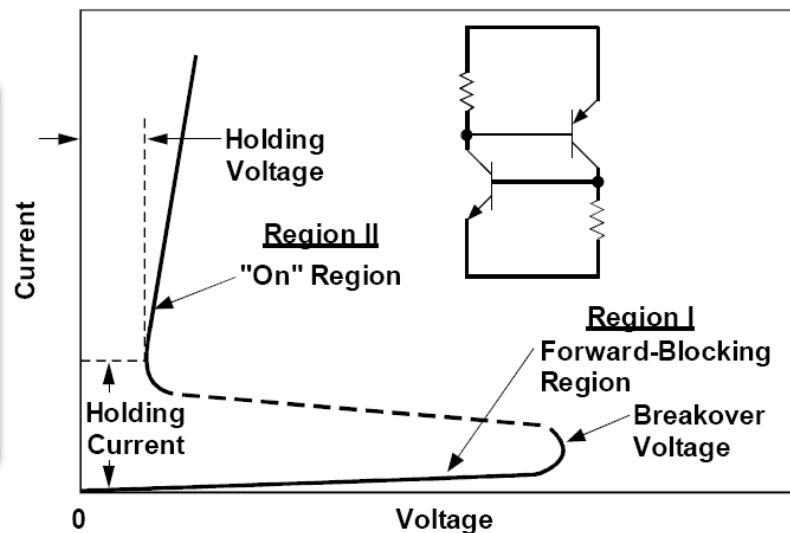
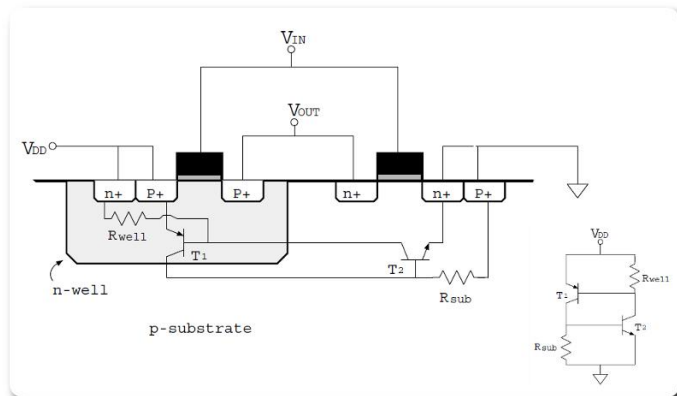
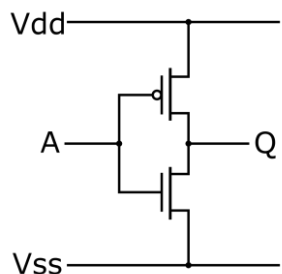
### ☐ Nem visszaforduló hatások

- SEL latch-up                 CMOS ák.
- SEB burn-out
  - teljesítmény tranzisztorok, egyes lineáris áramkörök
- SEGR gate rupture
  - teljesítmény FET-ek, programozható eszközök



