

4 / 2021
SVAZEK 71

ČESKOSLOVENSKÝ ČASOPIS **PRO FYZIKU**®



• OBJEV „NOVÉ FYZIKY“ VE FERMILABU A CERNU? • EXPERIMENT ATLAS •
ÚEF SAV VO VESMÍRNÝCH MISIÁCH ESA • SOUKROMÁ TERMOJADERNÁ FÚZE •
TENSEGRITNÍ STRUKTURY • ANTUKOVÁ FYZIKA • VZPOMÍNKY NA PROF. VACKA



Ústav experimentálnej fyziky SAV vo vesmírnych misiách ESA

Ján Baláž

Ústav experimentálnej fyziky SAV, Watsonova 47 040 01 Košice; jan.balaz@saske.sk

Už samotný názov tohto príspevku sa môže javiť ako paradoxný, keďže Slovensko dodnes nie je členskou krajinou ESA a jeho formálne integračné aktivity majú ešte len krátku históriu, charakterizovanú najmä prístupovým programom PECS (*Plan for European Cooperating States*), ktorý začal v roku 2015. Napriek tomu, Ústav experimentálnej fyziky (ÚEF) aktívne prispel a prispieva k viacerým prestížnym misiám ESA vďaka svojej 50-ročnej tradícii v oblasti kozmickej vedy a technológie a bohatej medzinárodnej spolupráci s riadnymi členmi ESA.

Na začiatku bol Interkozmos

ÚEF SAV formálne vznikol 1. januára 1969, pričom jedným z jeho zakladajúcich oddelení bolo Oddelenie kozmického žiarenia (neskôr Oddelenie kozmickej fyziky). Toto pracovisko sa takmer okamžite zapojilo do programu ruských kozmických letov Interkozmos, kde medzi prvé experimenty na palube výskumných satelitov patrilo výskum jadrovej zložky kozmického žiarenia prostredníctvom tzv. nukleárných emulzií, ktoré sa po expozícii v kozme vracali na Zem v návratových moduloch a boli analyzované v laboratórnych podmienkach. Doba si však vyžadovala aj modernejšie metódy detekcie kozmických energetických častíc pomocou elektronických detektorov s prenosom informácie telemetrickým systémom satelitu. Keďže novovznik-

nutý ÚEF ešte nemal personál a funkčnú infraštruktúru na konštrukciu kozmických elektronických detektorov, jeho prvé prístroje pre satelity Interkozmos (IK) boli skonštruované na objednávku na Matematicko-fyzikálnej fakulte Univerzity Karlovej v Prahe a niesli označenie PG-1 (IK-3, 1970), PG-1A (IK-5, 1971) a PG-1B (IK-13, 1975). Medzitým bola na ÚEF založená skupina kozmického inžinierstva a jej prvým kozmickým prístrojom, skonštruovaným už v Košiciach, bol detektor SK-1, ktorý bol do kozmu vynesenej na palube satelitu IK-17 (1977). Nasledovala celá séria úspešných košických detektorov kozmických energetických častíc: DOK-T (Prognoz-8, 1980), DOK-1 (Prognoz-10/Inter-shock, 1985), SPE-1 (IK-24/Aktivnyj, 1989), SONG-E (Coronas-I, 1994), DOK-2X (Interball-X, 1995), DOK-2A (Interball-A, 1996), SONG-EM (Coronas-F, 2001).

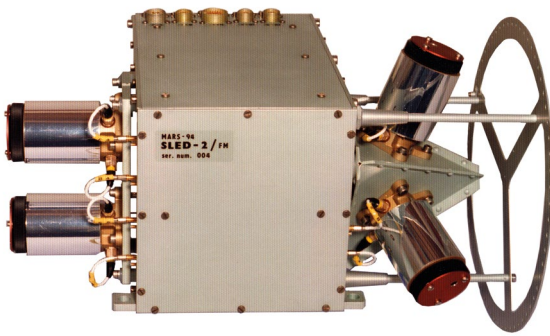
Významná bola aj séria detektorov DOK-S, ktoré ÚEF vyvinul v spolupráci s košickou Technickou univerzitou. Tieto pracovali na palube československých (neskôr českých) satelitov Magion 2, 3, 4, 5 (1989–2002), skonštruovaných na Geofyzikálnom ústave ČSAV v Prahe. Zatiaľ poslednou vedeckou aparaturou ÚEF, ktorá pracovala vo vesmíre v rámci ruského vesmírneho programu bol spektrometer energetických častíc MEP-2, (obr. 1), ktorý spoľahlivo pracoval na palube satelitu Spektr-R / Radioastron v rokoch 2011–2019 [1]. Vo vývoji je časticový spektrometer ASPECT-L pre ruskú mesačnú misiu Luna-26/Orbiter.

