

Tudományos mérések magyar részvétellel a 67P/Csurjumov-Geraszimenkó üstökös felszínén

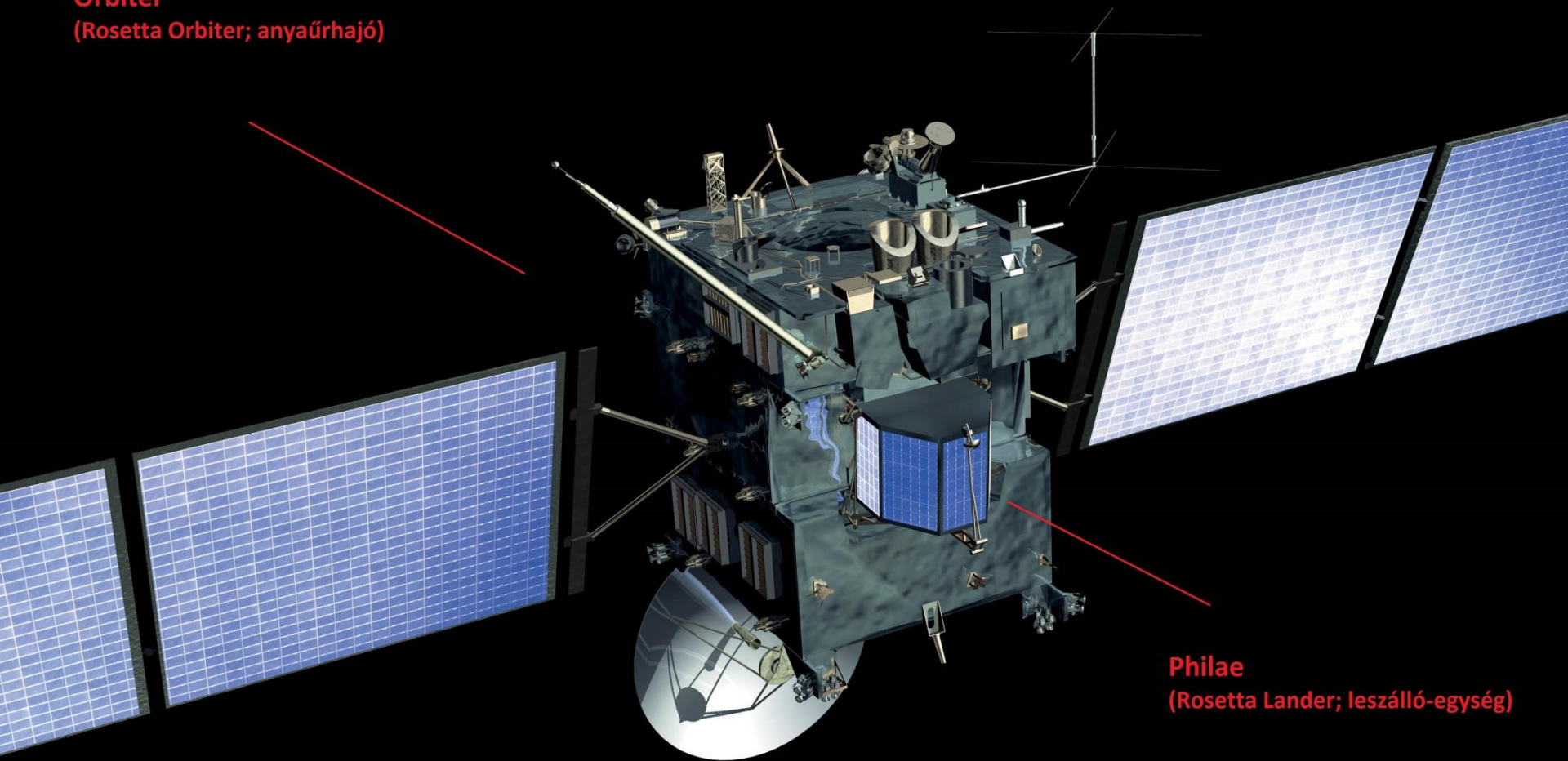
Apáthy István
MTA EK SVL
Űrdozimetriai Kutatócsoport

A Rosetta-misszió

- Az ESA egyik „corner stone” missziója (1993)
- Feladata a „67 P/Csurjumov-Geraszimenkó” (eredetileg a „46 P/Wirtanen”) üstökös tanulmányozása ~3,4 CsE-től napközelig
- Start: 2004; megérkezés: 2014
- Eszközei:
 - távmérő műszerek (Orbiter: keringő egység)
 - In-situ mérések (Lander: leszálló egység, Philae)



Orbiter
(Rosetta Orbiter; anyaűrhajó)



Philae
(Rosetta Lander; leszálló-egység)

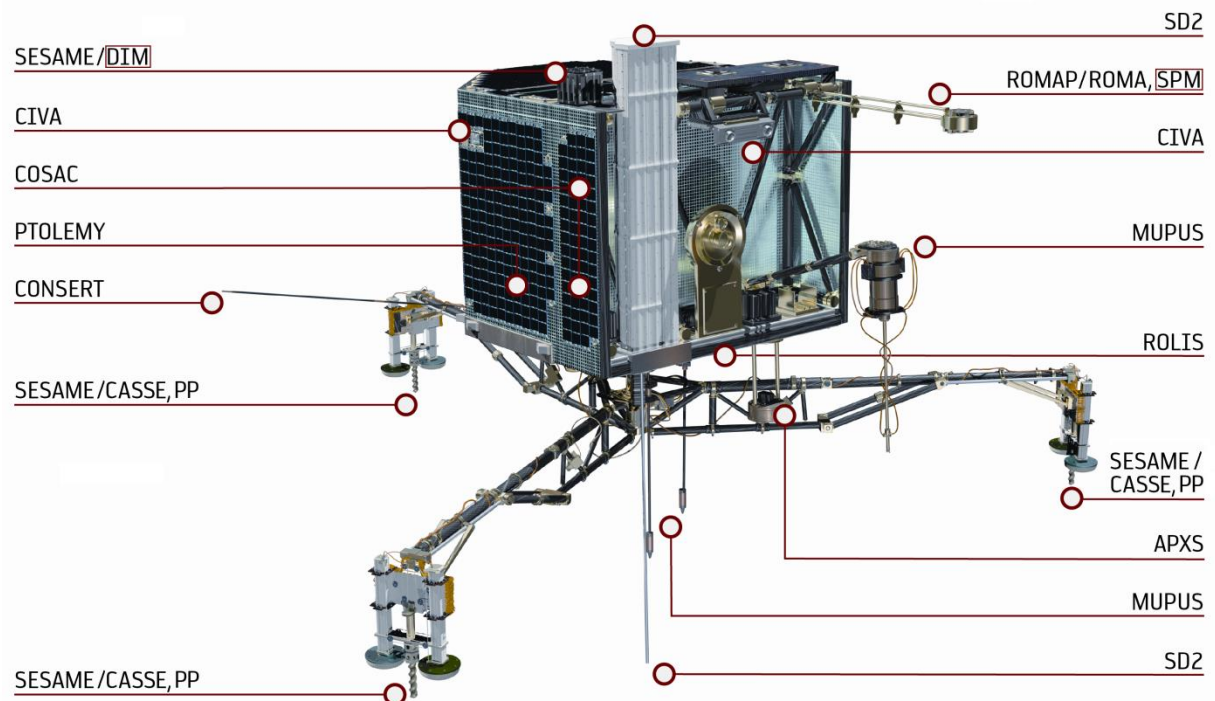
A Philae

- Tömeg: ≈ 100 kg (ebből a tudományos kísérletek): ≈ 21 kg
- Felépítés: hatszög alapú hasáb, szénszálás szendvics szerkezet
- Napelemek: 5 oldallapon és a fedőlapon
- A kísérletek érzékelői: a 6. oldallapon (balkon), a fenéken, a tető szélén

Méreték:

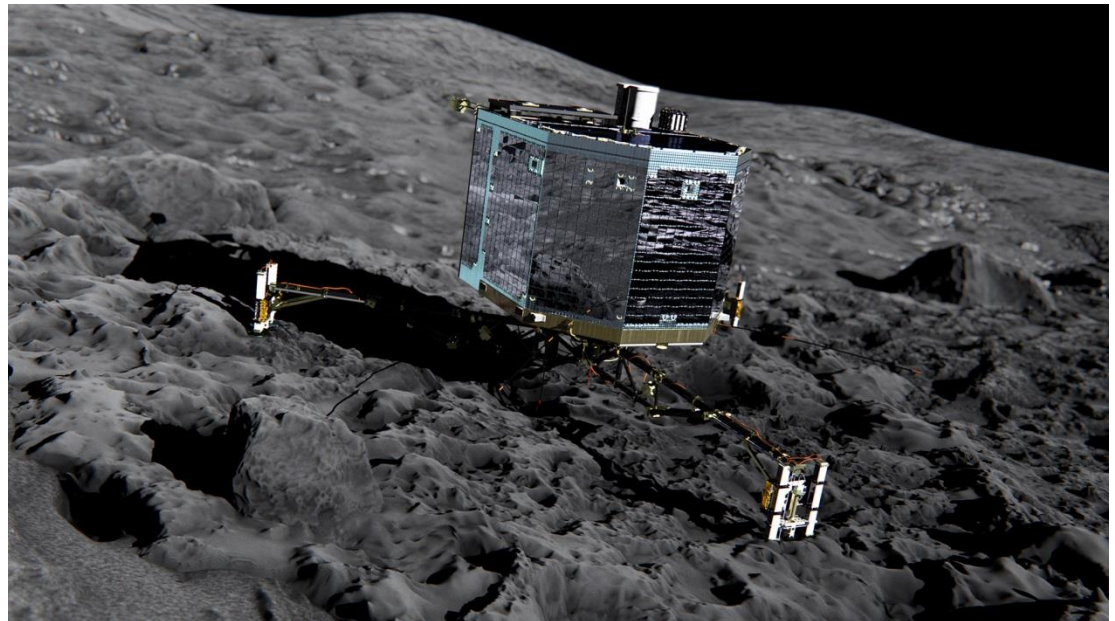
Alap-átló: ≈ 1 m

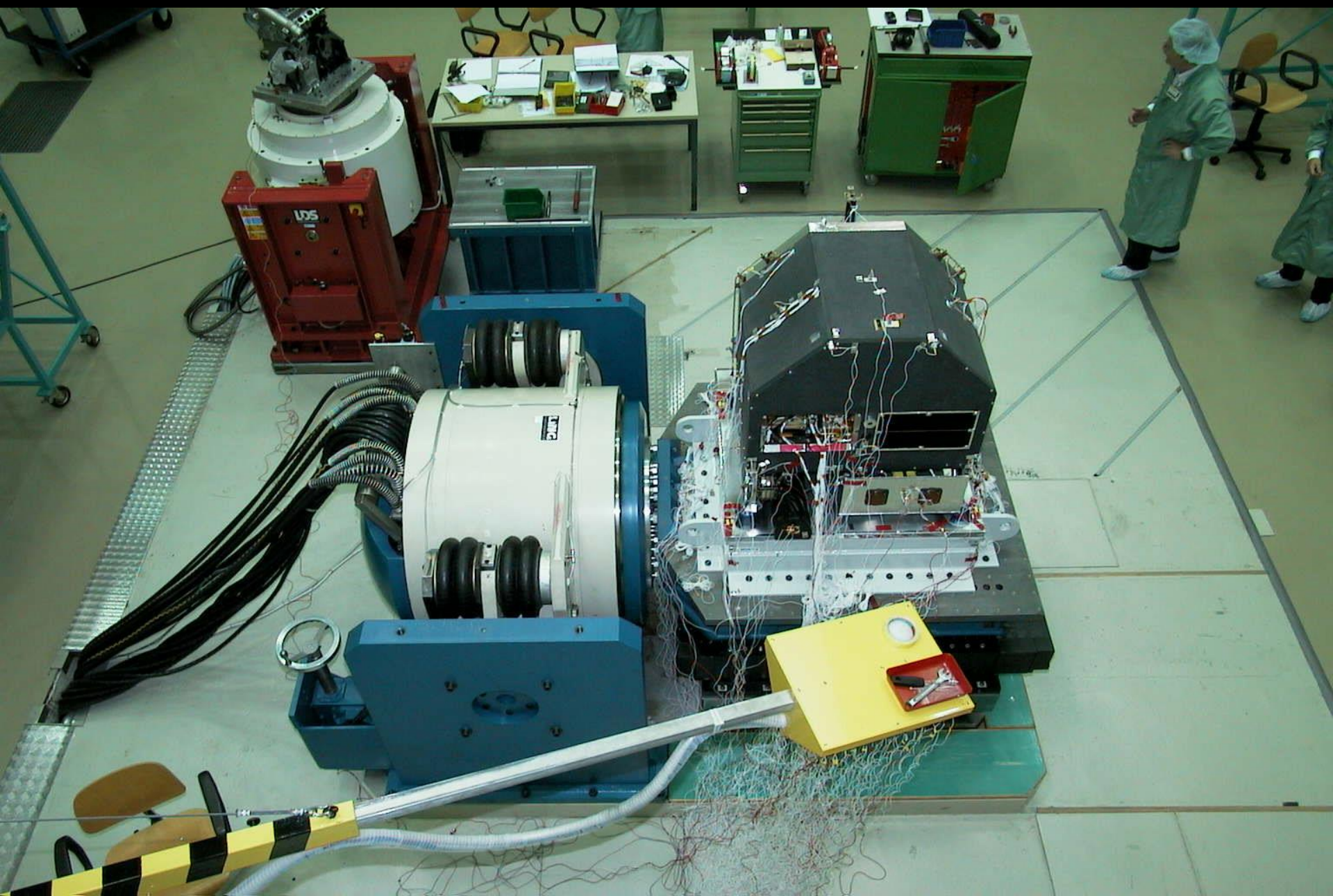
Magasság: $\approx 0,8$ m



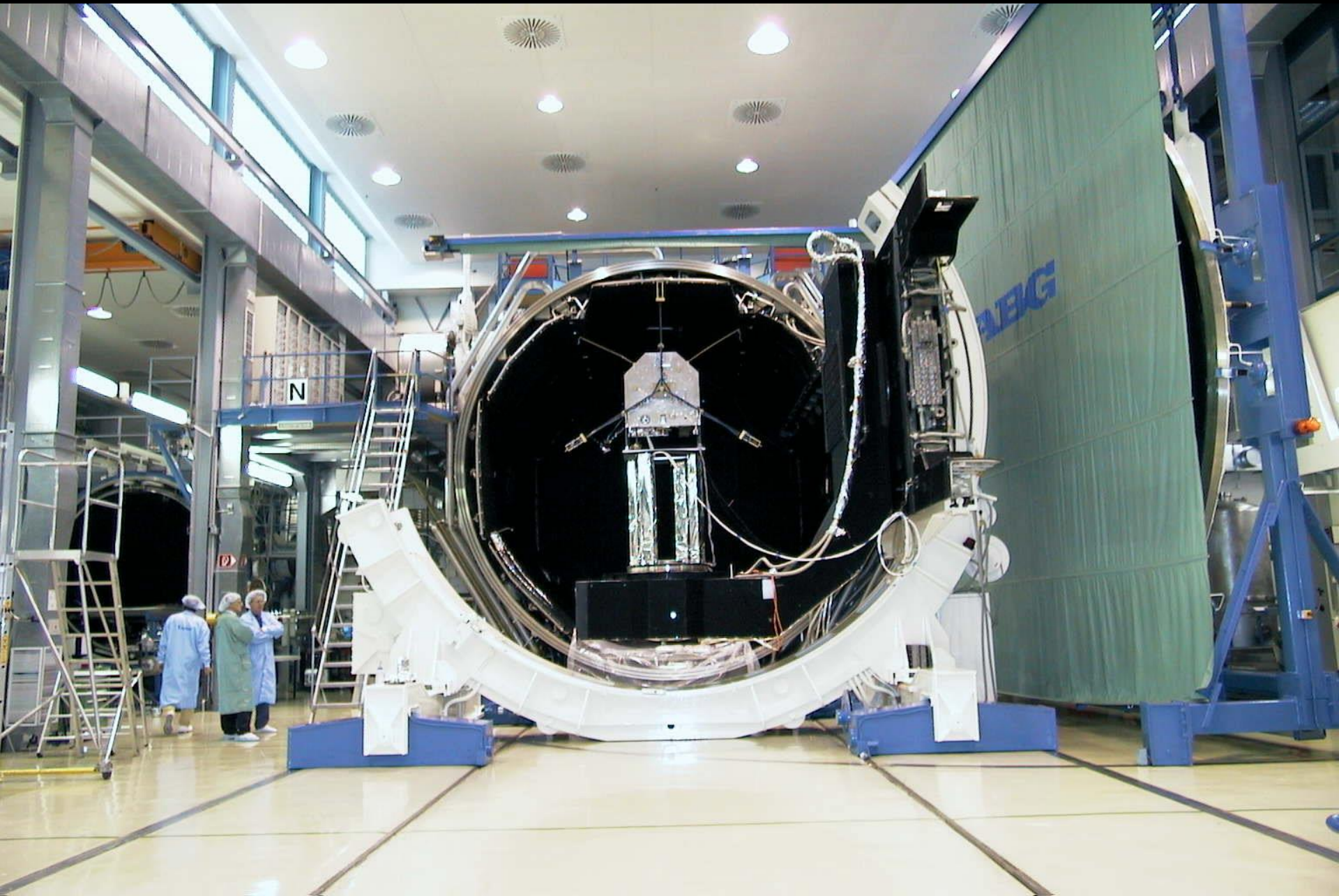
A Philae

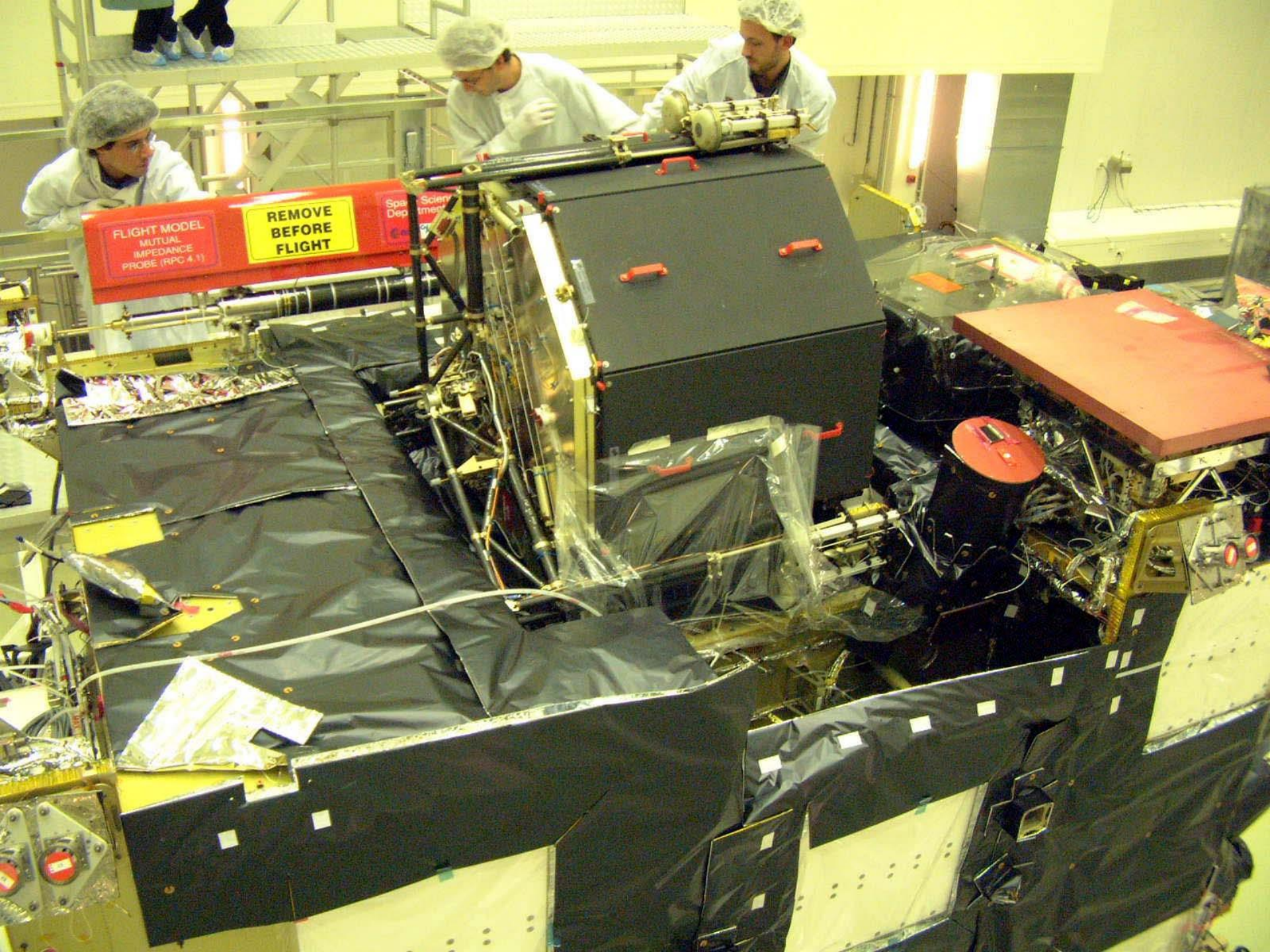
- Energiaellátás:
 - primer elemek, az első mérésekhez
 - napelemek (2,2 m² + akkuk, 32 W@3 AU); hosszú távú működtetés
- Adatátvitel: 16 kB/s (a keringőegységen keresztül)











FLIGHT MODEL
MUTUAL
IMPEDANCE
PROBE (RPC 4.1)

REMOVE
BEFORE
FLIGHT

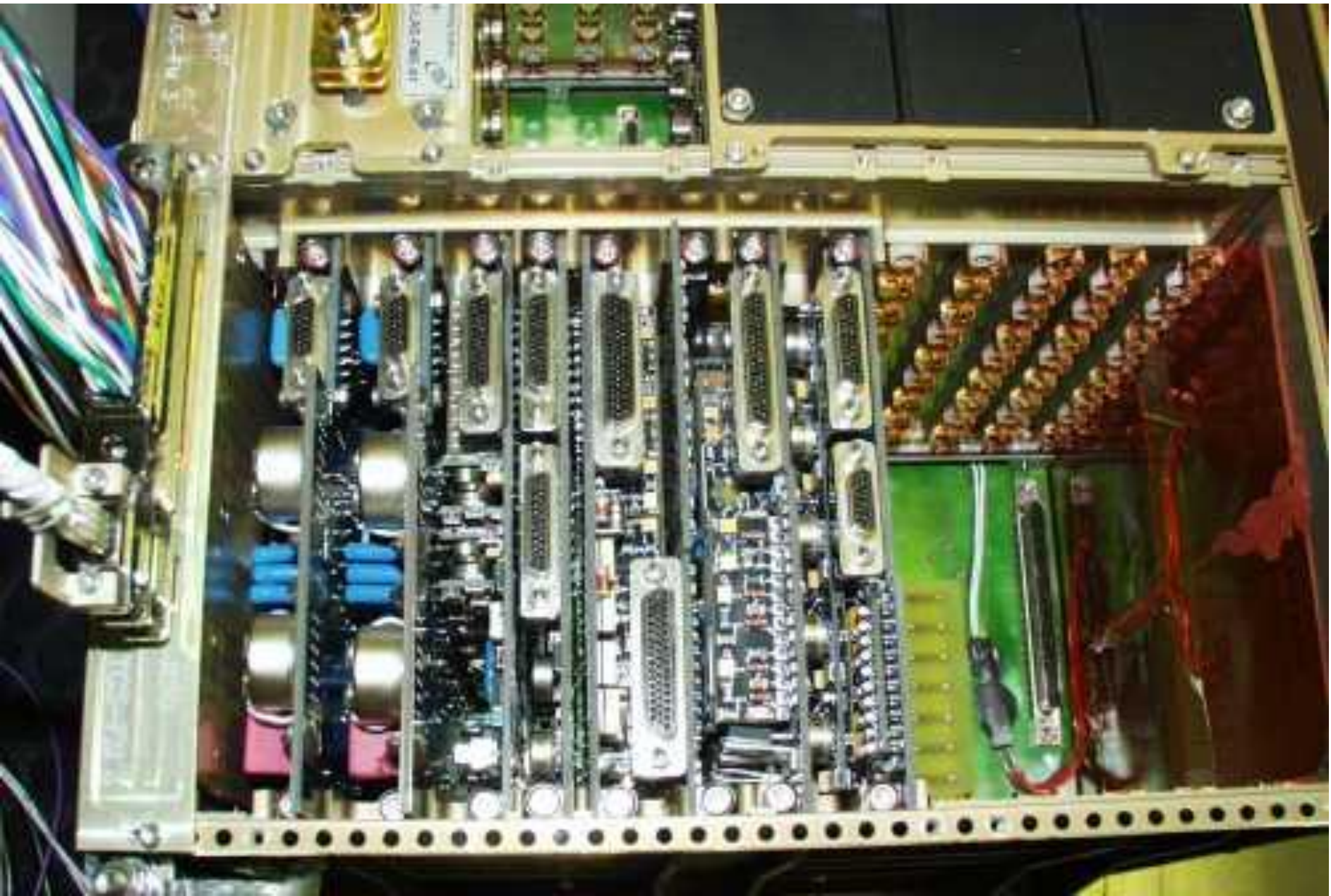
Spa
Dep
Sci
Dep
ment

Meghatározó magyar részvétel

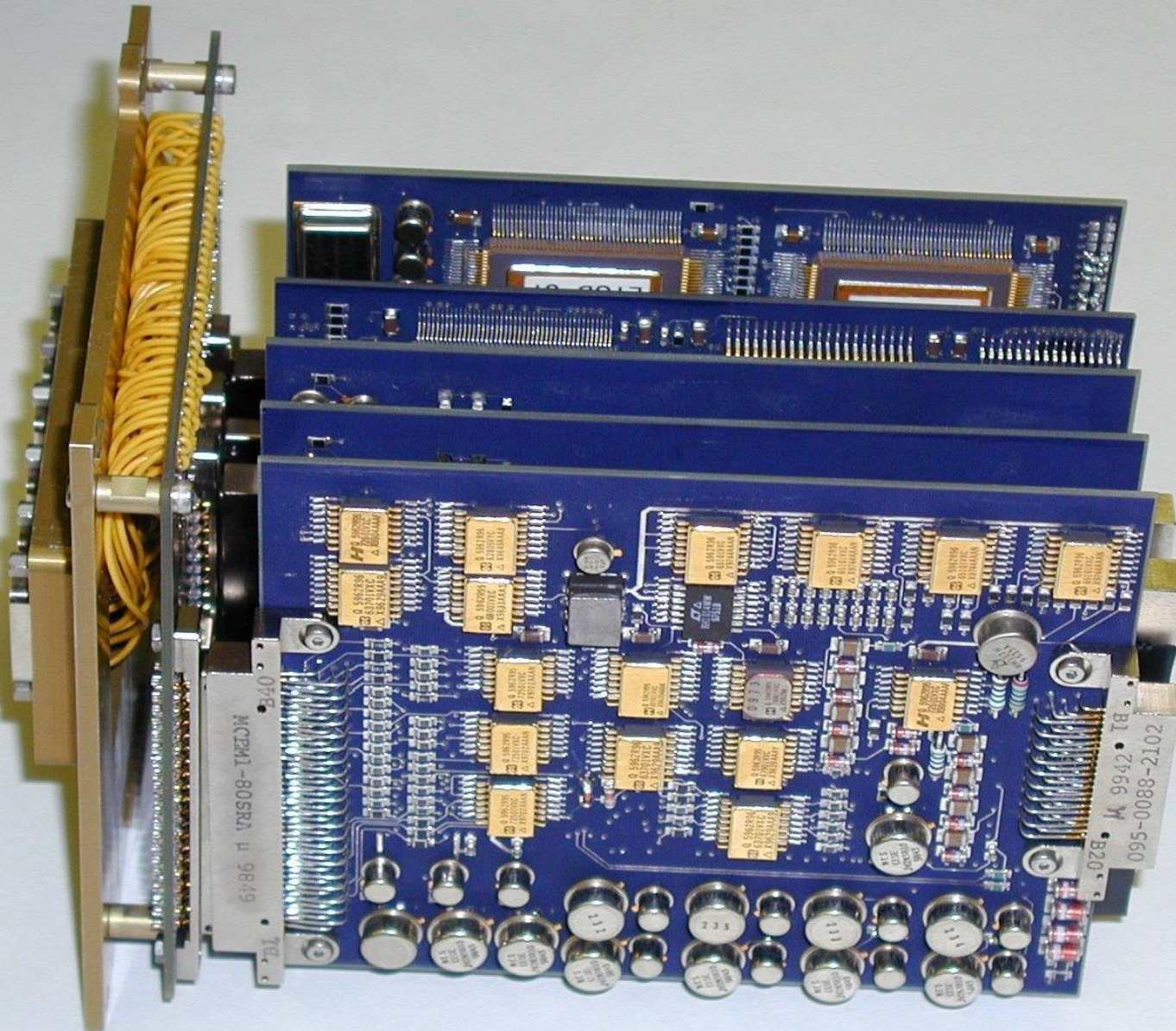
- Szolgálati rendszer
 - tápellátó rendszer
BME Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék
Úrkutató Csoport
 - hibatoleráns központi vezérlő és adatgyűjtő számítógép
MTA Wigner Fizikai Kutatóközpont
SGF Kft.
- Mérőműszerek
 - ROMAP / SPM
 - SESAME / DIM



Tápellátó rendszer



Fedélzeti számítógép



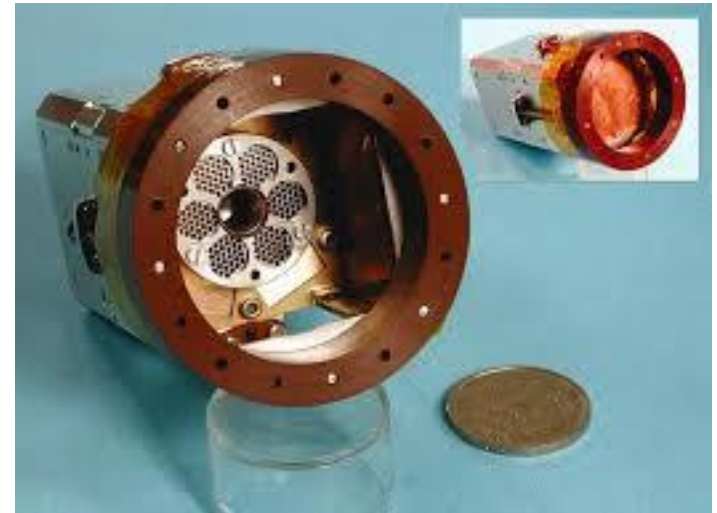
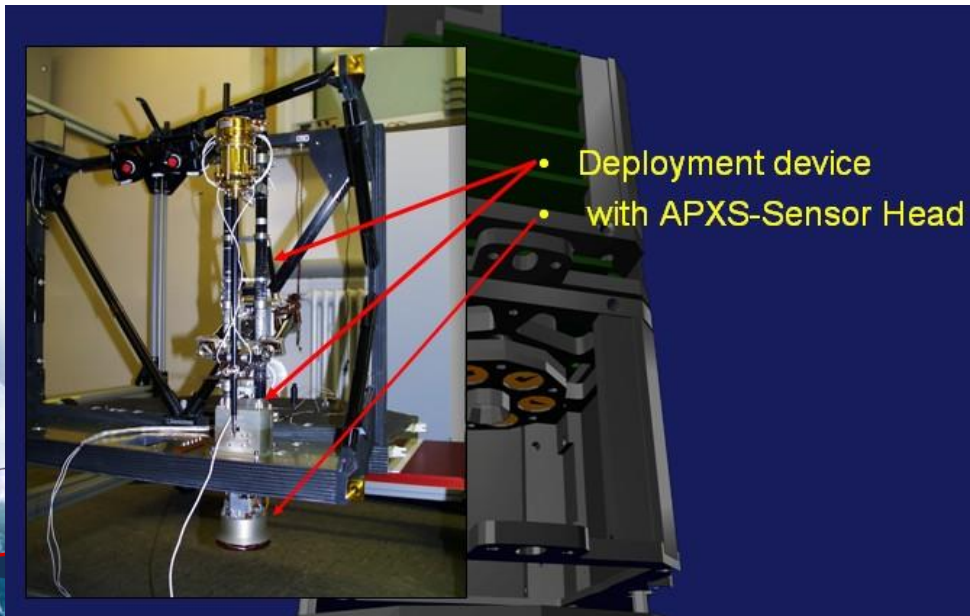
Repülés-irányítás

- ESOC (European Space Operations Centre, Darmstadt)
 - RMOC (Rosetta Mission Operations Centre)
 - RSOC (Rosetta Science Operations Centre)
- RLGS (Rosetta Lander Ground Segment)
 - LCC (Lander Control Center, DLR, Köln)
 - SONC (Science Operation & Navigation Center, CNES, Toulouse)



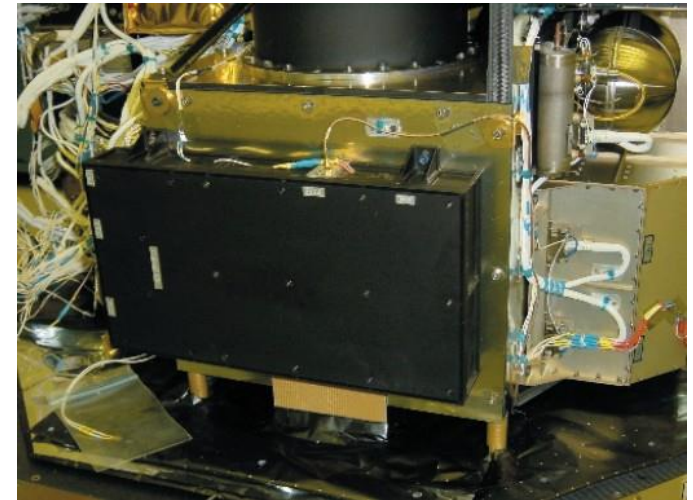
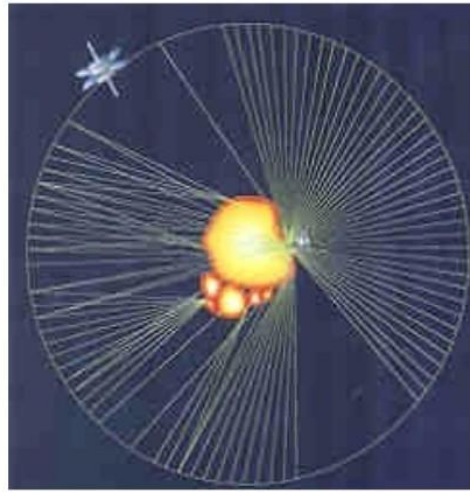
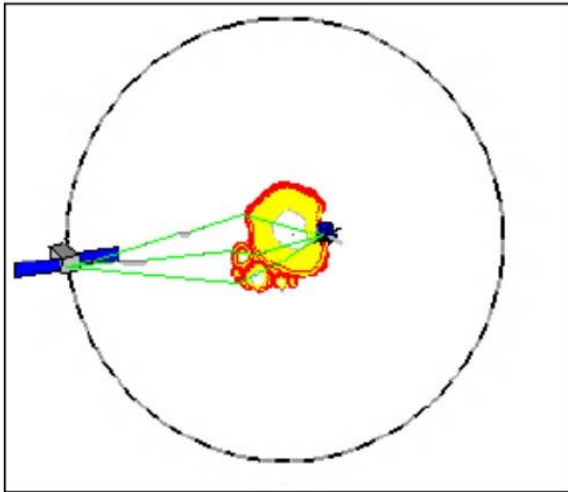
A Philae mérőműszerei

- **APXS** (Alpha Proton X-ray Spectrometer)
 - alfa-proton-röntgen spektrométer
 - a leszállóegység alatti felület vegyi elemzése
 - tömege 1,3 kg
 - a Pathfinder-en repülő spektrométer javított változata
 - Johannes Gutenberg-Universität, Németország



A Philae mérőműszerei

- **CONCERT** (COmet Nucleus Infrared and Visible Analyzer)
 - üstökös mag rádióhullám-terjedési kísérlet, az anyahajóval közösen
 - az üstökös mag belső szerkezetének meghatározása rádiótomográfiával
 - tömege 1,8 kg
 - Institut de Planétologie et d'Astrophysique, Franciaország