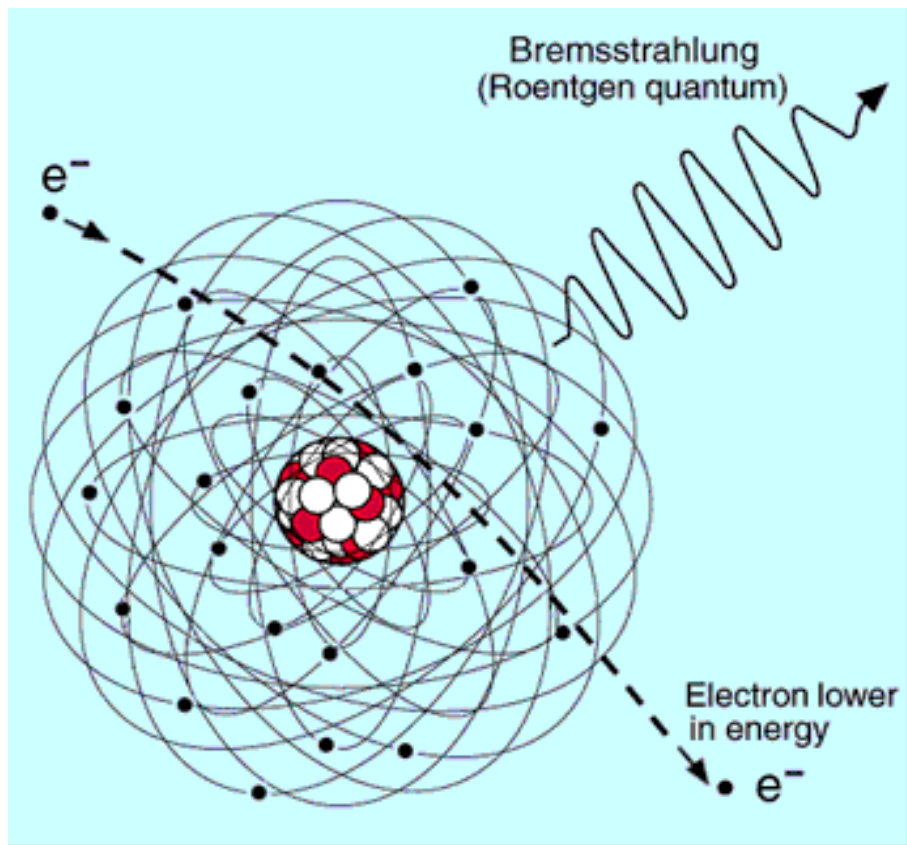
# Latch-up

- ❑ A CMOS áramkörök gyártástechnológiájából ered
- ❑ Önfenntartó folyamat, túlhevülést és átégést okozhat
- ❑ Csak a tápfeszültség kikapcsolásával szűnik meg
- ❑ Latch-up mentes gyártástechnológiák (drága, ritka)



# Szekunder sugárzások

- ❑ Nehéz ionok és protonok ütköznek az atommaggal
- ❑ Bremsstrahlung (fékező sugárzás)  
röntgen sugárzás  $h\nu = E_1 - E_2$  5-100keV