Misia Mars-96. Na ruskej sonde s členmi ESA

Koniec osemdesiatych rokov minulého storočia vo vtedajšom Sovietskom zväze charakterizovala najmä Gorbačovova „perestrojka“, v rámci ktorej dochádzalo k nebývalému uvoľňovaniu vzťahov so západnými krajinami. To sa prejavilo aj v mierovom výskume vesmíru, kde sovietske vedenie umožnilo inštitúciám zo západného sveta podieľať sa na ruských vesmírnych misiách. Takto sa pracovníci ÚEF mohli pri inštalácii svojich prístrojov stretávať so západnými kolegami z členských krajín ESA, napr. na satelitoch magnetosfé-



Obr. 1 Programovateľný spektrometer kozmických energetických častíc MEP-2 skonštruovaný na ÚEF SAV úspešne pracoval na palube satelitu Spektr-R / Radioastron takmer 8 rokov. Zdroj: ÚEF



Obr. 2 Spektrometer SLED-2 pre misiu Mars-96 bol spoločným dielom slovenského ÚEF-SAV, írskeho STIL, nemeckého MPAe, českého AsÚ AVČR, maďarského KFKI a ruského IKI. Na orbitu okolo Marsu sa bohužiaľ nedostal kvôli poruche raketového motora. Zdroj: MPAe/MPS

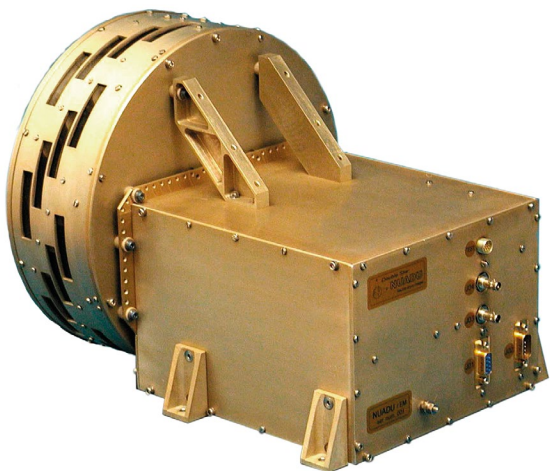
rickej misie Interball, avšak pri koncipovaní medziplanetárnej misie Mars-94 už vznikli medzinárodné pracovné tímy a vývoj spoločných vedeckých aparátúr.

Takto v roku 1989 vznikol aj veľmi efektívne spolupracujúci tím, ktorého cieľom bolo vyslať k planéte Mars spektrometer energetických častíc SLED-2 (obr. 2).

Tím pozostával zo slovenského ÚEF, českého Astronomického ústavu AVČR, írskeho Laboratória kozmických technológií STIL, vtedajšieho nemeckého Max-Planckovho inštitútu pre aeronomiu (teraz Max-Planckov inštitút pre solárny systém), vtedajšieho maďarského KFKI (teraz Wignerov inštitút jadrovej a časticovej fyziky) a ruského ústavu kozmických výskumov IKI. Z misie Mars-94 sa kvôli zmeškaniu štartovacieho okna stala misia Mars-96, štart sa uskutočnil 16.11.1996 z Bajkonuru, avšak kvôli zlyhaniu raketového motora sonda nedosiahla únikovú rýchlosť zo Zeme a napokon zanikla v Pacifiku. Aj keď sa táto misia nevydarila, intenzívna 6-ročná spoločná práca na jej príprave vyústila k nadštandardným osobným kontaktom pracovníkov ÚEF s pracoviskami z členských krajín ESA a k sérii ďalších spoločných aktivít.

Double Star – do magnetosféry s ESA a s Čínou

Misia Double Star (Dvojhviezda, *Shuang-Xing*) vznikla ako spoločný projekt ESA a Čínskej národnej koz-



Obr. 3 Snímkovací detektor energetických neutrálnych atómov NUADU úspešne pracoval na palube satelitu Double Star TC-2 v rokoch 2004–2009 a poskytol množstvo panoramatických snímok energetických časticových fyzikálnych procesov v zemskej magnetosfére. Zdroj: ÚEF

mickej agentúry CNSA. Cieľom bol prieskum zemskej magnetosféry pomocou dvoch satelitov TC-1 a TC-2, ktoré mali za úlohu rozšíriť už existujúcu štvoricu satelitov ESA-Cluster na 6-člennú flotilu a tým zabezpečiť až 6-bodové paralelné merania v magnetosfére. Čínska strana zabezpečovala satelity a časť vedeckého nákladu, európska strana zabezpečila inštaláciu existujúcich záložných aparátúr z projektu Cluster, avšak s jednou výnimkou – pre satelit TC-2 mala Európa dodať aj novovyvinutý prístroj, snímkovací detektor energetických neutrálnych atómov (*ENA-imager*) NUADU (obr. 3). Ten bol vyvinutý v rámci spolupráce slovenského ÚEF, írskeho Laboratória kozmických technológií STIL, švédskeho Ústavu kozmickej fyziky IRF a čínskeho Centra pre kozmickú vedu a aplikovaný výskum CSSAR (v súčasnosti NSSC).