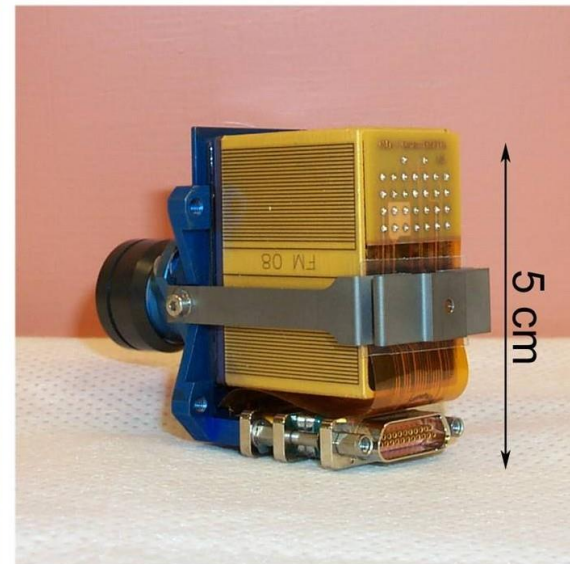
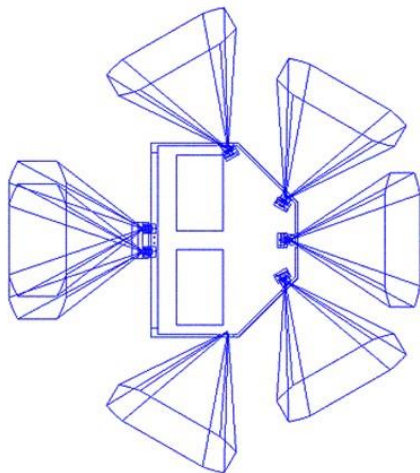
A Philae mérőműszerei

- **COSAC** (Cometary Sampling and Comparison)
 - üstökös mintavevő és elemző: gázkromatográf, time-of-flight spektrométer
 - felszíni minták elemzése, illékony összetevők meghatározása
 - tömege 4,9 kg
 - Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung, Németország



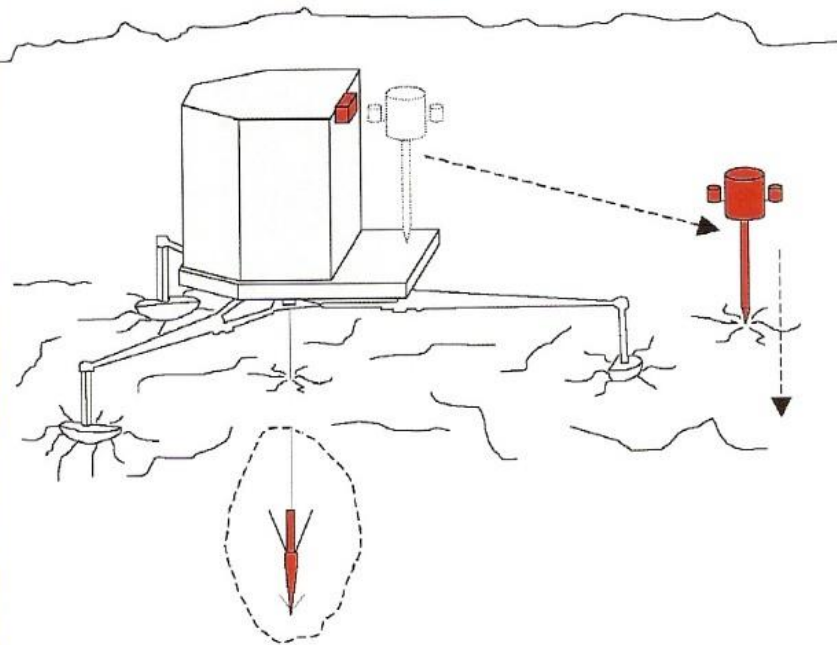
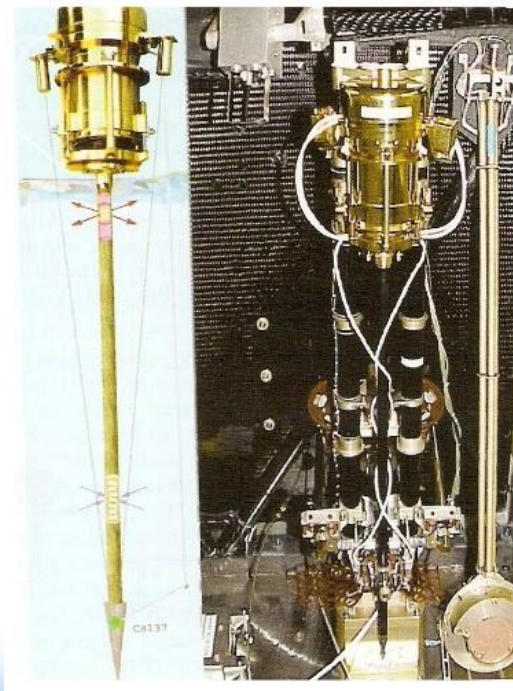
A Philae mérőműszerei

- **CIVA** (Comet Nucleus Infrared and Visible Analyzer)
 - üstökös mag infravörös és látható fény analizátor
 - panoráma és mikroszkópikus felvételek CCD kamerákkal
 - tömege 3,4 kg
 - Institut d'Astrophysique Spatiale, Franciaország



A Philae mérőműszerei

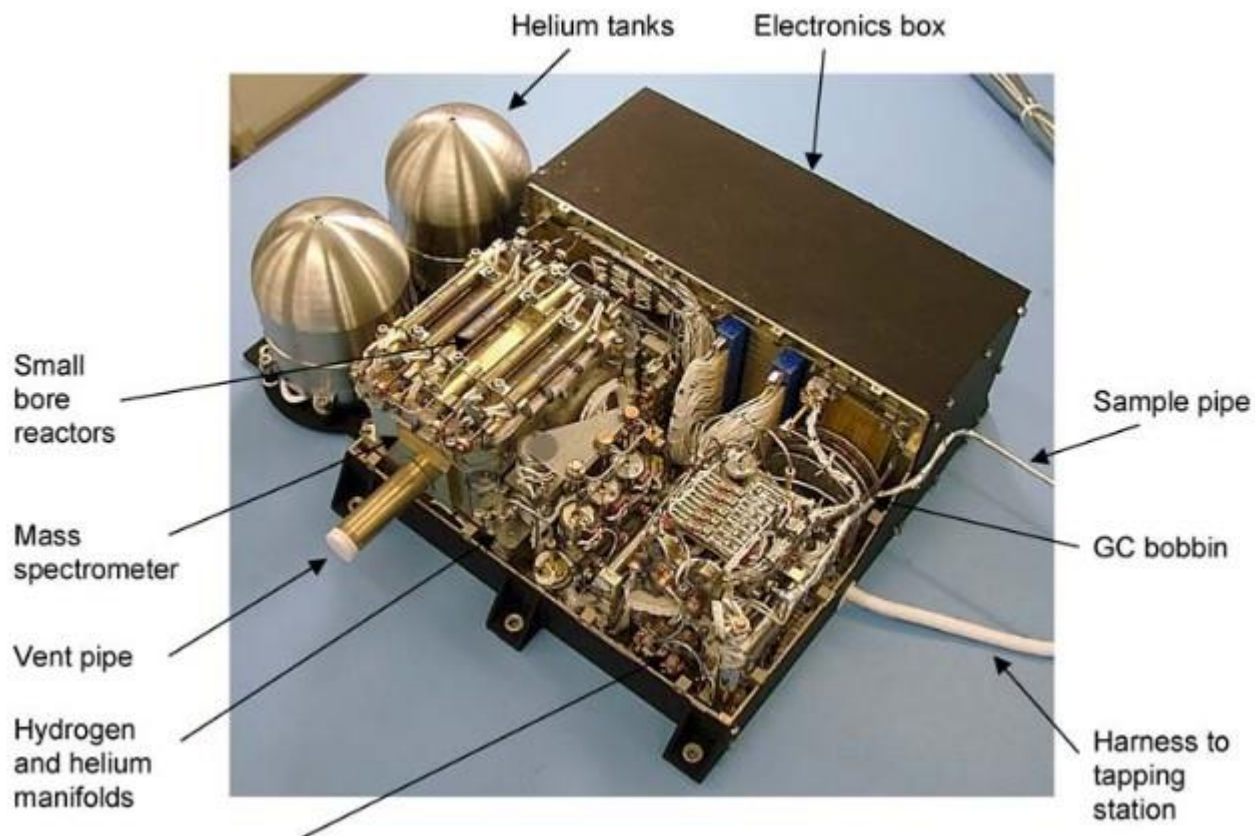
- **MUPUS** (MULTI-PURpose Sensors for Surface and Sub-Surface Science)
 - többcélú tudományos műszer az üstökös-felszín sűrűségének, hőtani és mechanikai sajátosságainak vizsgálatára
 - tömege 2,2 kg
 - Institut für Planetenforschung, Németország



A Philae mérőműszerei

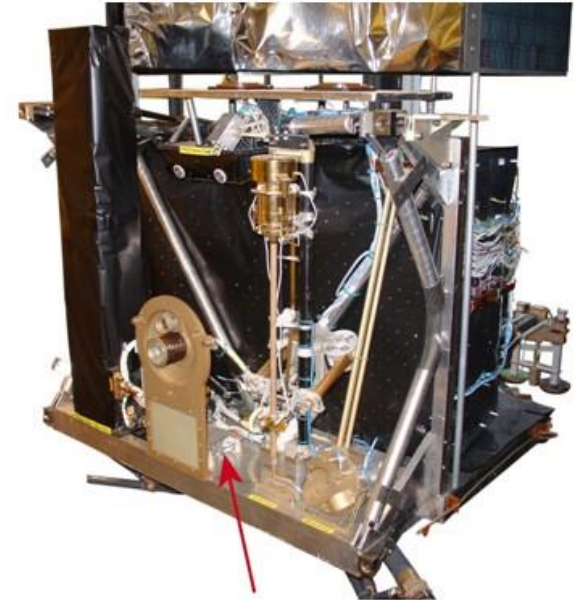
- **PTOLEMY**

- gázanalizátor a mintákban lévő könnyű elemek izotóp-arányának vizsgálatára
- tömege 4,5 kg
- Open University, Egyesült Királyság



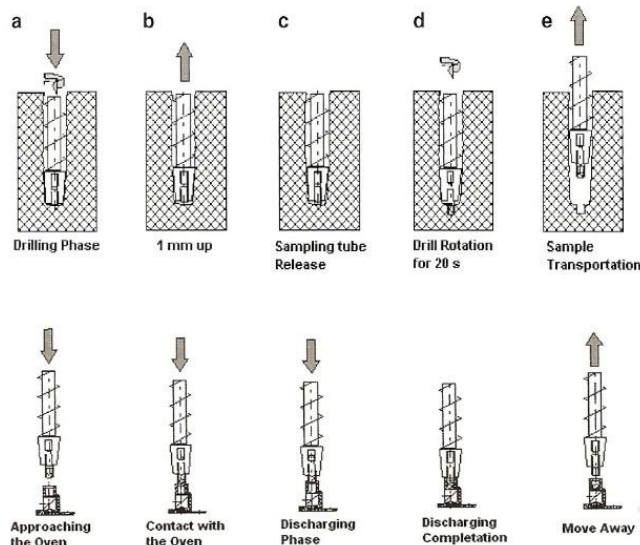
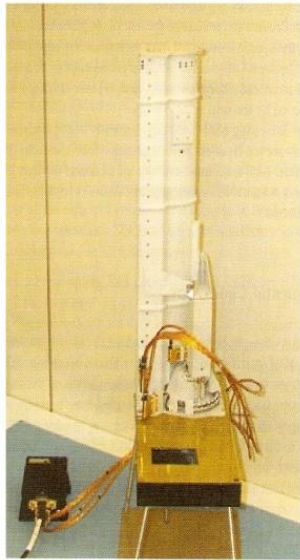
A Philae mérőműszerei

- **ROLIS** (ROsetta Lander Imaging System)
 - a felületről gyűjtött mintákat és a felszínt vizsgáló kamera három színeképtartományban, aktív megvilágítással
 - tömege 1,4 kg
 - Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Németország



A Philae mérőműszerei

- **SD2** (Sample, Drilling and Distribution subsystem)
 - mintavevő, fúró és elosztó alrendszer
 - > 20 cm mélyre fúr, mintát vesz és a mintákat elosztja a spektrométer kályháiba és mikroszkópos vizsgálatra
 - tömege 4,7 kg
 - Politecnico Milano, Olaszország



ROMAP/SPM

A ROMAP (ROsetta MAgnetometer and Plasma monitor) műszer-csomag része

- 3-tengelyű kompenzált fluxgate magnetométer
(Braunschweig TU, MPE Garching – Németország)
- elektrosztatikus félgömb-analizátor
(ion és elektron E/q-spektrométer, MPS – Németország)
- Faraday-csapda; töltött részecske fluxus az energia függvényében (MPS – Németország)
- detektor-elektronika (Magson GmbH, Berlin – No.)
 - adatfeldolgozó egység (IWF, Graz, Ausztria)
 - nagyfeszültségű egység (MTA EK, Magyarország)



ROMAP – Tudományos célok

- A helyi mágneses tér mérése:
 - a remanens mágneses tér mérése a távolság függvényében (leszállás alatt) →
 - az esetleges remanens mágnesség típusának azonosítása
- Az üstökös-napszél kölcsönhatás vizsgálata
 - napszél-paraméterek (sűrűség, sebesség, hőmérséklet, irány) meghatározása
 - az üstökös-napszél kölcsönhatás nyomon-követése inaktív állapottól aktív állapotig