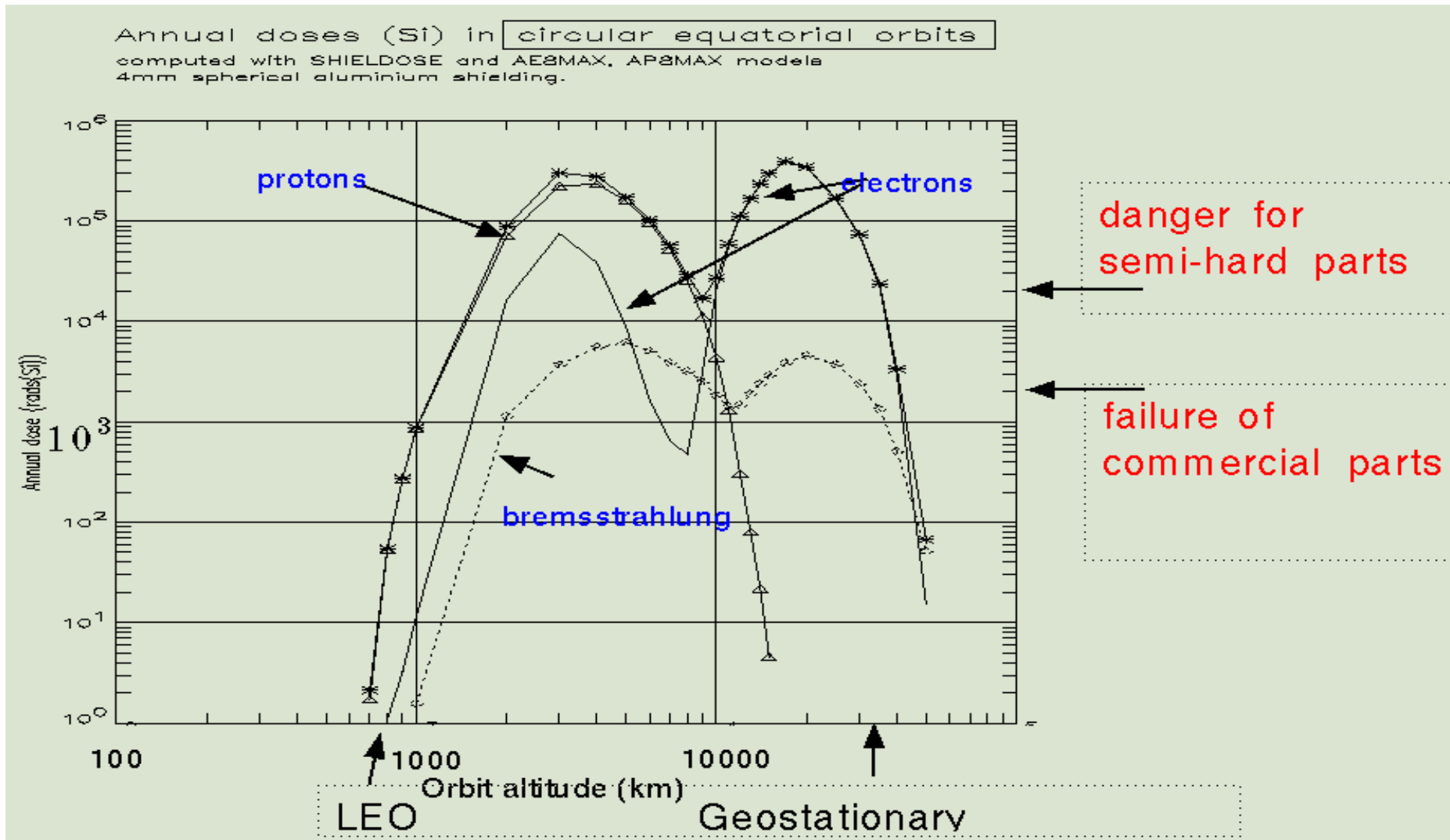




# Az űreszközök sugárterhelése

- Föld körüli orbit
  - Magasság, Inklináció, SAA
    - LEO 300-1400km ~ 2krad/év SAA
    - MEO 1400-4000km ~ 100krad/év belső Van Allen
    - GEO 36000km ~ 10krad/év külső Van Allen
- Távoli missziók
  - MARS ~ 5krad/év (proton)
  - Óriásbolygók ~ 0,1-100Mrad/év (proton, elektron)
- Dózis számítása szimulációs modellekkel  
(SPENVIS, SHILDOSE, OMERE)