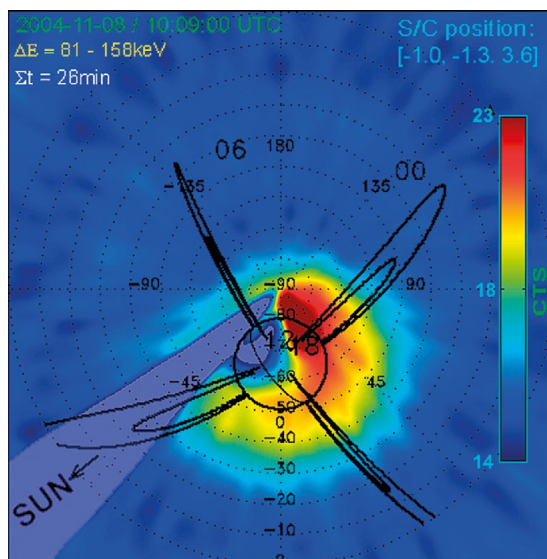
NUADU (*NeUtral Atom Detection Unit*) [2] bol úspešne realizovaný v rokoch 2000–2004 a na palube TC-2 štartoval do kozmu 20. júla 2004 z kozmodró-



Obr. 4 Testy vedeckého nákladu satelitu TC-2 na čínskom kozmodróme Tai-Yuan krátko pred štartom. Uprostred senzor NUADU pokrytý optickým solárnym reflektorom. Zdroj: autor

mu Tai-Yuan (obr. 4). Zatiaľ čo ostatné vedecké prístroje satelitu TC-2 zabezpečovali tzv. „in-situ“ merania, NUADU robil v podstate diaľkové snímkovanie zemskej magnetosféry prostredníctvom energetických neutrálnych atómov (ENA), ktoré vznikajú neutralizáciou energetických iónov pri ich interakcii s atómami neutrálneho vodíka geokoróny.

Keďže elektricky neutrálne atómy sa v magnetickom poli Zeme pohybujú priamočiaro ako fotóny, môžu byť efektívne využité na zobrazenie oblastí magnetosféry, kde je vysoká koncentrácia energetických častíc na pozadí neutrálnej vodíkovej geokoróny, najmä oblastí zachytenej radiácie (Van Allenove radičné pásy, resp. tzv. prstencový prúd), prípadne aj polárne oblasti, kde energetické ióny efektívne prenikajú do atmosféry. Na generovanie ENA snímok NUADU využíval 16 polovodičových detektorov pravidelne rozmiestnených v elevačnej rovine satelitu a rotáciu satelitu s periódou 4 sekundy. Každá otáčka satelitu, synchronizovaná slnečným senzorom, bola rozdelená na 128 sektorov, čím bola celá „nebeská sféra“ (4PI) nasnímaná do 2048 ENA pixelov. Nabité energetické častice boli zo zorného poľa odkláňané vysokonapäťovými deflektormi s napätím 10 kV. NUADU spoľahlivo pracoval na orbite v rokoch 2004–2009 a priniesol množstvo hodnotných vedec-

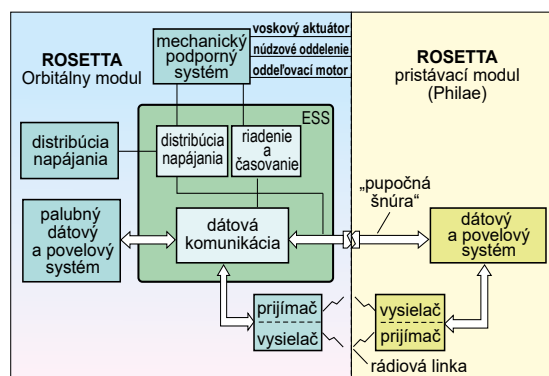


Obr. 5 Morfológia tzv. prstencového prúdu vo Van Allenových radiačných pásoch ako ju z výšky 39 000 km nad severným pólom zaznamenal NUADU počas silnej magnetickej búrky 8. novembra 2004. Dobre viditeľný je prienik energetických častíc do magnetosféry na nočnej strane a ich drift z východu na západ. Zdroj: ÚEF

kých dát, napr. [3]. Populárnou formou o misii Double Star referujú články [5], [6].

Rosetta – prvýkrát na kométe

„Keďže nemôžeme doniesť kométu do našich pozemských laboratórií, pošleme naše laboratórium na kométu,“ to boli slová Rogera Bonnetta začiatkom 90-tych rokov minulého storočia, vtedajšieho vedeckého riaditeľa ESA. Cieľom misie Rosetta teda bolo vyslať komplexnú sondu na blízky prieskum materiálu a fyzikálnych procesov na kométe (pôvodne Wirtanenovej) pri



Obr. 6 Funkčná bloková schéma ESS procesora a jeho integrácia v systéme sondy. Zdroj: ESA, STIL

jej prechode zo studených oblastí slnečnej sústavy, cez prechod perihéliom a návratom do studených oblastí.

Sonda Rosetta pozostávala z dvoch častí, hlavnej sondy (orbitera) a pristávacieho modulu (lander), ktorý ako prvý v histórii mal mätko pristáť na povrchu kometárneho jadra a uskutočniť miestne fyzikálne analýzy. Kontrakt na vývoj a realizáciu tzv. ESS-procesora (Electrical Support System) sondy [7] získalo írské laboratórium STIL. Úlohou ESS bolo počas spoločného letu zabezpečovať napájanie a káblovú komunikáciu orbitera s landerom, riadiť oddelenie landera v deň „D“ presne zadanou rýchlosťou a následne zabezpečovať obojsmernú rádiovú komunikáciu s ním. Keďže

išlo o kritický systém sondy, bol konštruovaný z komponentov najvyššej kozmickej kvalifikácie a bol stopercentne zálohovaný (dva identické systémy).