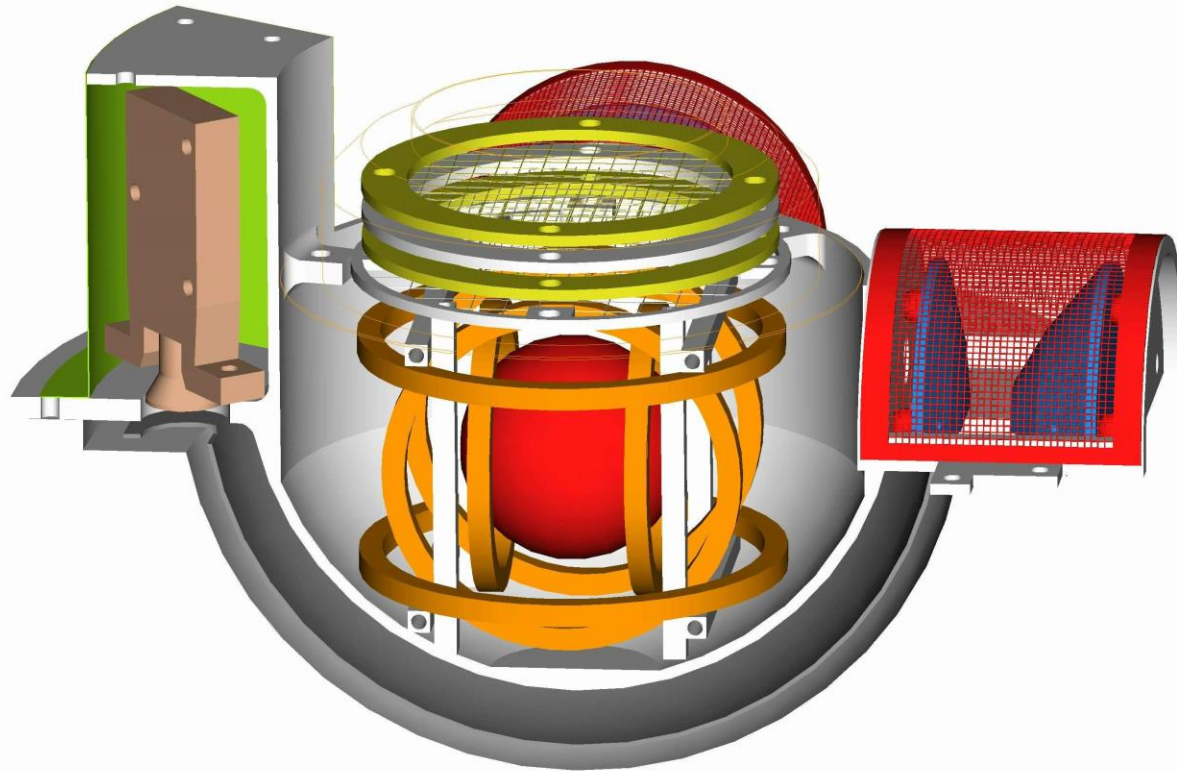


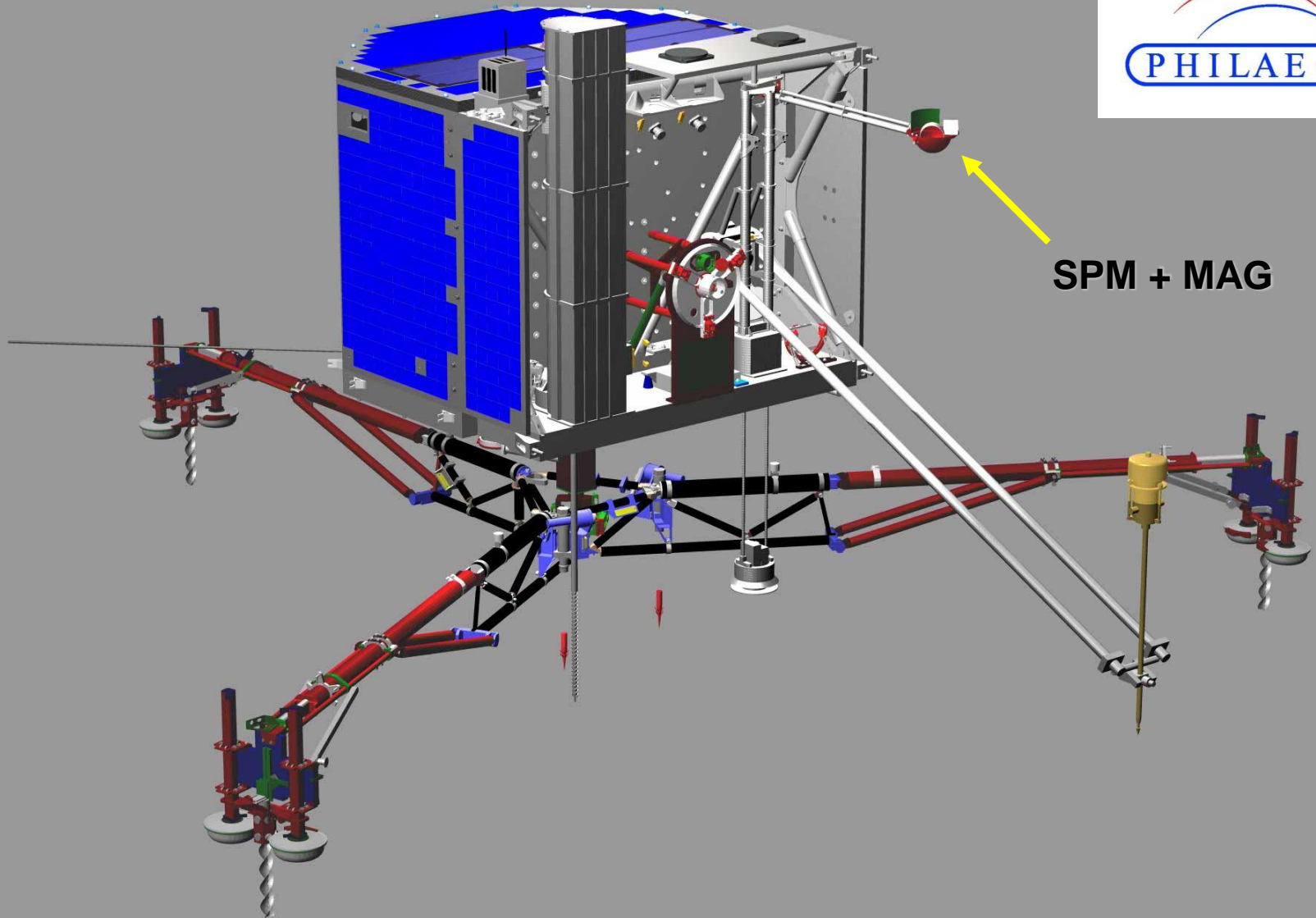
SPM elektrosztatikus analizátor

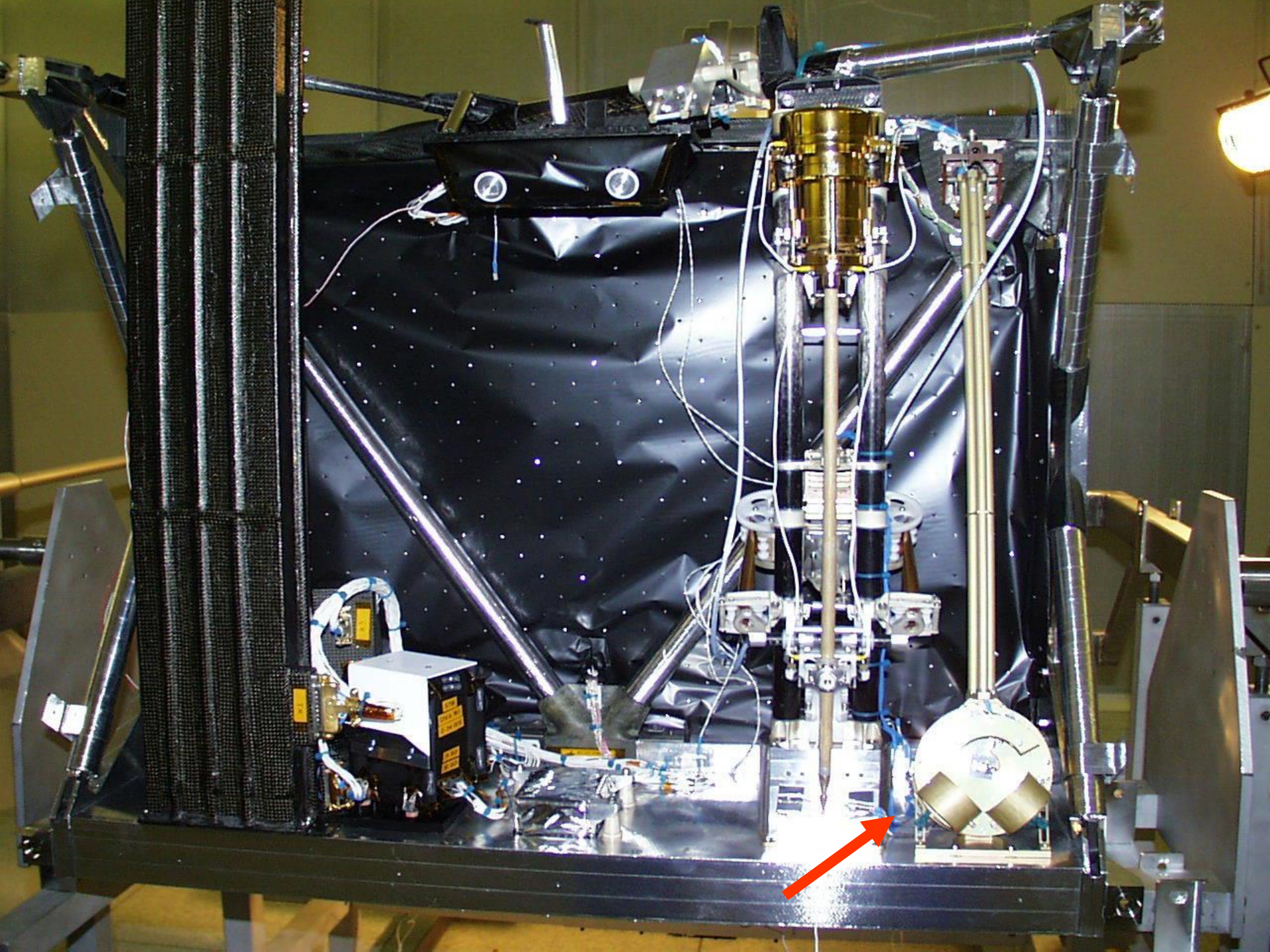
- Energia-tartomány: 40...8.000 eV (ion)
0,3...4.200 eV (elektron)
- Energia-felbontás: 32...64 exp. lépcső
- Irány-felbontás: 16 lineáris lépcső
- Elemi mérések időtartama: 50 ms
- Látószög: 160°

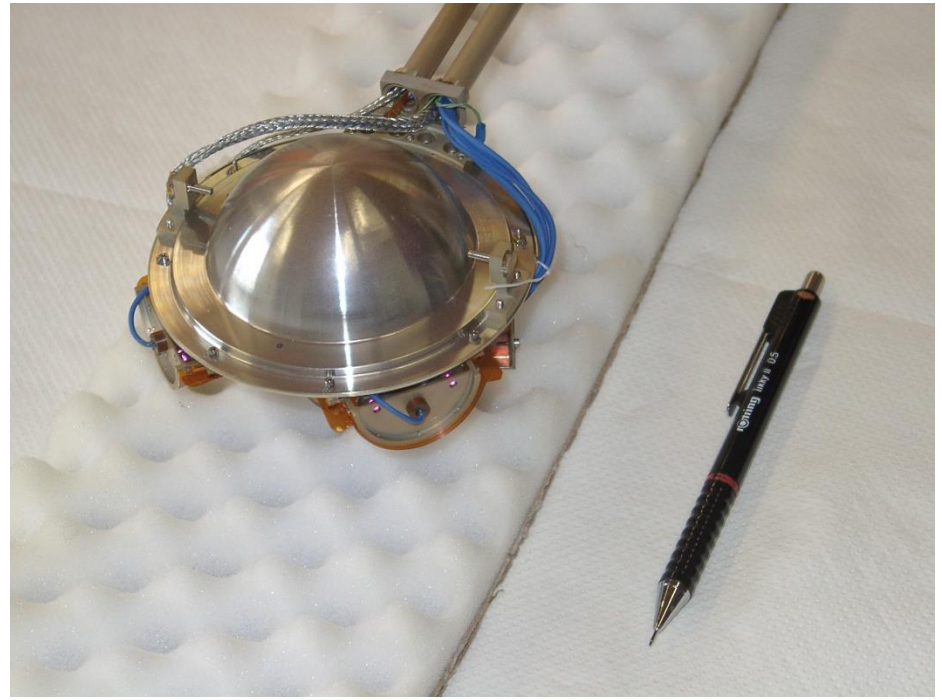
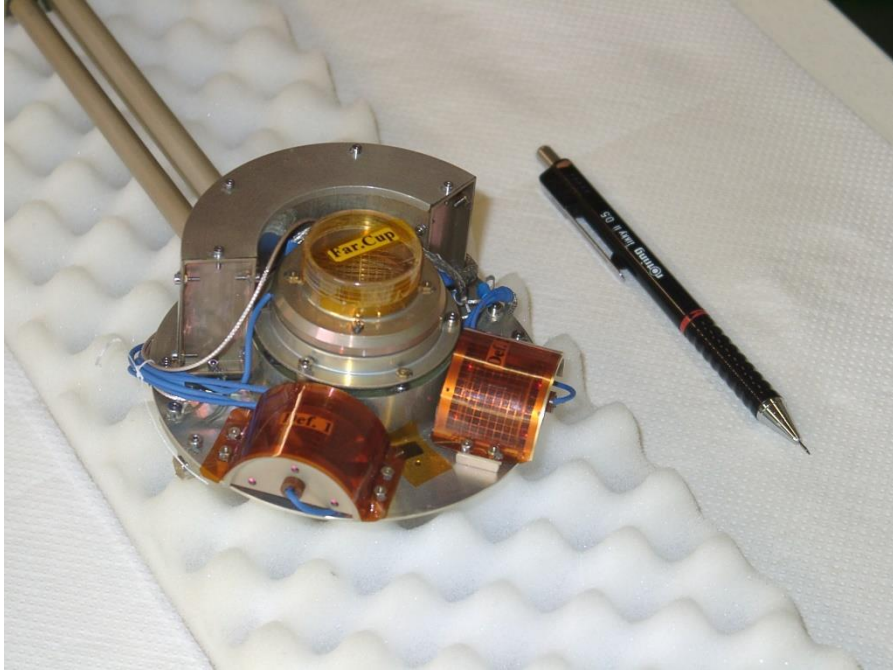


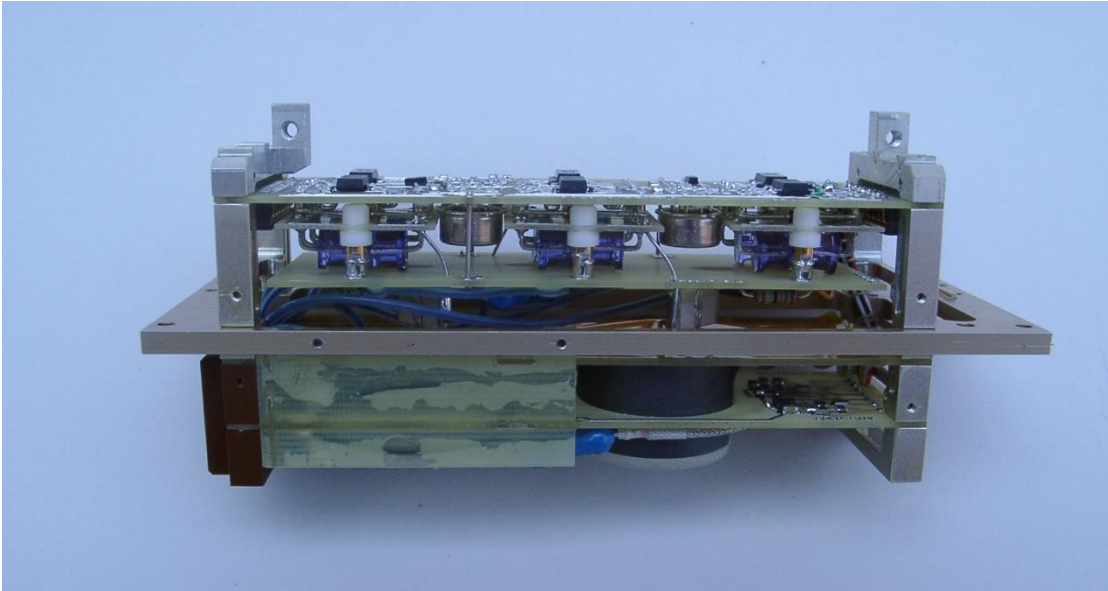
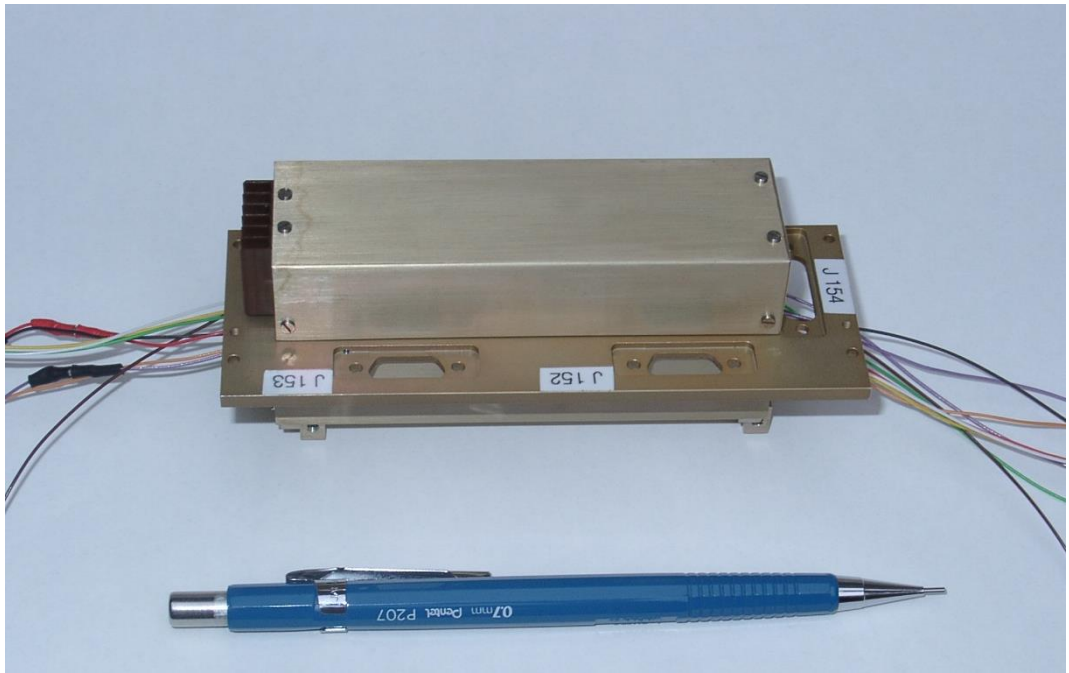
Kombinált magnetométer – energia-spektrométer

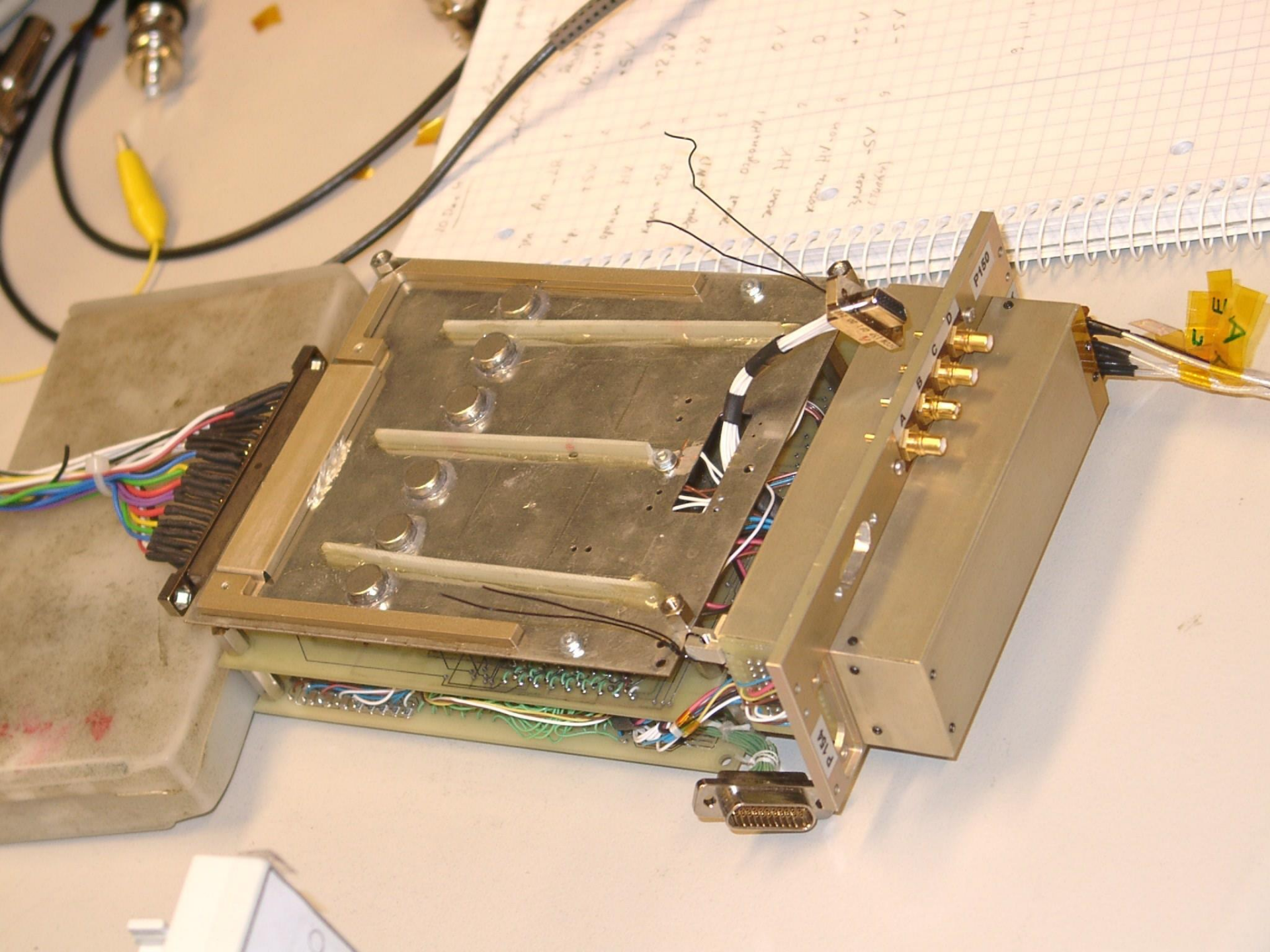












Handwritten notes on a spiral-bound notebook, including:

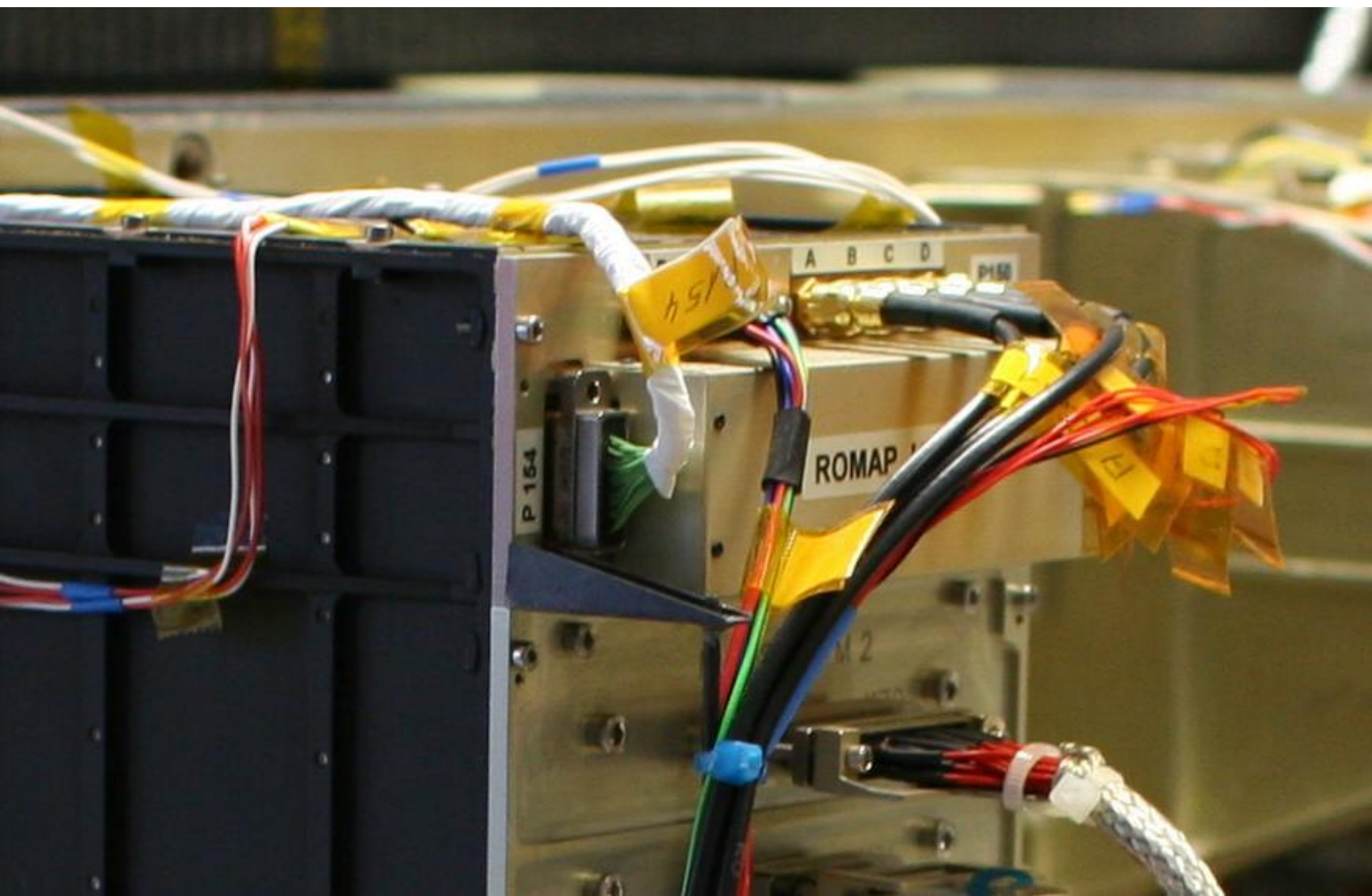
- 15-
- 15+
- 0
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24
- 25
- 26
- 27
- 28
- 29
- 30
- 31
- 32
- 33
- 34
- 35
- 36
- 37
- 38
- 39
- 40
- 41
- 42
- 43
- 44
- 45
- 46
- 47
- 48
- 49
- 50

Handwritten notes on a yellow sticky note, including:

- A
- E

Handwritten notes on a white piece of paper, including:

- 0



SESAME/DIM

Surface Electric Sounding and Acoustic Monitoring Experiment

- felszíni elektromos, hang- és akusztikus monitorozó kísérlet;
pordektálás
- közös vezérlő és adatgyűjtő egység (CASSE + PP + DIM)
- tömege 1,8 kg
- résztvevők:
 - Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Németország
 - Universität Köln, Németország
 - Finnish Meteorological Institute, Finnország
 - MTA Energiatudományi Kutatóközpont (MTA EK), Magyarország



DIM tudományos célja

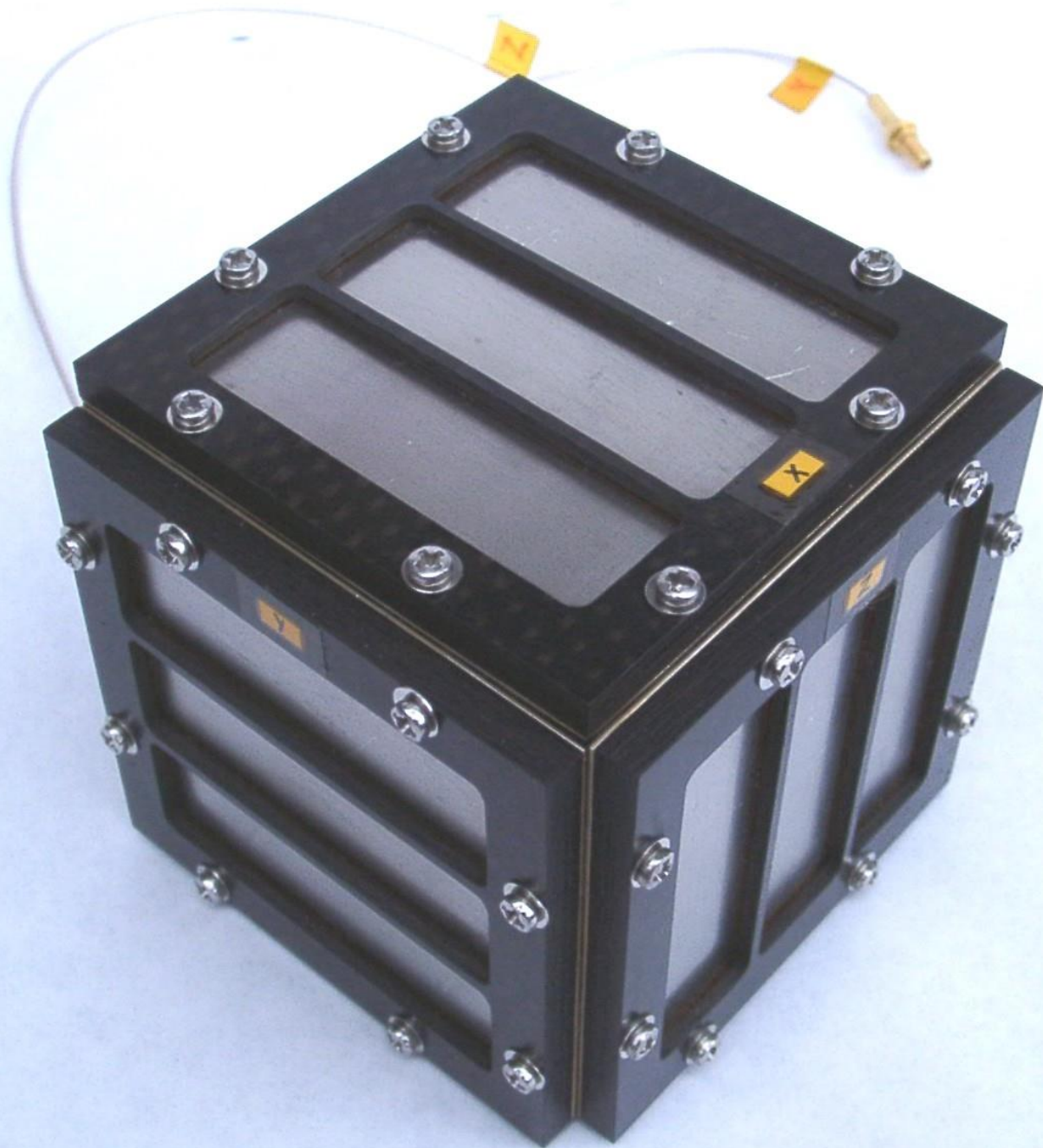
- Az üstökös-magból elszabaduló és megfelelő sebességgel visszaeső részecskék mérése
 - statisztikai vizsgálat
 - sebesség és tömeg-eloszlás mérése
 - a visszaeső részecskék köpeny-formáló hatása modell-paramétereinek meghatározása

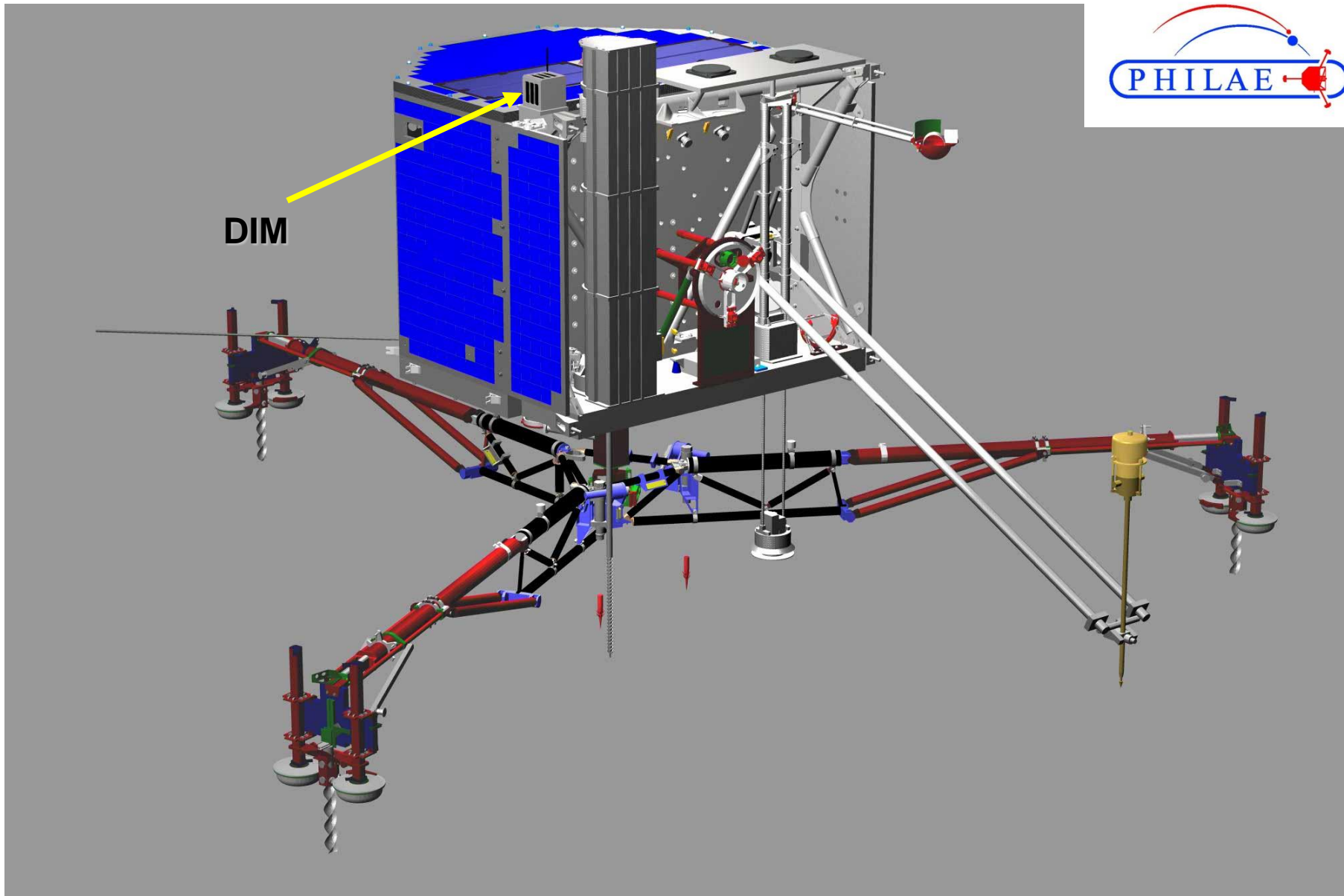


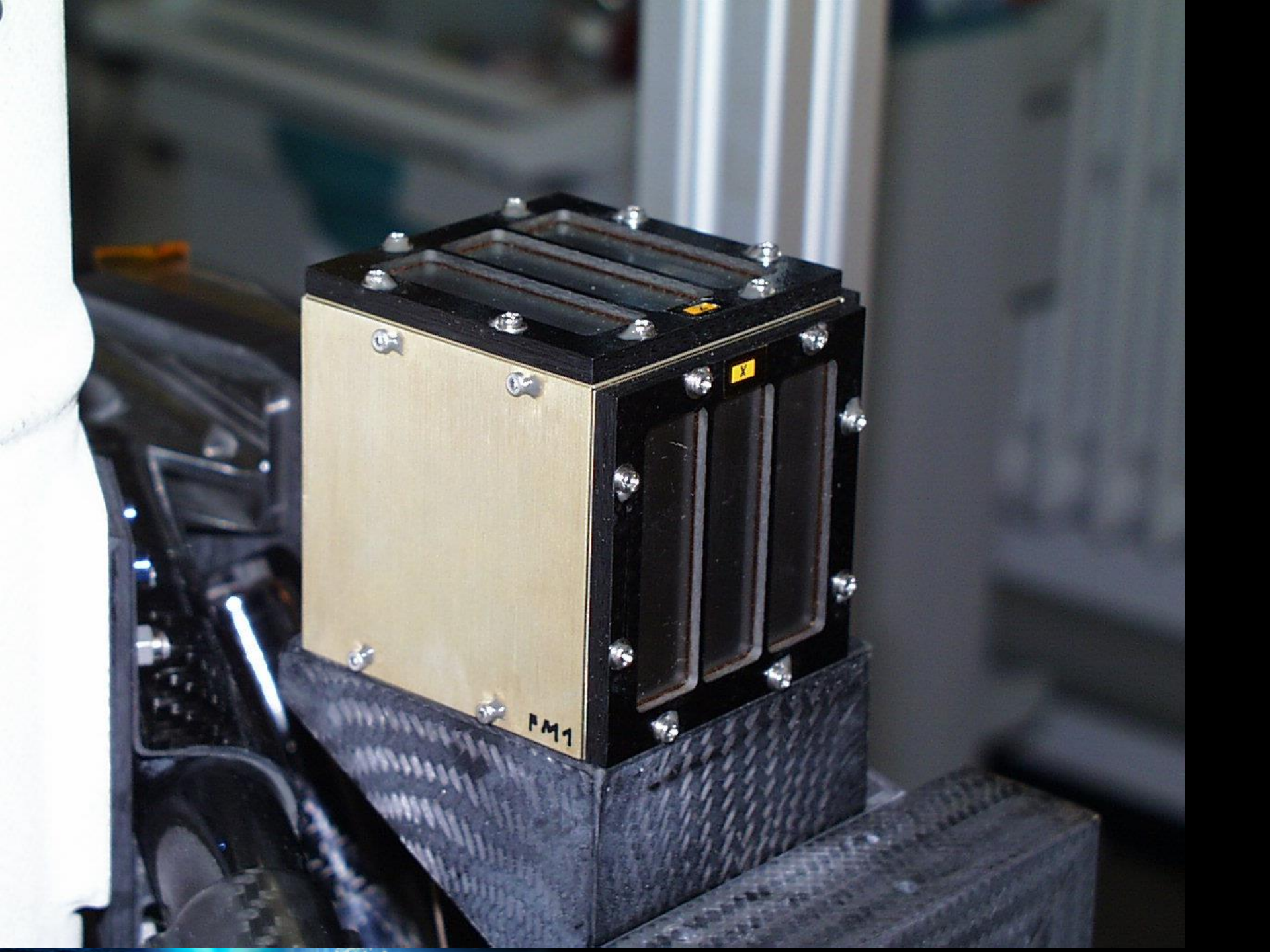
Mérési módszer

- Piezo-elektromos érzékelők
- Három, egymásra merőlegesen elhelyezett detektor-lap
- Esemény-számlálás
- Amplitúdó- és hullámforma-analízis