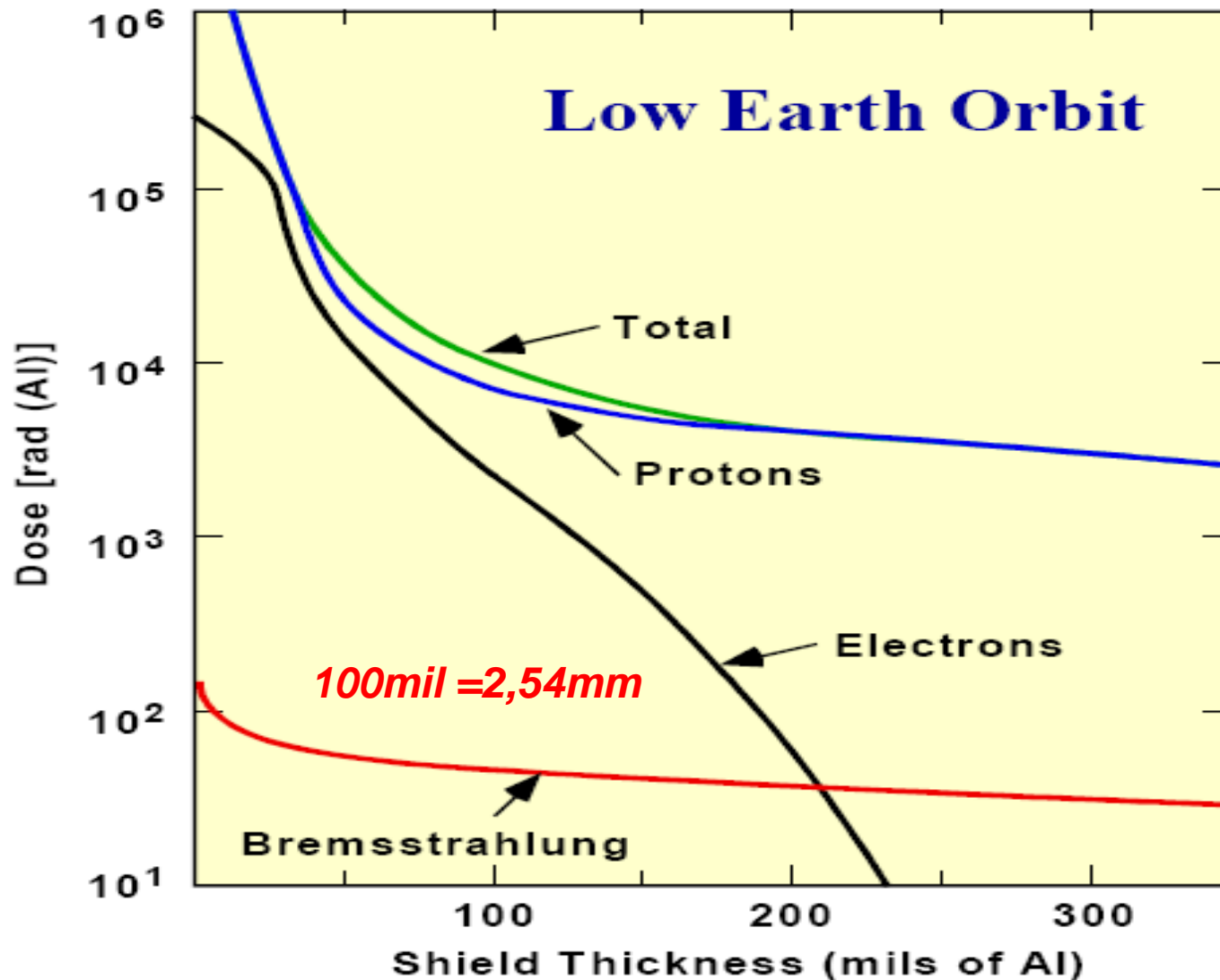
# A dózis pályafüggése



# Árnyékolás

- Al  $2,7 \text{ g/cm}^3$  *elektronok, protonok  $<30\text{MeV}$*
- Ta  $16,6 \text{ g/cm}^3$  *protonok, röntgen, gamma*
  - szekunder sugárzás keletkezhet
- Magas hidrogéntartalmú anyagok *neutronok*
  - Polietilén
  - Kompozit anyagok
- Pozícionálás
- Aktív árnyékolás

# Árnyékolás alumíniummal



# Kapcsolástechnika

- Egy pont meghibásodásra védett rendszer
  - alkatrész szintű tartalékolás
  - egység szintű tartalékolás (main / redundant)
- Latch-up limiterek
  - Soros ellenállás a tápfeszültség körében
  - Fold-back áramlimiter
  - Kikapcsolódó áramlimiter
- Watch-dog timer áramkörök
- Hibajavító kódolás

# Alkatrész választás

- Kevésbé érzékeny eszközök használata (BJT, relé, ...)
- Optocsatolók használata körültekintéssel
- CMOS alkatrészek lehetőség szerinti kerülése
  - 54HC és 74HC sorozat elfogadható
  - Latch-up mentes áramkörök (technológia)
- RAD-TOLERANT, -HARDENED, -HARD alkatrészek
- SEE-HARD alkatrészek
- Tesztelt alkatrészek (pl. NASA RADATA)
- Magasabb határadoatok alkalmazása (derating)  $U_{GATE}$ ,  $U_{DS}$ , ...

# Sugázásálló technológiák

- Szubsztrát szigetelő anyagból
  - SOI Silicon on Insulator
  - SOS Silicon on Sapphire
- Nagyobb tiltott sávval rendelkező félvezetők
  - SiC Silicon Carbide
  - GaN Gallium Nitride
- Bór-11 alkalmazása a Bór-foszfor-szilikát üveg felület passziválásnál

# Kritikus alkatrészek bevizsgálása

## ☐ Sugárforrások

- Nem részecske sugárzás
  - Gamma  $^{60}\text{Co}$  izotóp TID tesztelés
  - Röntgen
- Részecske sugárzás
  - Proton Kombinált TID és rácsszerkezet károsodás teszt Debreceni ATOMKI (ciklotron 2,5-18 MeV)
  - Elektron
  - Ionok SEE tesztelés Au-197, Br-79, ...