Každý nominálny systém pozostával z troch elektronických modulov: dosky CPU (Central Processing Unit) s procesorom Harris 80C86RH, dosky IF (Inter-Faces) komunikačných rozhraní na báze FPGA (Field Programmable Gate Array) Actel RH1280, linkovými vysielacími-prijímačmi a obvodmi bezkonfliktného zálohovania systémov a napokon z dosky PD (power distribution) distribúcie a monitoringu napájania landera Philae cez „pupočnú šnúru“ (umbilical cable). Na vývoj a realizáciu ESS procesora, STIL zostavil medzinárodný pracovný tím, ktorého súčasťou sa stal aj ÚEF na základe historicky osvedčenej spolupráce z predošlých vesmírnych projektov.

Kvôli problémom s nosnou raketou Ariane-5G+ Rosetta štartovala 2. marca 2004 s vyše jednoročným oneskorením za novým cieľom, kométou 67P/Čurju-



Obr. 7 Práce na ESS procesore v laboratóriách STIL za veľmi prísnej technologickej disciplíny a pod dohľadom inšpektorov ESA. Všetky komponenty, technologické postupy, operátori a pracovné priestory museli získať certifikát ESA na realizáciu tohto kritického systému. Zdroj: autor

mov-Gerasimenko. Po náročnej 10-ročnej ceste a viacerých gravitačných asistenciách planét Zem a Mars, blízkyh preletov okolo asteroidov Steins a Lutetia a vyše dvojročnej hibernácii, Rosetta dosiahla kométu 67P v auguste 2014 a bezprostredne začala jej prieskum. Jeho súčasťou bol aj výber miesta na pristátie landera. Historické pristátie sa napokon uskutočnilo 12. no-

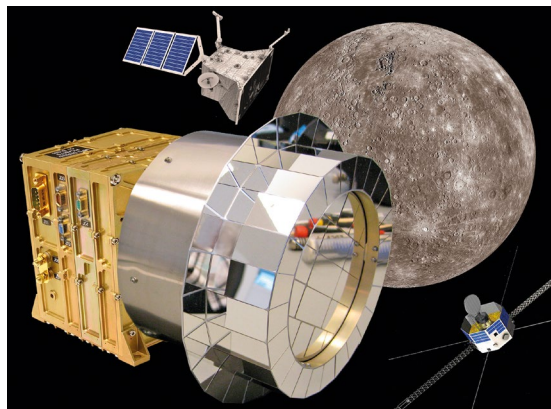


Obr. 8 ESS procesor sondy Rosetta. Zdroj: ESA, STIL

vembra 2014, pričom bol lander (až za letu pokrstý ako Philae) oddelený rýchlosťou 19 cm/s a v slabom gravitačnom poli klesal z výšky 22 km počas 7 hodín.

Prvý kontakt s planinou Agilkia bol veľmi presný, avšak došlo k zlyhaniu kotviacich harpún a prítlačného reaktívneho motorčeka, čo viedlo k odskokom od povrchu a konečné miesto pristátia bolo na neznámom mieste v tienistej rokline, kde vzhľadom na nedostatok slnecnej energie Philae pracoval na vedeckých experimentoch iba 57 hodín a po vybití primárnych batérií došlo k jeho hibernácii. Zostávala nádej, že po priblížení kométy k perihéliu sa solárnym panelom dostane viac energie a Philae ožije. ESS-procesor sa z paluby orbitera často pokúšal o spojenie s Philae, napokon sa zopár technických spojení podarilo až v júni 2015, tie však potvrdili vážne poškodenia landera nízkymi teplotami a žiadne vedecké experimenty sa už nepodarili. Napriek tomu sa ESS pokúšal o spojenie s Philae takmer až do konca misie, tá bola ukončená 30 septembra 2016 riadeným nárazom orbitera do jadra kométy.

Nominálny ESS procesor pracoval počas celej misie bezchybne, jeho záložné „dvojča“ bolo sporadicky testované, avšak vôbec nebolo potrebné „povolať ho

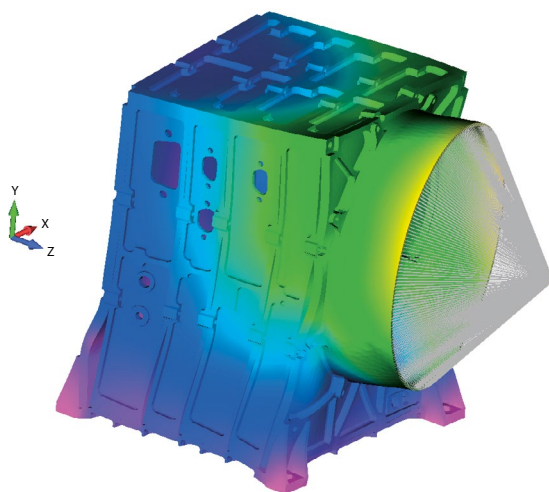


Obr. 9 Planetárna iónová kamera SERENA / PICAM. V pozadí európska sonda MPO a japonská MMO. Zdroj: ESA, JAXA, IWF

do aktívnej služby“. Rosetta poskytla obrovské množstvo cenných vedeckých dát, mnohé ich analýzy už boli publikované v prestížnych vedeckých časopisoch a mnohé ešte len čakajú na spracovanie.