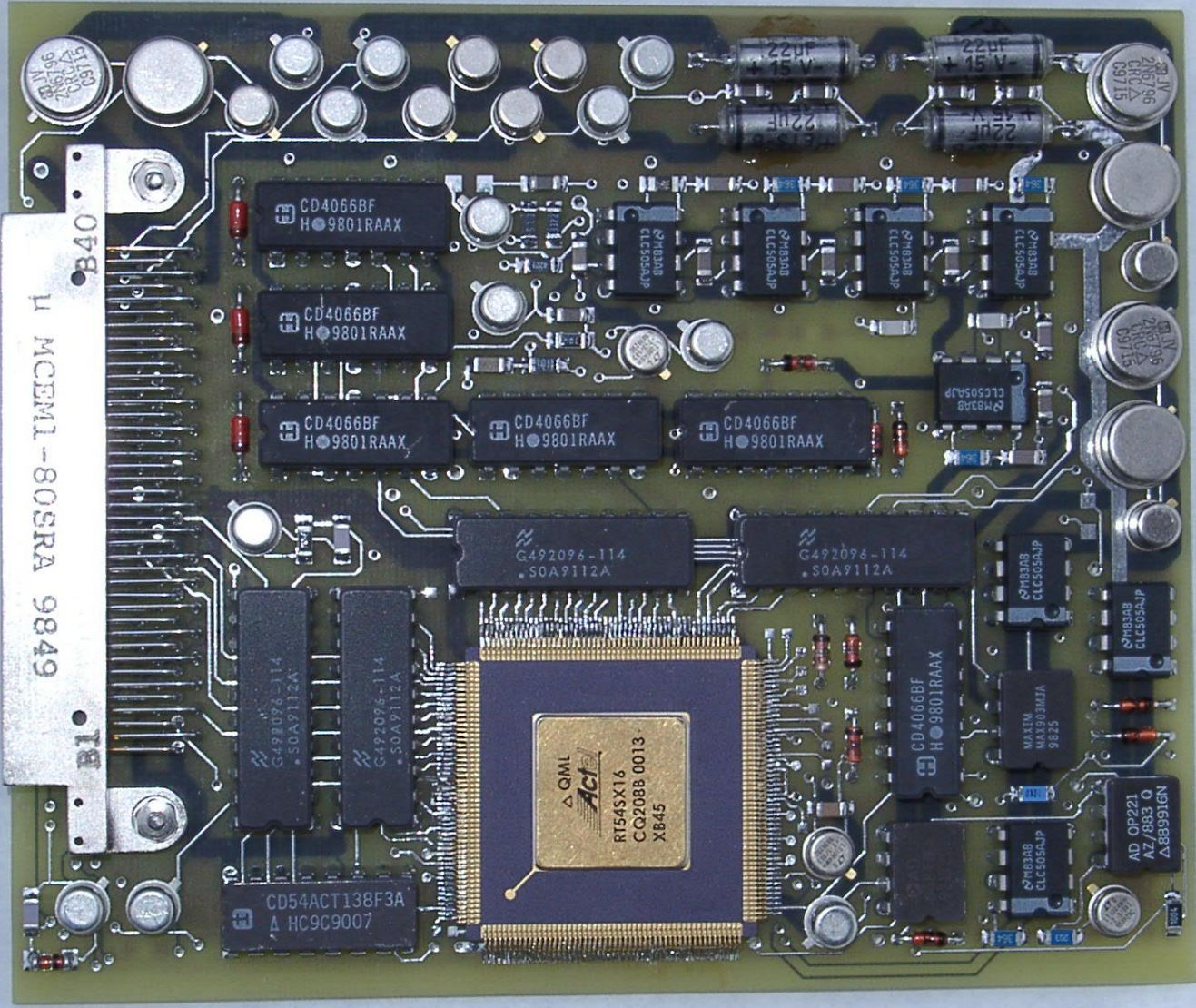






PM1

X



B1
MCEM1-80SRA 9849
B40

CD4066BF
H9801RAAX

CD4066BF
H9801RAAX

CD4066BF
H9801RAAX

CD4066BF
H9801RAAX

CD4066BF
H9801RAAX

G492096-114
SOA9112A

G492096-114
SOA9112A

G492096-114
SOA9112A

G492096-114
SOA9112A

QML
Actel
RT54SX16
CQ208B 0013
XB45

CD54ACT138F3A
HC9C9007

CD4066BF
H9801RAAX

MAX1111
9875

AD OP221
AZ/883 O
Δ88991GN

51769
AZ/883 O
Δ88991GN

51769
AZ/883 O
Δ88991GN

51769
AZ/883 O
Δ88991GN

51769
AZ/883 O
Δ88991GN

51769
AZ/883 O
Δ88991GN

51769
AZ/883 O
Δ88991GN

51769
AZ/883 O
Δ88991GN

51769
AZ/883 O
Δ88991GN

CLC505AJ
H83A8

CLC505AJ
H83A8

CLC505AJ
H83A8

CLC505AJ
H83A8

CLC505AJ
H83A8

CLC505AJ
H83A8

CLC505AJ
H83A8

CLC505AJ
H83A8

CLC505AJ
H83A8

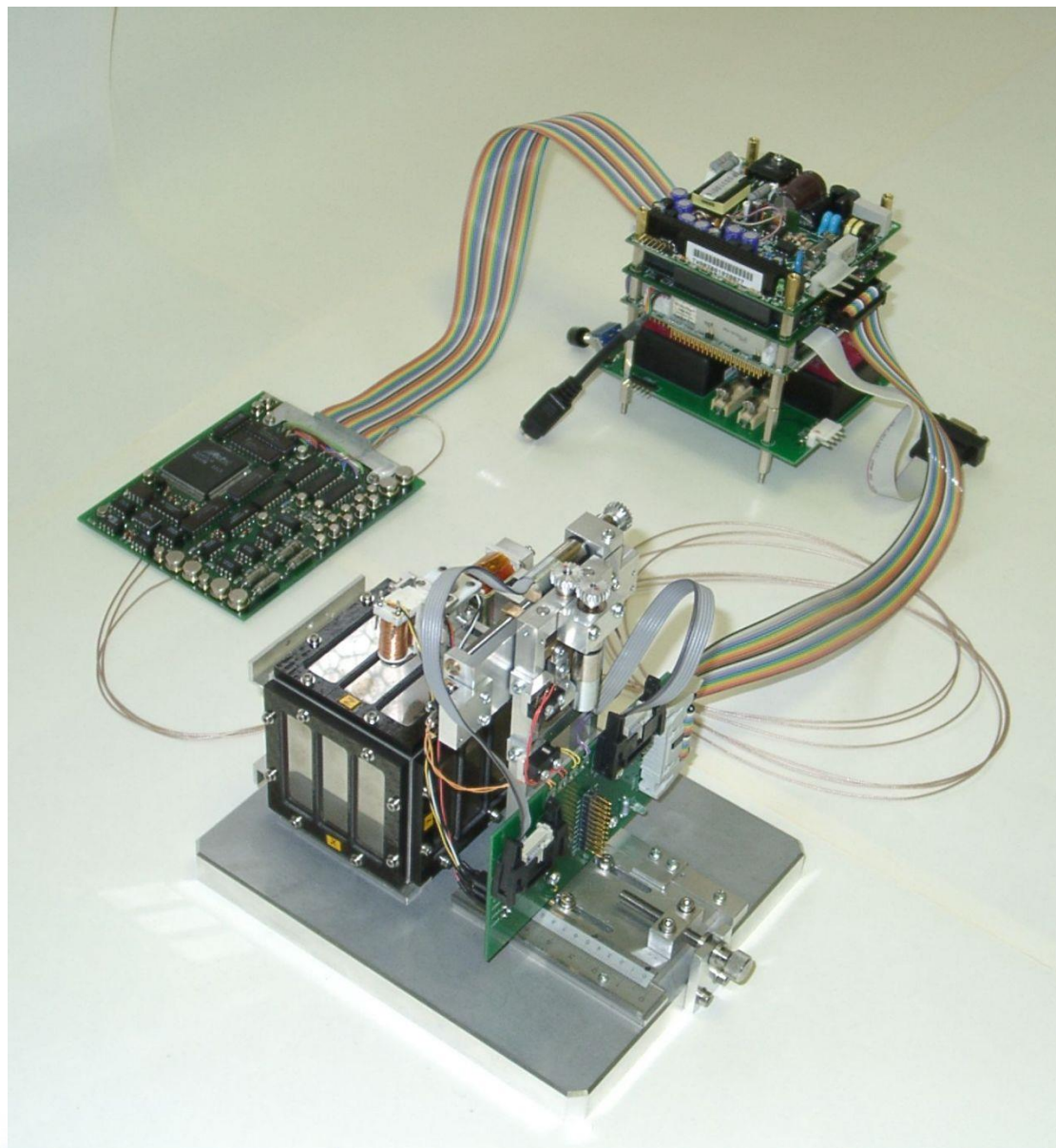
220μF
15V

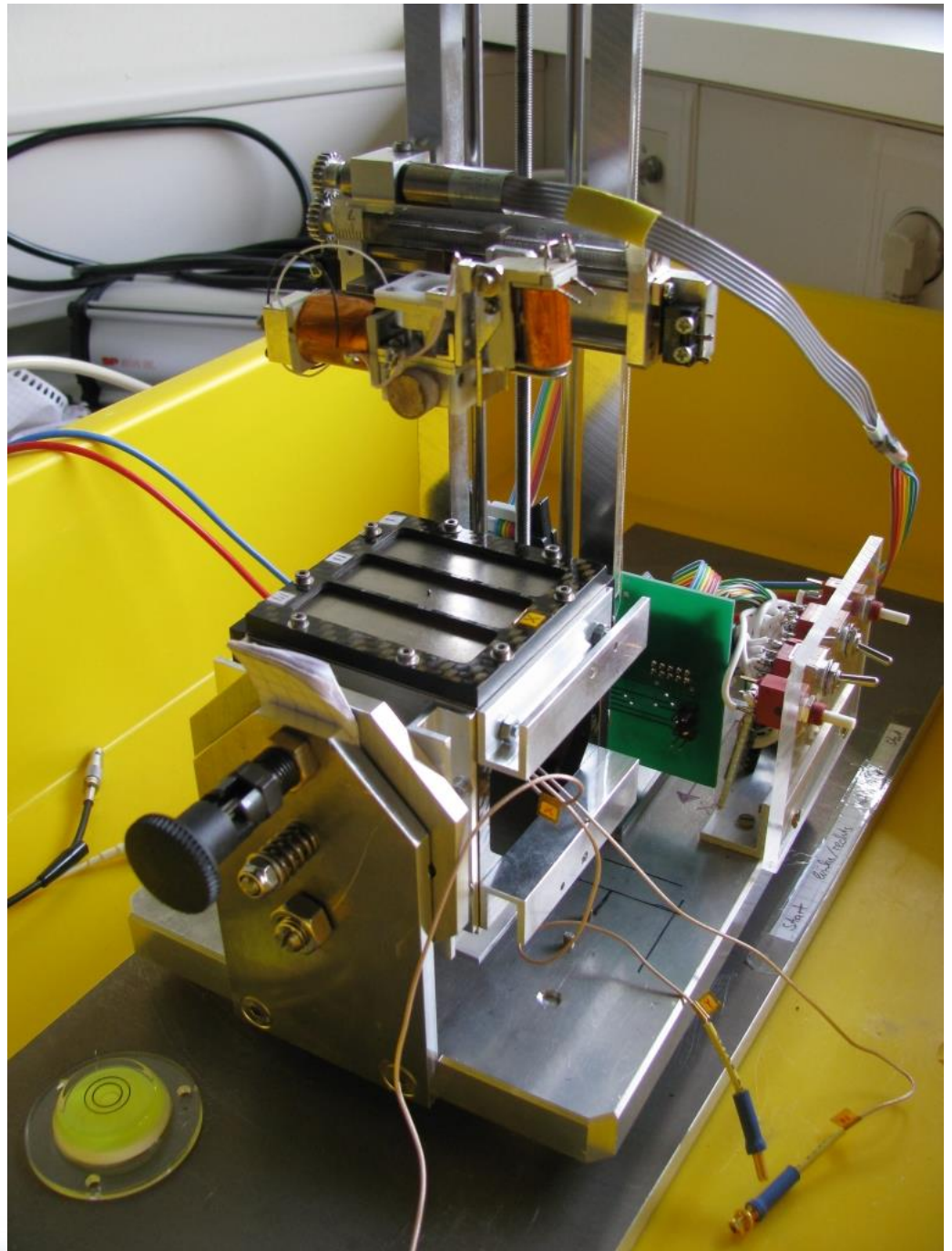
220μF
15V

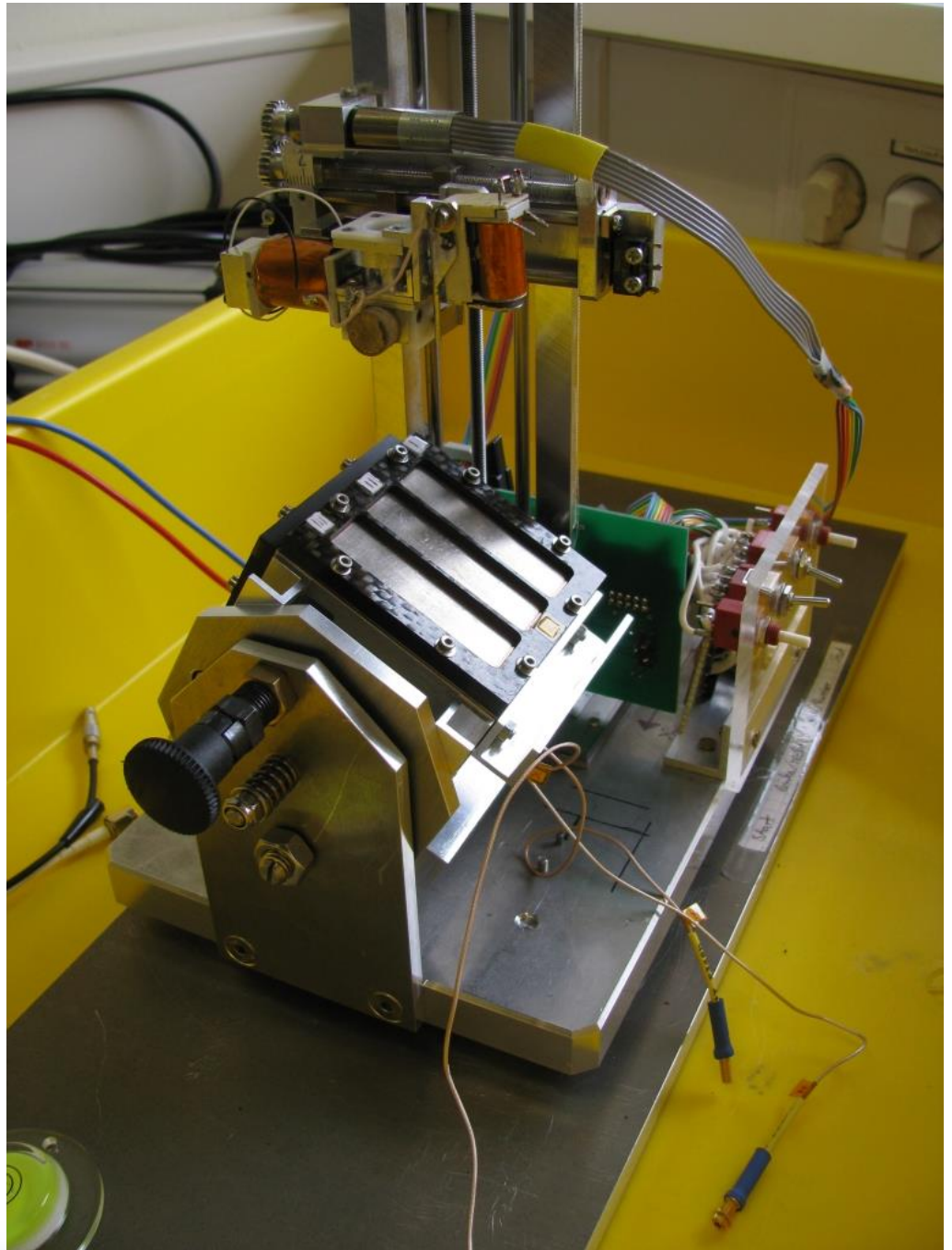
220μF
15V

220μF
15V

A DIM földi kalibráló összeállítása







A Philae működésének szakaszai

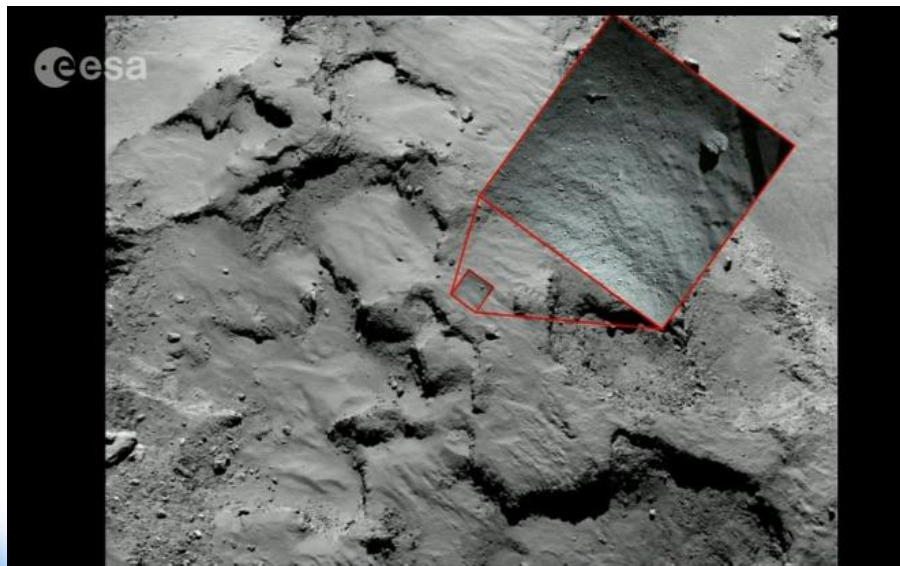
- Beüzemelés, ellenőrzés, SW-módosítás, tudományos mérések
- Beüzemelési szakasz (Commissioning Phase)
 - 4 blokk (2004. május – 2005. március)
- Cirkáló szakasz (Cruise Phase)
 - 12 ellenőrző kampány (Payload Checkouts, passzív, aktív, 2006. március-2014. május)
 - Hibernáció (Deep Space Hibernation, 2011. július – 2014. január)
 - Hibernáció utáni ellenőrző kampány (PHC), 2014. április
- Keringési szakasz (feltérképezés, leszállóhely kiválasztása, 2014. aug.-okt.)
- Leszállási szakasz (Descent Phase, 2014. okt.-nov., 2014. november 12.)
- Alapküldetés (Baseline Mission, 2014. november 12-15.)
- Üstökös-követés (Comet Escort, 2014. november –)