## ☐ Gyártó, gyártási technológia függés

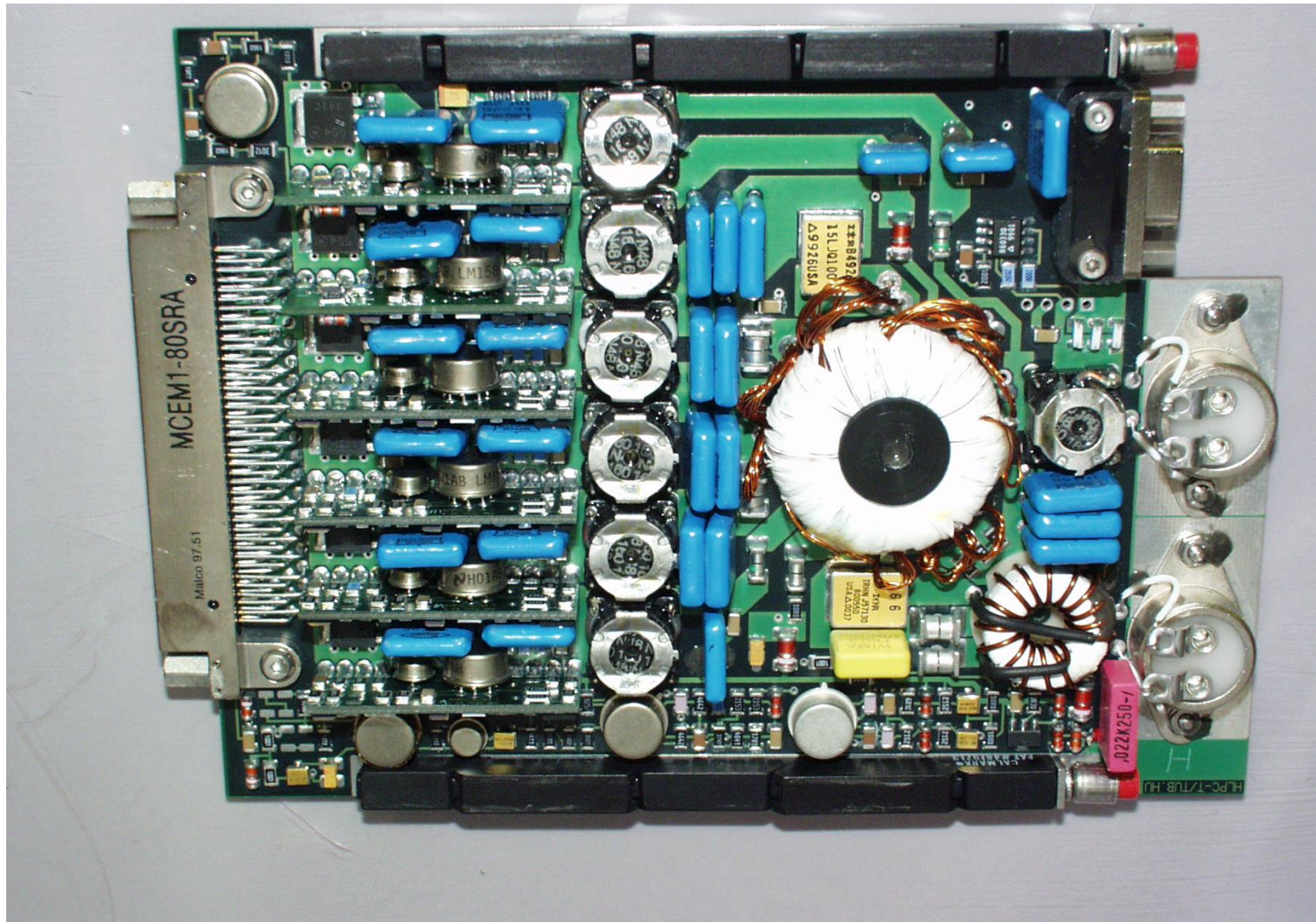
## ☐ Gyártási sorozat függés

- LOT acceptance test, RVT Radiation Verification Test

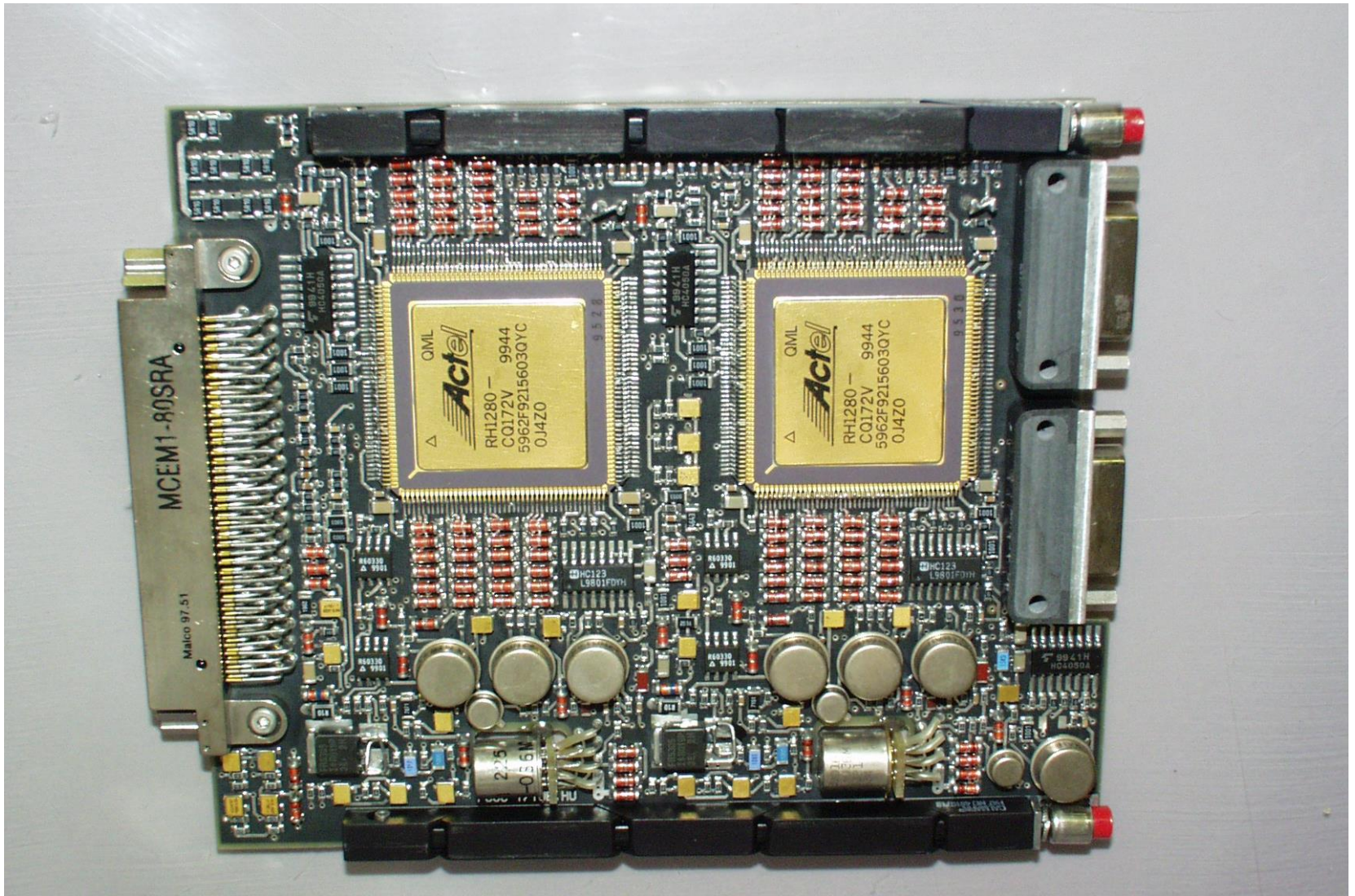
## ☐ Dózisráta [rad/s] függés



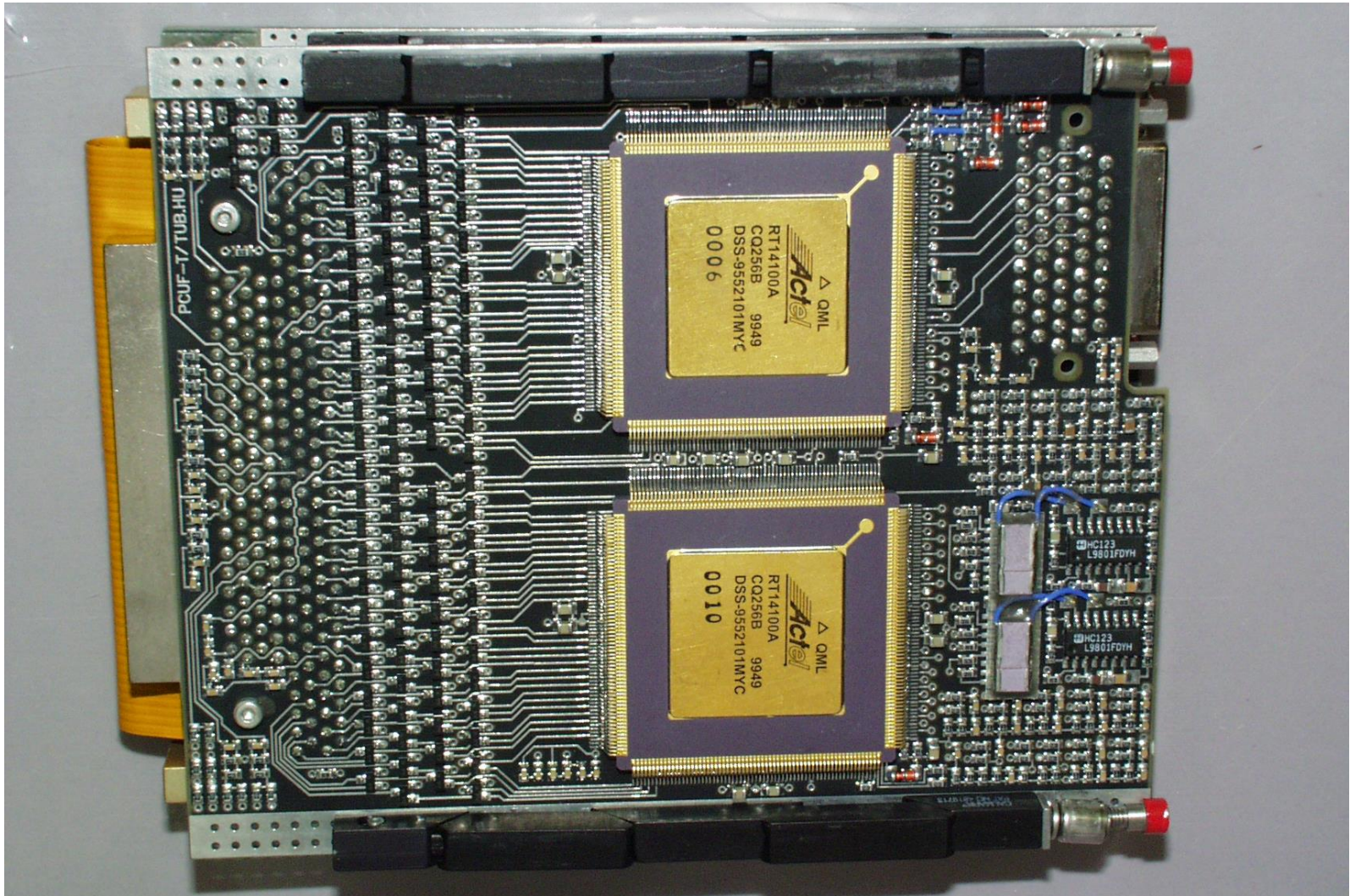