BepiColombo – k planéte Merkúr

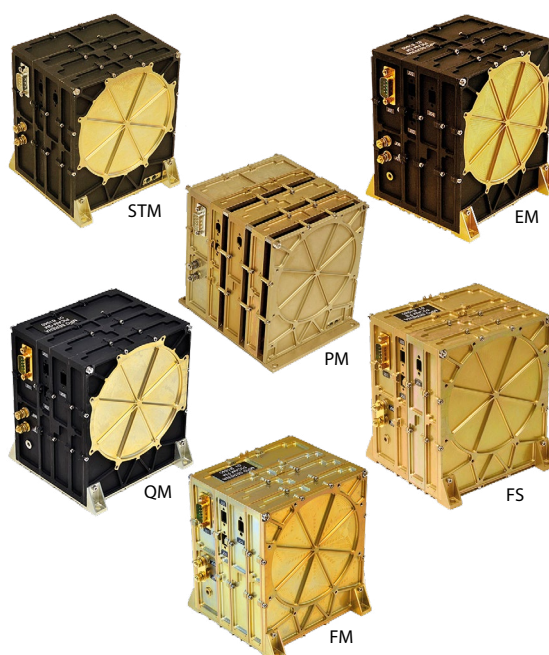
Misia BepiColombo je spoločnou misiou ESA a japonskej agentúry JAXA k planéte Merkúr, ktorá na svoju sedemročnú púť odštartovala raketou Ariane 5 z Kozmodrómu Kourou 20. októbra 2018. Spoločný transferový modul nesie dva satelity, Európsky planetárny orbiter MPO a japonský magnetosférický orbiter MMO. Súčasťou MPO je aj vedecký komplex SERENA (*Search for Exospheric Refilling and Emitted Natural Abundances*) [8], [9], ktorého súčasťou je aj iónový hmotnostný spektrometer PICAM (*Planetary Ion CAMera*, obr. 9). Jeho úlohou je analyzovať rýchlostnú a hmotnostnú distribúciu iónov na nízkej orbite okolo Merkúra. Popri monitorovaní slnečného vetra a jeho interakcií s prostredím Merkúra, PICAM umožní analyzovať aj jeho povrchové chemické zloženie, keďže Merkúr v podstate nemá atmosféru a jeho ionosféra, siahajúca až k povrchu planéty, je transportným prostredím pre ióny uvoľňované z povrchu intenzívnou radiáciou zo Slnka. Na identifikáciu iónov PICAM využíva komplex-



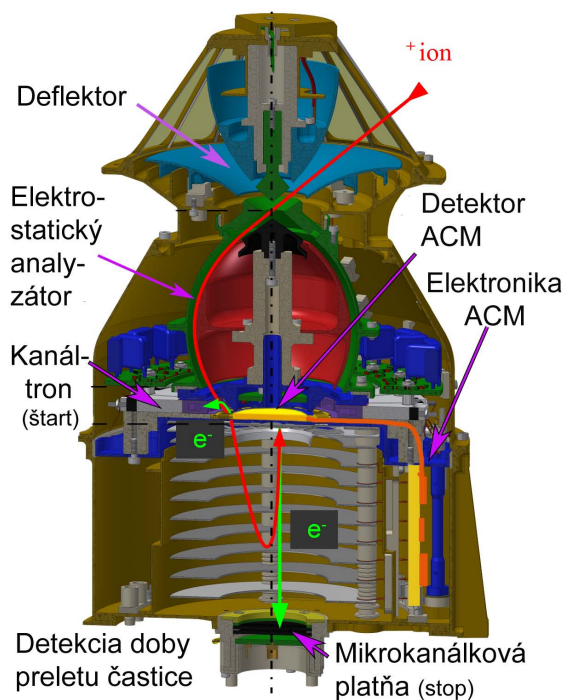
Obr. 10 Pri virtuálnych pevnostných analýzach (FEA) a optimalizácii elektronického boxu vypomáhali slovenské technologické firmy Q-Products a Solve-Mechanics. Zdroj: Q-Products

nú skenovaciu iónovú optiku v kombinácii s tzv. TOF (*Time Of Flight*) sekciou, ktorá meria dobu preletu iónu systémom. PICAM má vysokú priestorovú rozlišovaciu schopnosť, uhlové pokrytie celej hemisféry (2PI), registruje ióny v energetickom rozsahu 1 eV až 3 keV a s hmotnostným rozlíšením do atómovej hmotnosti 132 (Xenón).