Tartalék leszállóhely



Tervezett leszállóhely



A kölni irányítóközpontban



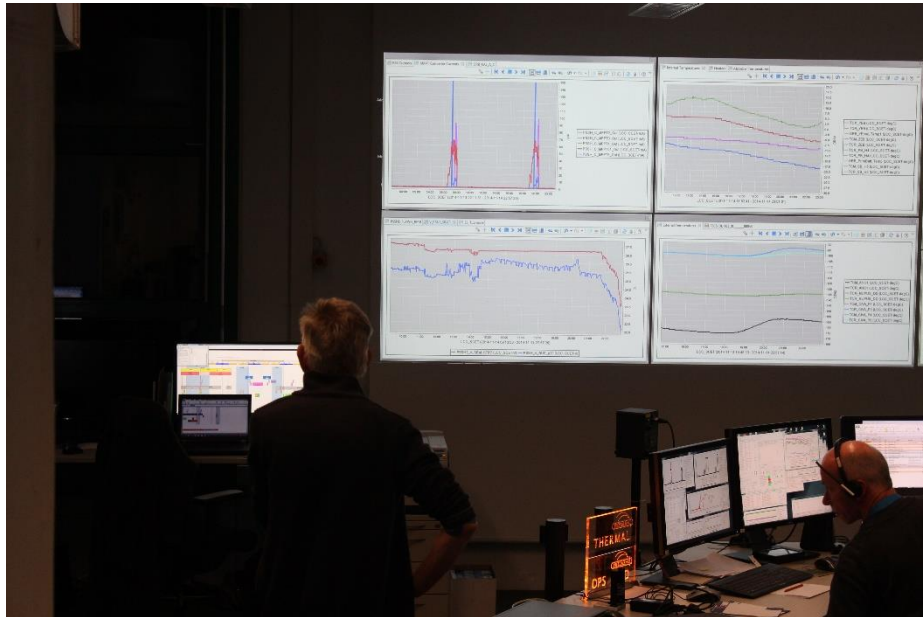
A kölni irányítóközpontban



A kölni irányítóközpontban

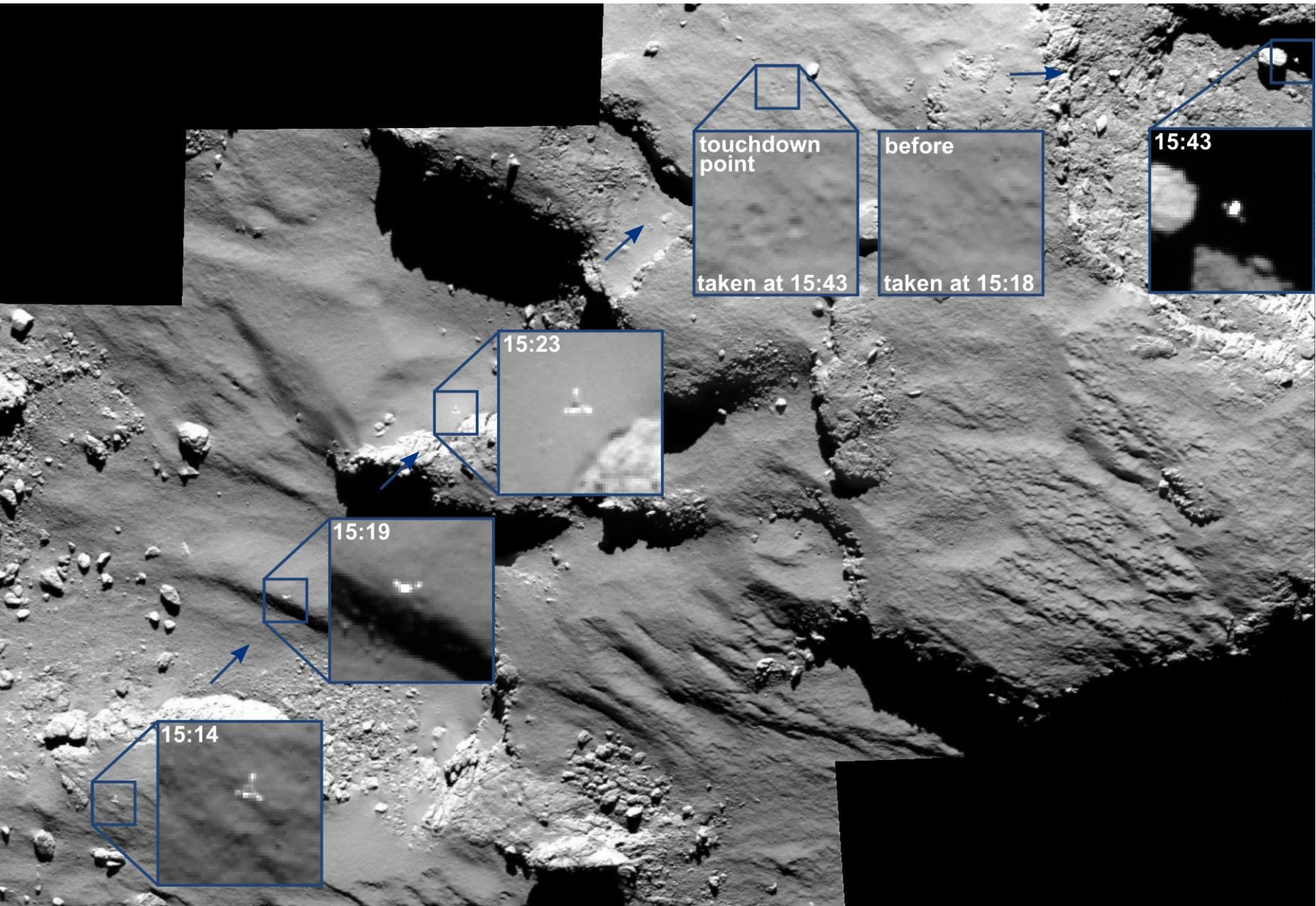


A kölni irányítóközpontban



A leszállás

- Az ereszkedés közel 7 órán át tartott; a Philae forgási periódusa
 - a lábak kinyitása előtt: 5 perc
 - a lábak kinyitása után: 8,5 perc
- Első „üstököst érés” a tervezett helyen (Agilika) 15:34:04 UTC
 - sem a gázfúvóka, se a horgonyok nem működtek → visszapattant
 - továbbrepült (13 s forgási periódus!)
- „Koccanás” talán egy kráter peremén: 16:20 UCT (forgás lelassul)
 - Második leérés: 17:25:26 UTC
 - Végő leszállás (Abydos):17:31:17 UTC



touchdown point
taken at 15:43

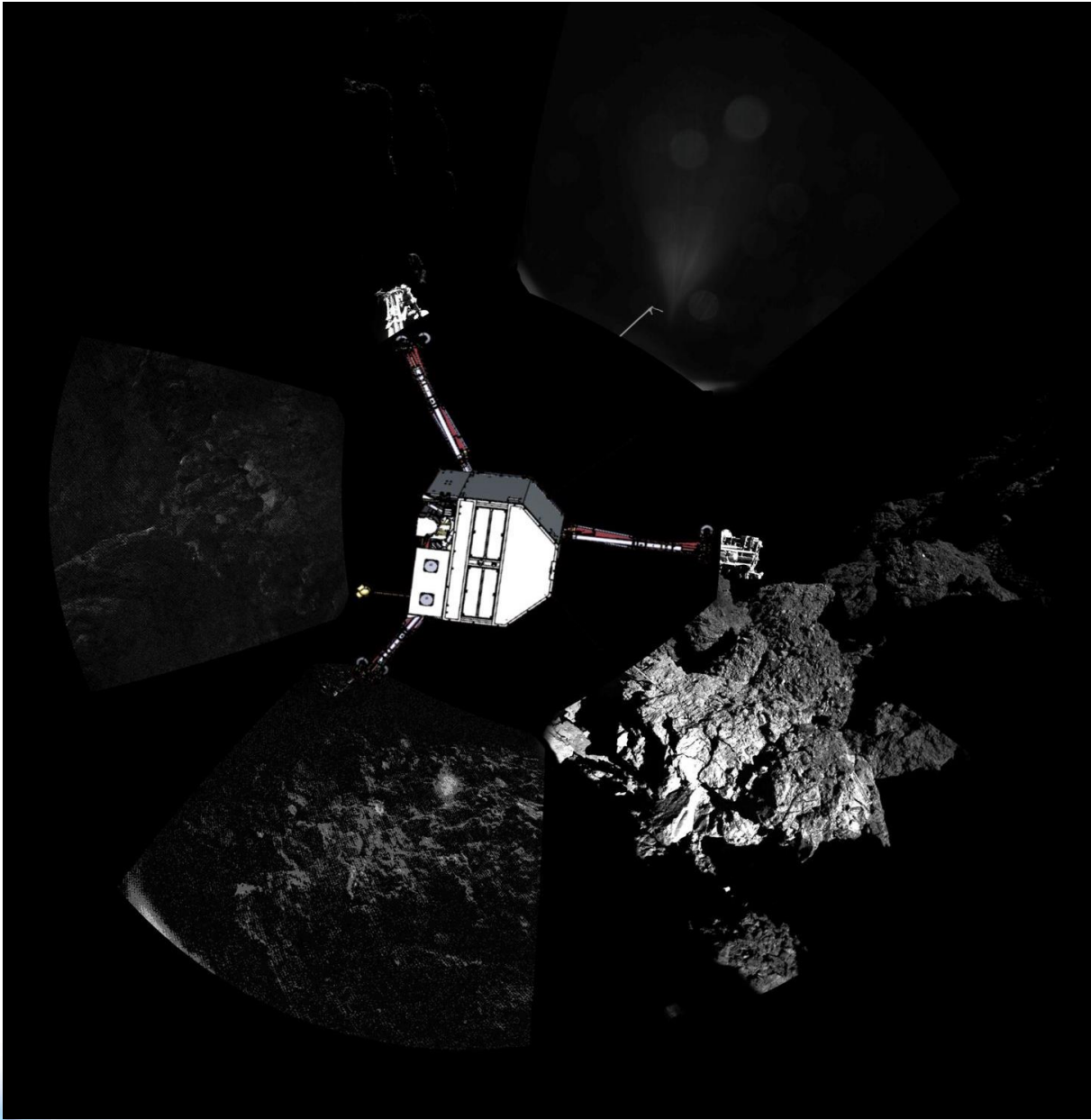
before
taken at 15:18

15:43

15:23

15:19

15:14



Az alapküldetés (FSS) eredményei

- A Philae 64 órán keresztül, az elemek kimerüléséig működött és mért
- Az APXS mozgató mechanikáját kivéve minden műszere kifogástalanul működött
- A mérési feladatok 80%-át teljesítette
- Rossz pozíciója és a felszínhez rögzítés hiánya sok mérésnél hátrányos volt
- A rossz megviágítás miatt az akkumulátorok nem töltődtek, hibernálódott



Az alapküldetés (FSS) eredményei

- A nappalok és éjszakák váltakozása során a hőmérséklet 180°C és -145°C között alakult
- A felszínt borító, finom porból álló néhány centiméteres réteg alatt a tömör jéghez hasonló keménységű anyag található
- Az üstökös mag átlagsűrűsége csupán $0,4 \text{ g/cm}^3$, a jég-por keverék a mélyebb rétegekben 75-85%-os porozitású kell legyen
- 16 szerves vegyületet azonosítottak

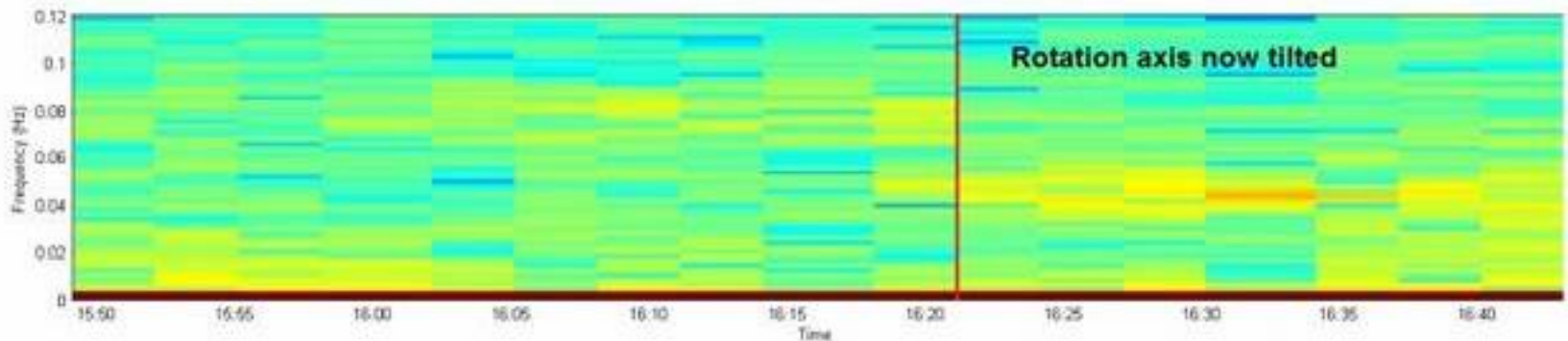
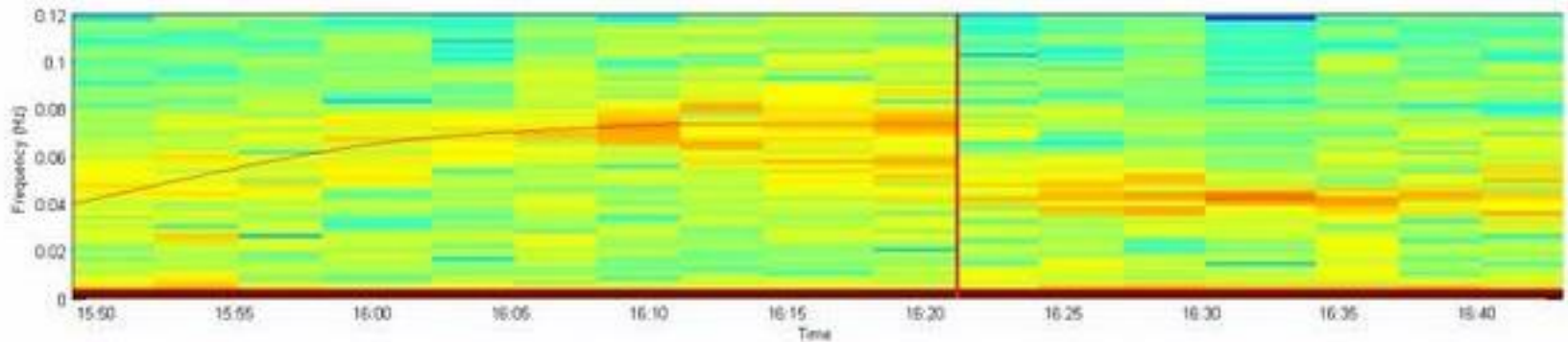
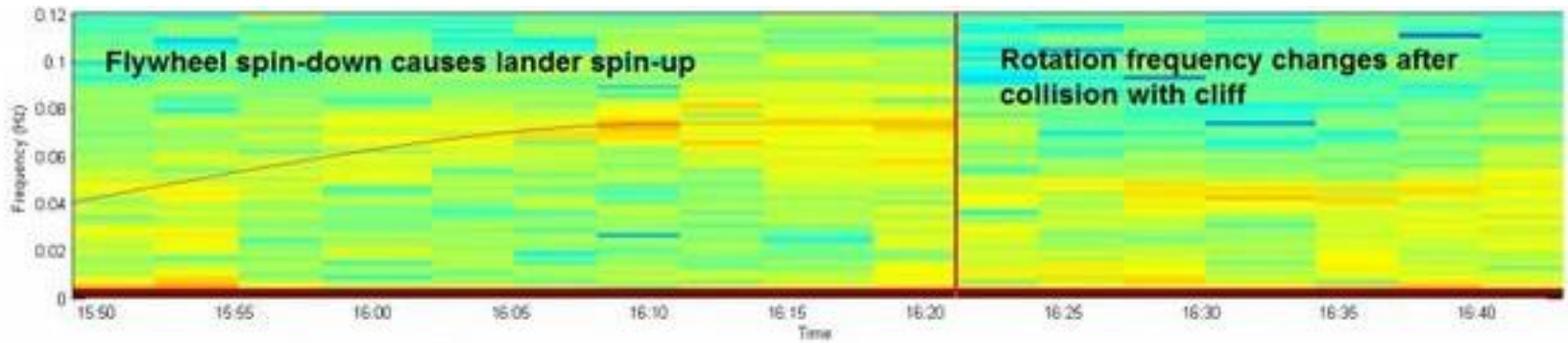


A ROMAP / SPM mérési eredményei

- Az üstökös magjának globális mágneses tere nem mutatható ki
- A ROMAP és az RPC-MAG (Orbiter) magnetométerek adatainak összevetéséből rekonstruálni tudták a Philae orientációját és forgási paramétereit
- A Philae forgása miatt az SPM csak a végső talajéréskor szolgáltatott adatokat, amiből megállapítható a Philae orientációja – a „gödörben” már nem mért