# Rosetta Lander PCU-HPC panel



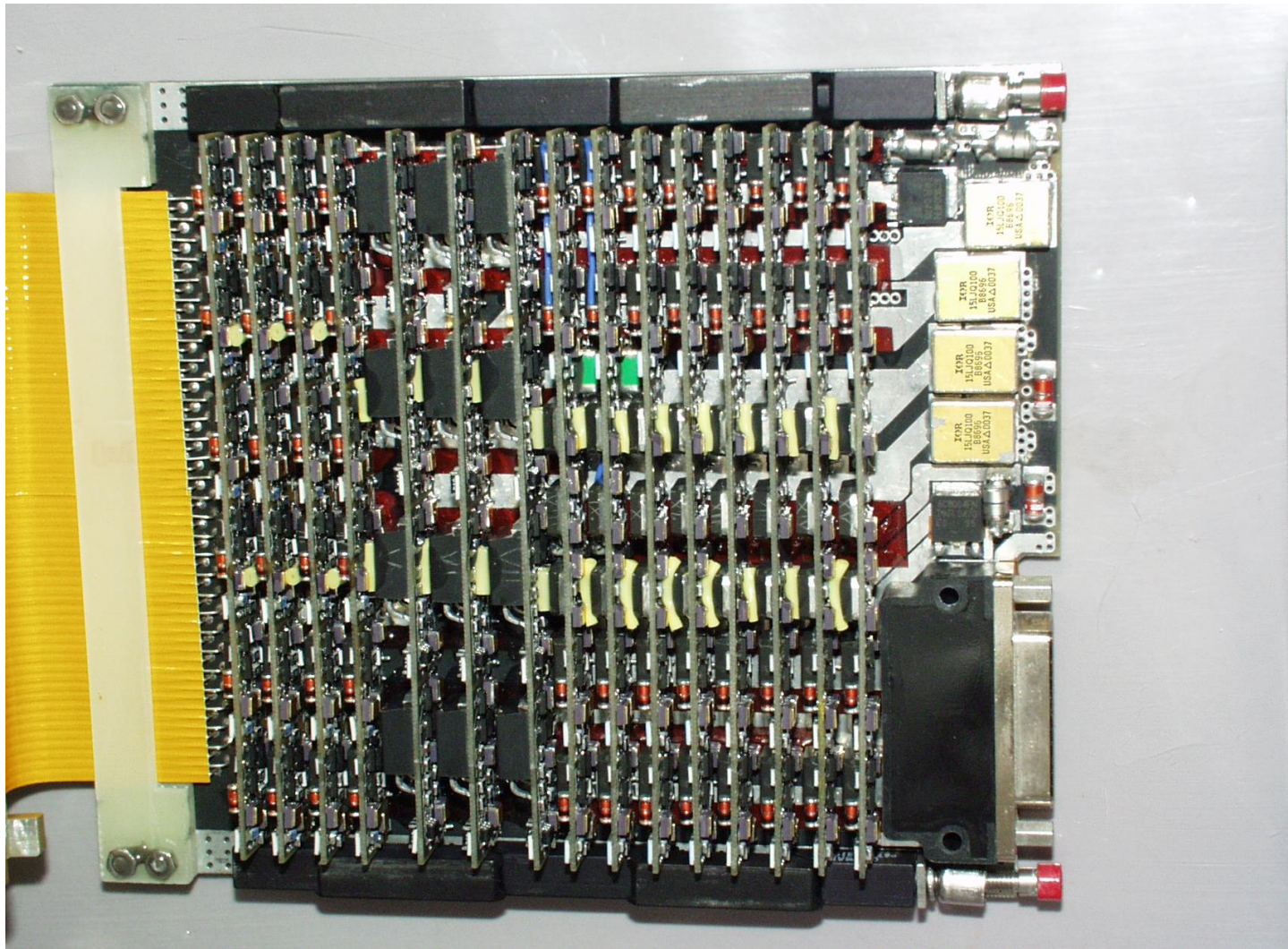
# Rosetta Lander PCU-C panel



# Rosetta Lander PCU-F panel



# Rosetta Lander PCU-SW panel



## • Ellenőrző kérdések:

- 1. Milyen környezeti hatásokkal kell számolni egy űreszköz esetében?
- 2. Milyen a Van Allen övek elhelyezkedése, alakja és milyen töltött részecskék találhatók bennük?
- 3. Melyek a sugárzás elektromos alkatrészeket érintő öregítő hatásai?
- 4. Milyen tranziens hatásokat hozhat létre a sugárzás az elektromos alkatrészekben?
- 5. Mi az a latch-up jelenség és mit lehet tenni ellene?
- 6. Milyen módszerekkel lehet a sugárzás elektromos alkatrészekre gyakorolt hatását csökkenteni egy műhold fedélzetén?
- 7. Hogyan befolyásolják az űreszközök sugárterhelését a pályaadatok?
- 8. Milyen forrásokkal és elvek betartásával szokták tesztelni az elektromos alkatrészek sugárzásállóságát?

# Köszönöm a figyelmet!