Ku konštrukcii aparatury PICAM prispel aj ÚEF v oblasti dizajnu, pevnostných simulácií a samotnej výroby mechanických častí, pričom ultraľahká mechanická štruktúra elektronického boxu (obr. 10 a 11) je zároveň podpornou štruktúrou relatívne ťažkého senzového systému. PICAM je až nezvyčajne internacionálny, modulárne koncipovaný prístroj, jeho jednotlivé subsystémy boli vyvinuté a dodané rôznymi inštitúciami z mnohých krajín. ÚEF prispel v rámci spolupráce s írskym STIL a rakúskym Ústavom kozmických výskumov IWF (*Institut für Weltraumforschung*), v ktorom aj prebiehala samotná integrácia prístroja.



Obr. 11 Vývoj PICAM-u si vyžiadala až šesť modelov elektronického boxu, všetky boli vyrobené na Slovensku (ÚEF a Q-Products). K Merkúru napokon letí až posledný z nich (Flight Spare model). Zdroj: ÚEF

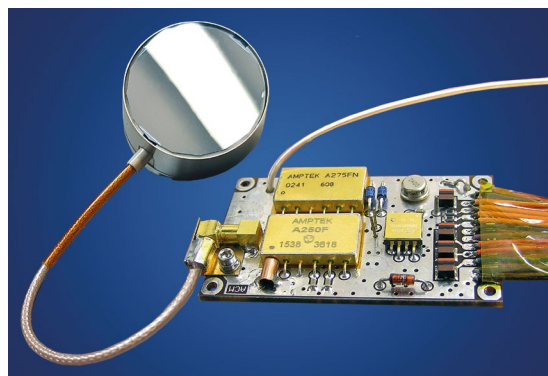


Obr. 12 Prierez systémom senzora PEP-JDC. Zdroj: IRF

JUICE – k ľadovým mesiacom Jupitera

Štart misie JUICE (*JUpiter ICy moon Explorer*) k Jupiteru a jeho ľadovým mesiacom je v súčasnosti stanovený na september 2022 a po viacerých gravitačných asistenciách od Zeme, Venuše a Marsu by sa sonda mala zachytiť na orbite okolo Jupitera koncom roka 2029. Ako obežnica Jupitera bude vykonávať najmä prieskum jeho galileovských mesiacov Európa, Kallisto a Ganymedes, v menšej miere aj diaľkový prieskum mesiaca Io. V septembri 2032 sa sonda ako prvá v histórii stane obežnicou mesiaca inej planéty – a to Ganymeda – ktorý je zároveň aj najväčším mesiacom slnecnej sústavy.

Medzi významné vedecké zámery misie JUICE patrí aj podrobné štúdium časticového prostredia systému Jupitera, jeho mohutnej magnetosféry a jej interakcií s jednotlivými mesiacmi. Za týmto účelom bola vyvinutá komplexná vedecká aparátúra PEP (*Particle Environment Package*), ktorej realizáciu zastrešuje Švédsky ústav kozmickej fyziky IRF (*Institutet för rymdfysik*) v Kirune. Aparátúra PEP ako celok zabezpečuje detekciu tokov kladných aj negatívnych iónov, elektrónov, exosférického neutrálneho plynu, termálnej plazmy a energetických neutrálnych atómov v energetickom rozsahu 0.001 eV až 1 MeV s plným uhlovým pokry-

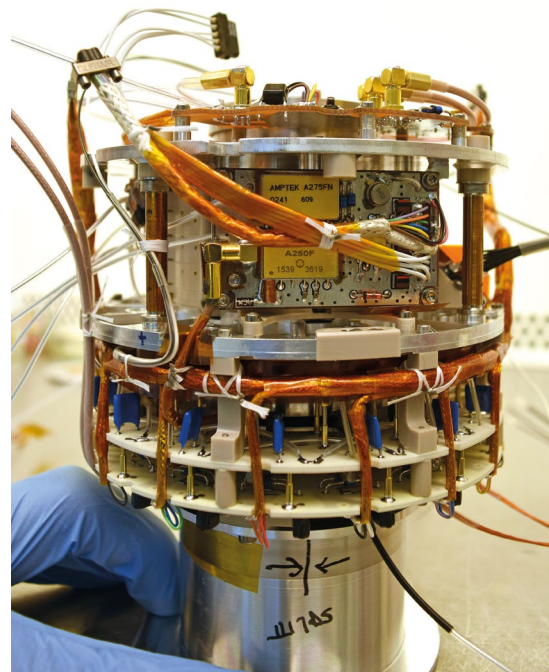


Obr. 13 Antikoincidenčný modul ACM, vyvinutý na ÚEF, pozostáva z veľkoplošného polovodičového detektora a elektronickej dosky na spracovanie jeho signálov. Zdroj: ÚEF

tím. Detekčná časť aparátúry pozostáva zo šiestich komplexných senzorov: JDC (*Jovian plasma Dynamics & Composition*, Švédsko), JEI (*Jupiter Electrons & Ions*, Nemecko), JoEE (*Jovian Energetic Electrons*, USA), JENI (*Jovian Energetic Neutrals & Ions*, USA), JNA (*Jovian Neutrals Analyzer*, Švédsko), NIM (*Neutrals & Ions Mass spectrometer*, Švajčiarsko) a ďalších subsystémov z viacerých európskych krajín.