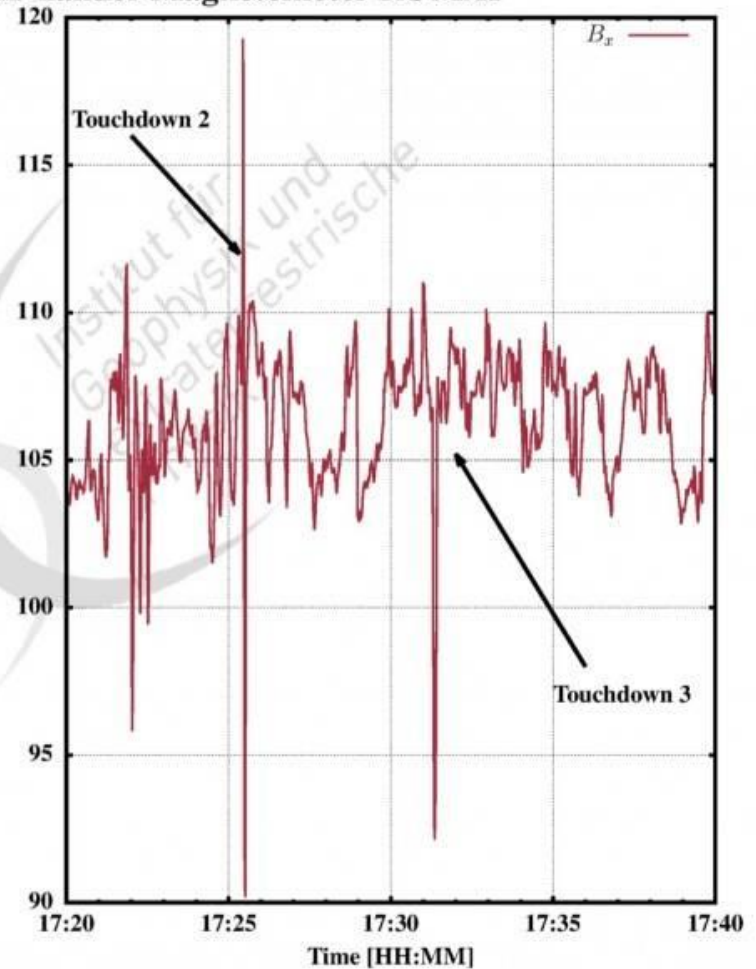
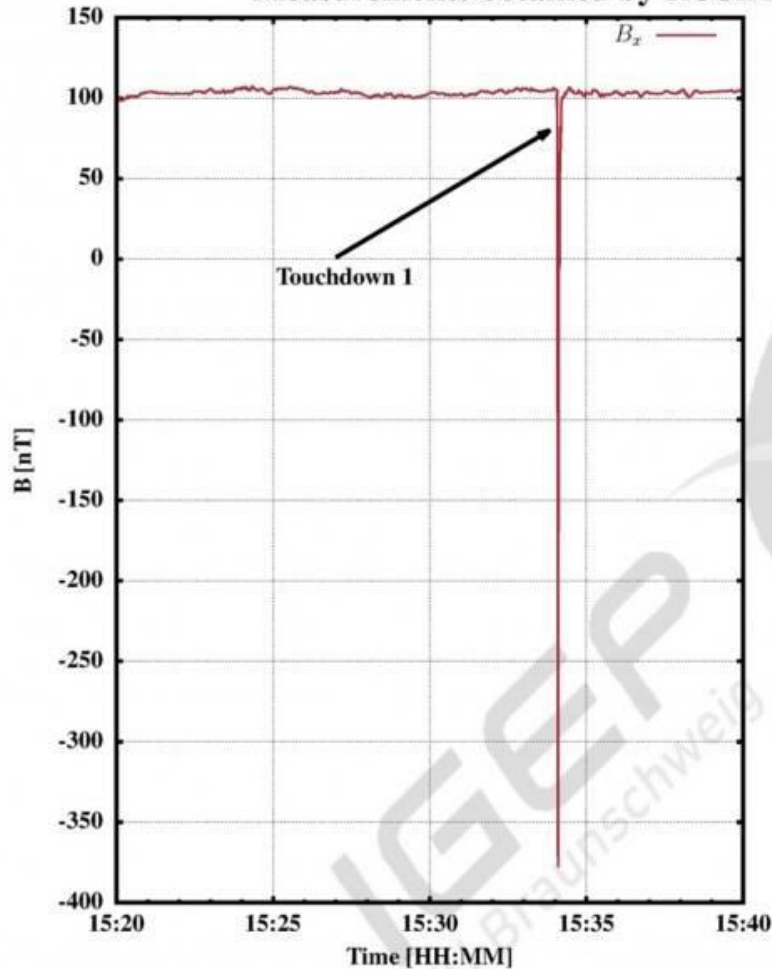


A leszállások érzékelése

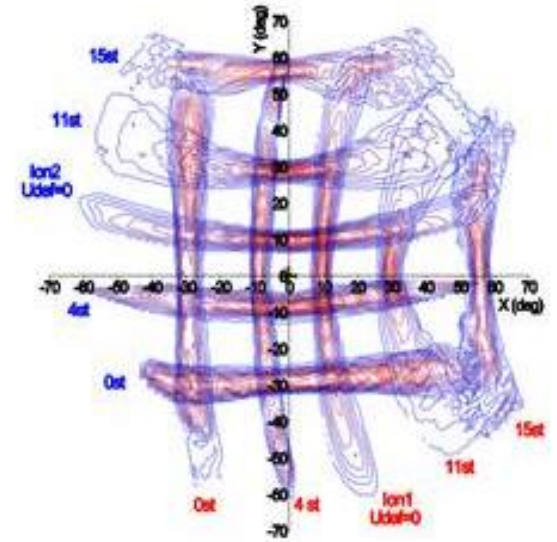
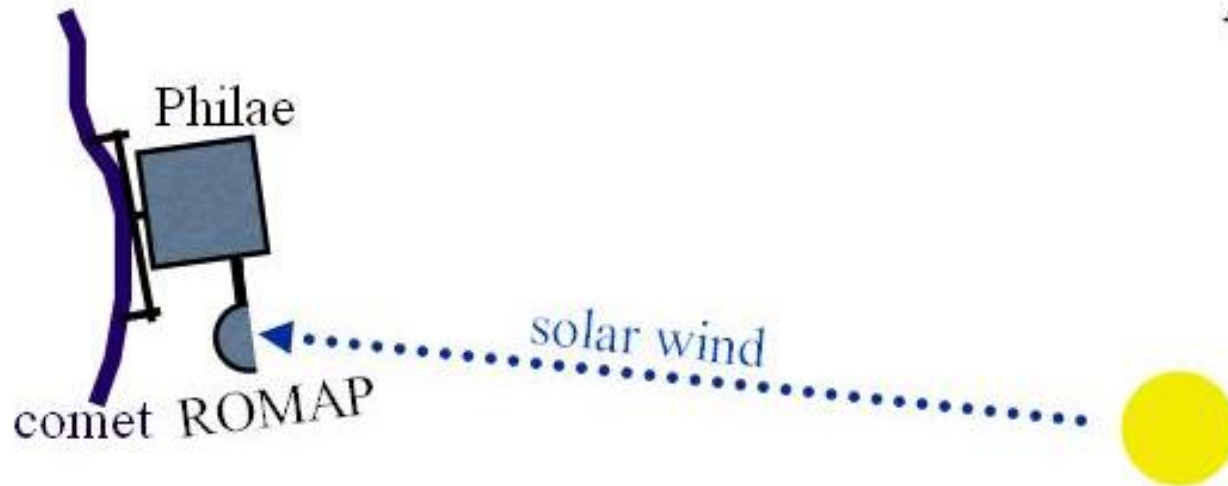


A leszállások érzékelése

Measurements obtained by ROSETTA Lander Magnetometer ROMAP



SPM – napszél iránya (ionok)

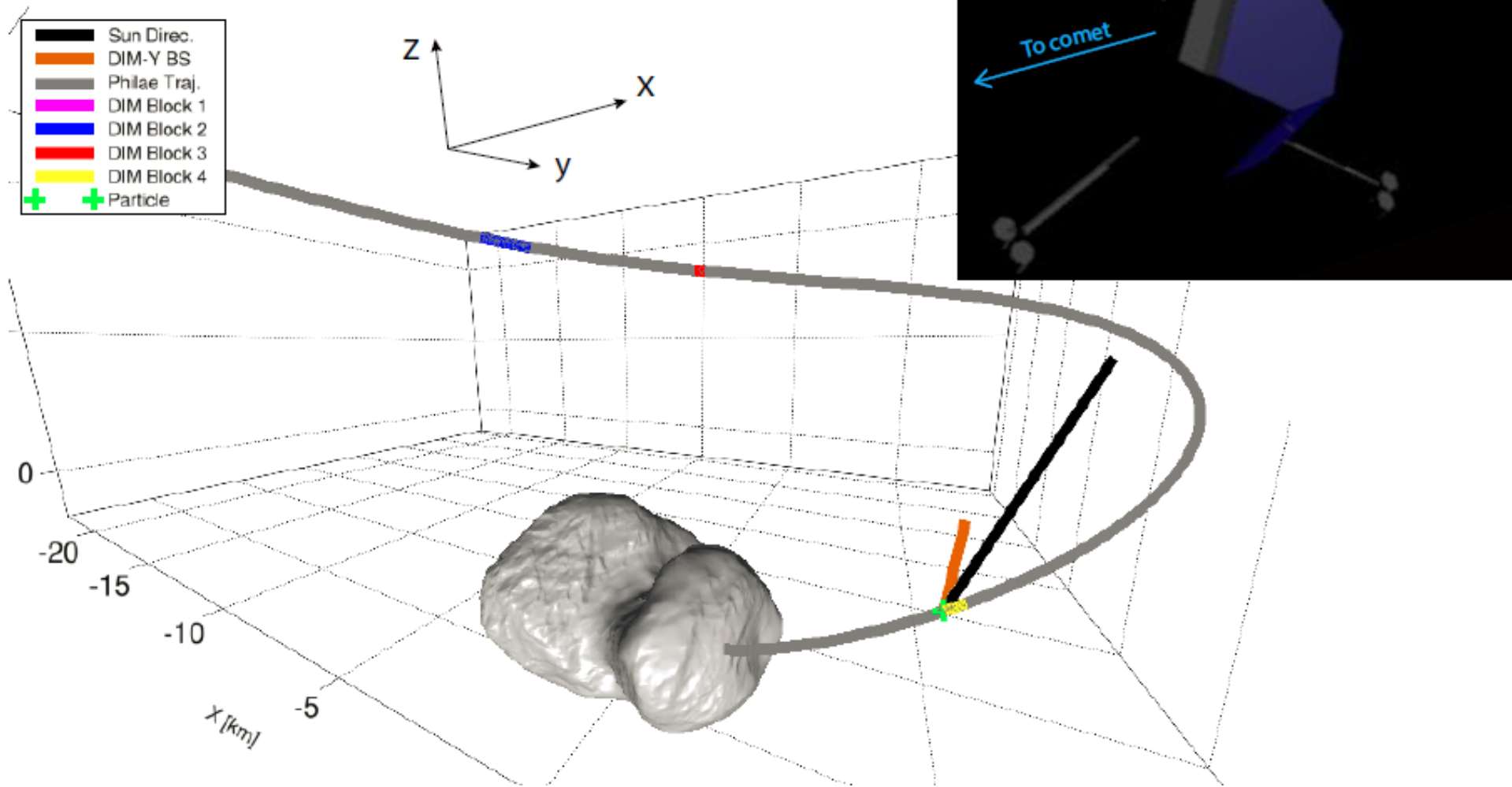


A DIM mérési eredményei

- DIM mérési ciklusok:
 - a leválás előtt egy órával
 - a repülés alatt 3 alkalommal
 - a végső talajérés után 5 alkalommal 1-1 óra hosszan
- Egyetlen detektált részecske (kis üstökös-aktivitás)
 - 1-2 mm átmérőjű
 - a Philae-hez viszonyítva 0,1 – 0,7 m/s sebességgel haladó
 - laza szerkezetű



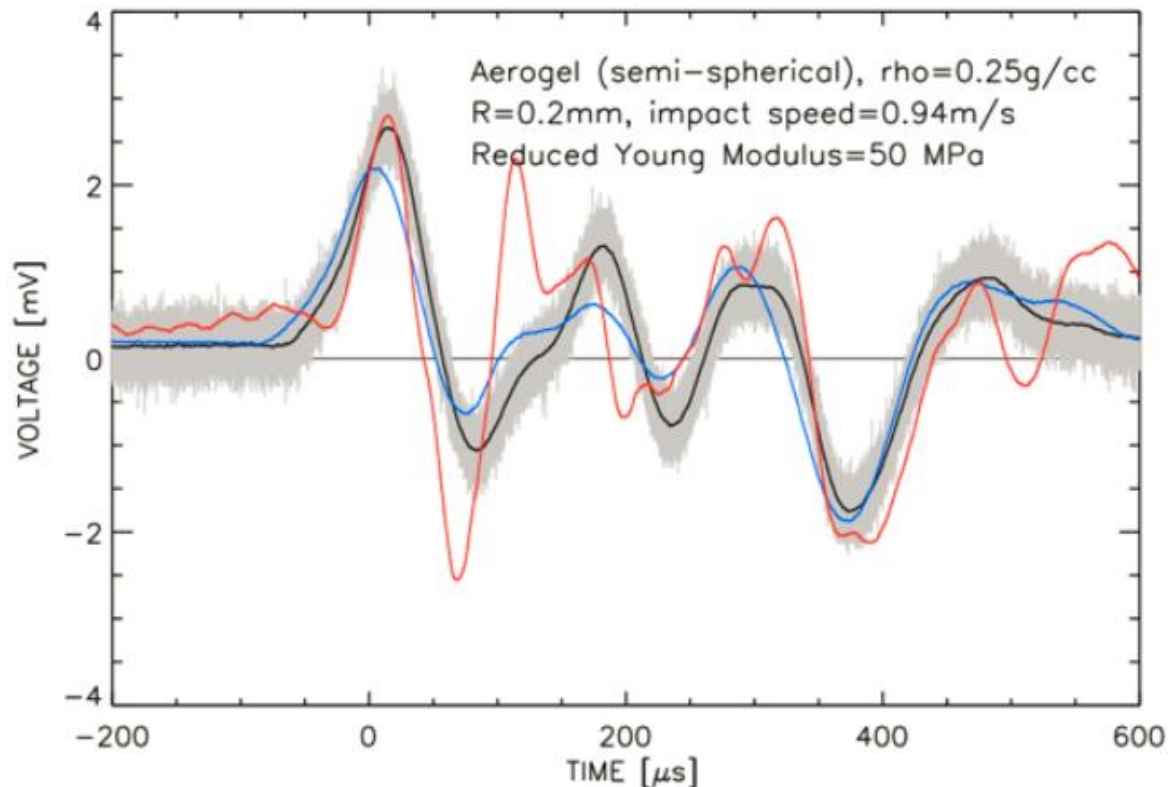
DIM a Philae ereszkedése közben

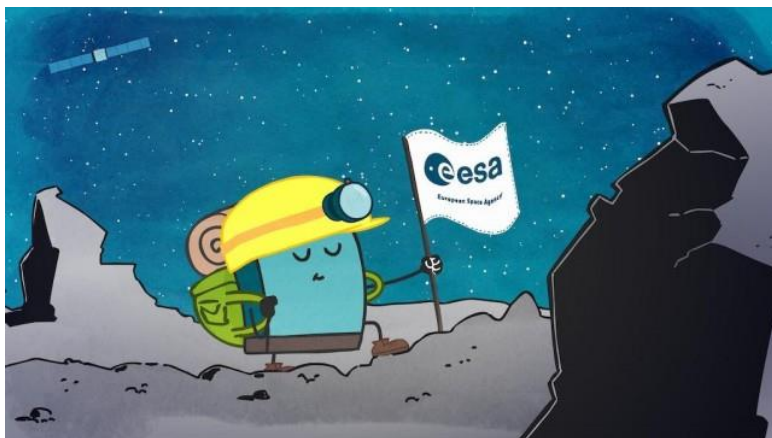


DIM előzetes eredmények

A részecske 😊

- Leszállás közben, ≈ 3 km-re a felszín felett
- Y oldal (oldalra néző)
- $U_{\text{peak}} = 2,07$ V
- $T_c = 61$ μs
- Meglehetősen nagy T_c





... és mi történt
azóta?



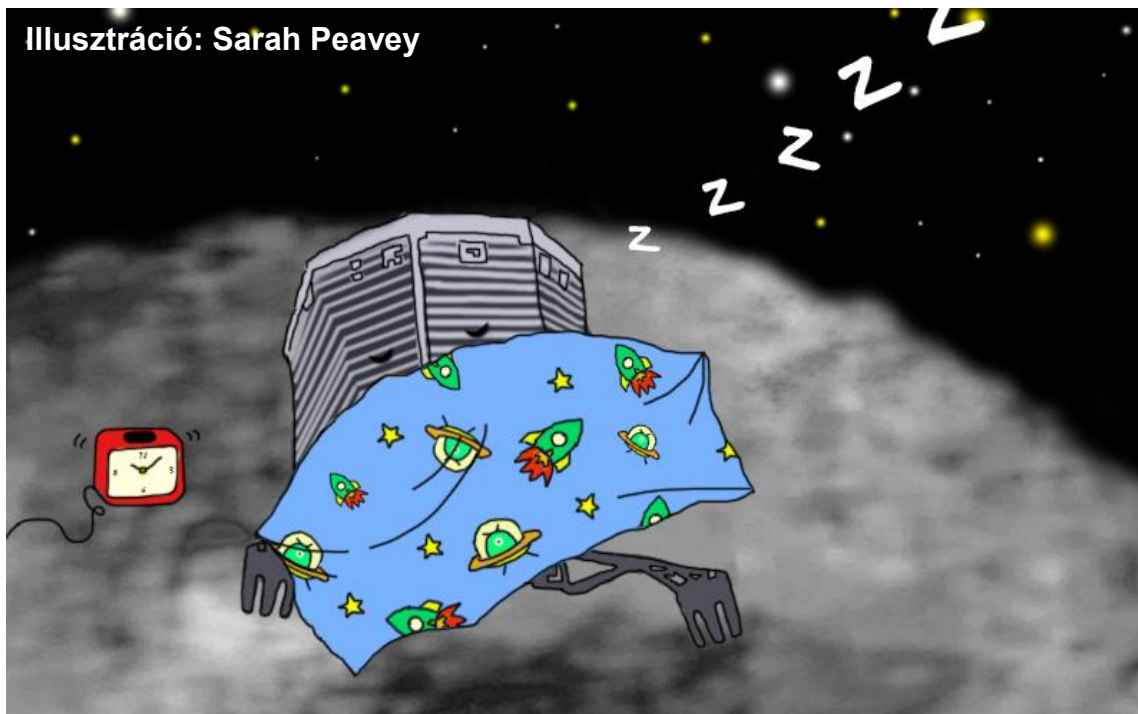
Illusztráció: Tom Schoon

A Philae felébredt

- Folyamatos felkészülés mérésekre
- Az ébredés feltétele: közeledés a Naphoz
 - Kb. -40°C -nál melegebb központi egység
 - Kb. -5°C -nál melegebb akkumulátorok
- Rádiókapcsolat kísérletek 2015. márciustól
- Első rádiókapcsolat: június 13.
 - már április végétől – május elejétől működhetett
- Ismételt, instabil és szakadozott kapcsolatok
 - nincs értékelhető adatforgalom, összetett parancsok nem adhatók
- Utolsó, stabil kapcsolat július 9-én
 - a környezeti feltételek jók, de problémák lehetnek az adó-vevőkkel, az antennával, az Orbiter nagy távolságával, ...



Illusztráció: Sarah Peavey



Köszönöm a figyelmet!

A DIM és SPM műszerekhez való hazai hozzájárulás PRODEX és a 4000107211, valamint a 4000107212 számú PECS szerződések keretében valósult meg.