Medzi významné špecifiká prostredia planéty Jupiter patria značné toky vysoko energetických elektrónov, ktoré sú schopné prenikať vedeckými prístrojmi a v ich fyzikálnych senzoroch vyvolávať falošné signály a tým negatívne ovplyvňovať detekciu nominálnych častíc. Tieto elektróny nie je možné odtieniť pasívnym tienením kvôli hmotnostným aj geometrickým limitom. Na zvýšenie detekčnej účinnosti sa preto popri pasívnom tienení používajú aj metódy aktívnej antikoincidencie, pri ktorých je do spracovania nominálnych signálov zakomponovaný aj antikoincidenčný signál oznamujúci, že prístrojom preletel energetický elektrón a ním vyvolané signály nominálnych senzorov zrejme nie sú korektné.

Na detekciu iónov v energetickom rozsahu 1 eV až 41 keV senzor JDC (obr. 12) využíva selekčnú iónovú



Obr. 14 Integrácia antikoincidenčného modulu ACM do aparátúry PEP v Ústave kozmickej fyziky IRF vo švédskej Kirune. Zdroj: IRF

optiku s elektrostatickým deflektorom a elektrostatickým analyzátorom, konverzné povrchy a sekciu TOF vybavenú kanálovými elektrónovými násobičmi CEM (*Channel Electron Multiplier*), elektrostatickým retroreflektorom a mikrokánalkovou platňou MCP (*Micro Channel Plate*). V prípade nominálnej detekcie ión prechádza elektrostatickým analyzátorom, na vstupe do TOF sekcie generuje konverzné elektróny, ktoré pomocou CEM spúšťajú štart signál, po prechode retroreflektorom kladný ión dopadne na druhý konverzný povrch, kde generuje konverzné elektróny a tie po urýchlení dopadnú na MCP, ktorý generuje stop signál. V prípade prieniku vysoko energetického elektrónu vzniká sprška brzdného gama žiarenia a sekundárnych elektrónov, ktoré vyvolajú signály v CEM aj MCP, ale aj

v antikoincidenčnom module ACM (*Anti-Coincidence Module*), ktorý poskytne tzv. „veto“ signál, na základe ktorého sa takáto udalosť vylúči z nominálnych detekcií.

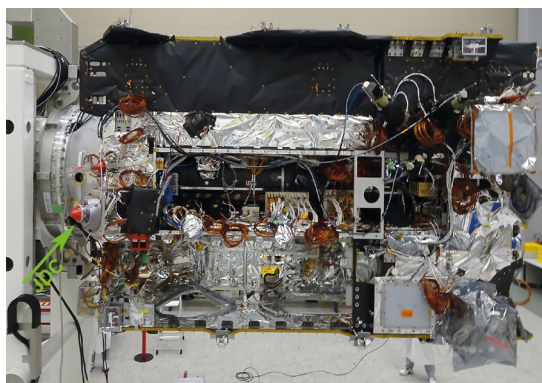
Ako dodávateľ antikoincidenčného modulu ACM pre senzor JDC bol prizvaný ÚEF na základe predošlých pracovných kontaktov s IRF a kvôli dlhoročným skúsenostiam s aplikáciou polovodičových detektorov energetických častíc v kozme. ACM (obr. 13) obsahuje pevnolátkový polovodičový detektor SSD (*Solid State Detector*), ktorý je umiestnený v titánovom puzdre v osi systému za druhým konverzným povrchom, má priemer 25 mm, hrúbku 0,3 mm a je krátkym koaxiálnym káblom prepojený s elektronickou doskou, ktorá sa nachádza za bočnou stenou senzora. Doska je vybavená



Obr. 15 Dokončený senzorový systém JDC aparatury PEP pre sondu JUICE. Zdroj: IRF

nábojovo citlivým zosilňovačom, rýchlym tvarovacím zosilňovačom a diskriminátorom s riadenými prahmi. Celková odozva detekčného modulu je 150 ns. Samotný zákaznický SSD (polovodičový čip typu PIPS) bol vyrobený firmou Canberra Belgium na základe dodanej detailnej dokumentácie.

Z ÚEF boli dodané do IRF Kiruna tri ACM moduly, technologický EM (*Engineering Model*), letový FM (*Flight Model*) a letový-záložný FS (*Flight Spare*) model. Moduly boli v laboratóriách ÚEF vyvinuté, kalibrované energetickými časticami z rádionuklidov Cd-109 a Am-241 a environmentálne testované v termovákovej komore v teplotnom rozsahu -80°C až $+80^{\circ}\text{C}$. Integrácie modulov do príslušných senzorov JDC boli realizované v IRF (obr. 14 a 15). V súčasnosti je letový model aparatury PEP/FM už inštalovaný na palube sondy JUICE (obr. 16 a 17), záložný-letový model PEP/FS je dokončený a t.č. expedovaný do ESA-ESTEC v Holandsku, kde prebieha integrácia sondy. S najväčšou pravdepodobnosťou k Jupiteru napokon poletí FS, keďže na jeho vývoj, testovanie a kalibráciu bolo najviac času a kumuluje v sebe najviac skúseností. O misii JUICE pojednáva napr. [10], množstvo aktuálnych informácií je k dispozícii na webových stránkach ESA.



Obr. 16 JDC na palube sondy JUICE. Zdroj: ESA

Referencie

- [1] J. Baláž et al.: Energetic Particle Measurements Onboard Spectr-R with MEP-2. *Cosmic Research* **51**, 90–95 (2013).
- [2] S. McKenna-Lawlor et al.: The energetic Neutral Atom Detector Unit (NUADU) for China's Double Star Mission and its calibration. *Nucl. Inst. and Methods in Phys. Res. A* **530**, 311–322 (2004).
- [3] S. McKenna-Lawlor et al.: Moderate geomagnetic storm (21–22 January 2005) triggered by an outstanding coronal mass ejection viewed via energetic neutral atoms. *Journal of Geophys. Res.* **115**, A08213 (2010).
- [4] L. Lu et al.: Close up observation and inversion of low-altitude ENA emissions during a substorm event. *Sci. China Earth Sci.* **62**, 1024–1032 (2019).
- [5] J. Baláž: Dvojhviezda. *Plus 7 dní* 47/2004 (http://space.saske.sk/results/popul/2004-11_dvojhviezda_P7.pdf).
- [6] J. Baláž: Môžeme pozorovať kozmickú plazmu? *QUARK* 7/2005 (http://space.saske.sk/results/popul/2005-07_Mozeme.pdf).
- [7] S. McKenna-Lawlor et al.: Performance of the mission critical Electrical Support System (ESS) which handled communications and data transfer between the Rosetta Orbiter and its Lander Philae while en route to and at comet 67P/Churyumov-Gerasimenko. *Acta Astronautica* **125**, 118–136 (2016).
- [8] S. Orsini et al.: SERENA: A suite of four instruments (ELENA, STROFIO, PICAM and MIPA) on board BepiColombo-MPO for particle detection in the Hermean environment. *Planetary and Space Science* **58**, 166–181 (2010).
- [9] S. Orsini et al.: SERENA: Particle Instrument Suite for Determining the Sun-Mercury Interaction from BepiColombo. *Space Science Reviews* **217**, 11 (2021).
- [10] O. Grasset et al.: Jupiter ICy moons Explorer (JUICE): An ESA mission to orbit Ganymede and to characterise the Jupiter system. *Planetary and Space Science* **78**, 1–21 (2013).



Obr. 17 Sonda JUICE v ESA-ESTEC. Zdroj: ESA

Abstracts of review articles

Jiří Chýla:

Has a "new physics" been discovered at Fermilab and CERN?

The Standard model of particle physics is extraordinarily successful for quantitative description of almost all properties and interaction of quarks and leptons, which are currently considered as fundamental constituents of matter. This article reviews two recent measurements, which indicate possible phenomena beyond the Standard model, i.e. the anomalous magnetic moment of muons and rare decay of positively charged mesons containing quark b , which might have the same origin of existence as a new kind of particle called leptoquarks.

Tomáš Davídek:

Participation of Czech and Slovak physicists in the ATLAS experiment

The ATLAS experiment is the largest particle physics detector installed at the Large Hadron Collider in CERN, which measures proton-proton (or lead-lead) collisions at the highest energies achievable in the world. Precise measurements of physical processes and properties of particles extends our understanding of elementary particles and their interactions. This contribution focuses on recent analyses, which significantly benefitted from Czech and Slovak physicists' participation. Additionally, a brief summary of detector upgrade activities is also given.

Ján Baláž:

Institute of Experimental Physics of the Slovak Academy of Sciences in ESA space missions.

The Institute of Experimental Physics has more than fifty years of experience in the preparation of scientific space missions, especially within the Russian "Interkosmos" space flight program. Despite the fact that Slovakia is still not a full member of ESA, the institute significantly contributed

to the preparation of several missions, this is thanks to its rich international cooperation with scientists from ESA member countries.

Milan Řípa:

Controlled thermonuclear fusion in private hands

Until the turn of the millennium, funding for research on controlled thermonuclear fusion was the domain of public institutions, either via government ministries or state universities. After the first timid attempts (KMS fusion, EMC2), there are now more than a dozen private companies involved in controlled fusion. The "Private Entrepreneurs" article focuses attention on a few companies (Keeve Milton Siegel Fusion, General Fusion, Tokamak Energy, TAE Technologies, Commonwealth Fusion Systems, and many others), and briefly mentions others. In this article, the author tries to analyse the possibilities of private companies and compares them with the successes of private enterprise in space travel research. The difference between the two areas is emphasized: while space travel research has long since gone beyond basic research, no fusion power plant is yet operational. The more demanding and costly part of the research awaits the private sector, i.e. basic research. Close cooperation between private and public fusion sectors is described, which is beneficial for both financing options, especially in the United States. The conclusion is clear, public and private finances are helping to overcome the same and long-standing goal, which is to harness fusion energy for electricity generation. The role of private partners can in no way be downplayed.

Pavla Wegenkittlová and Vladimír Vochozka:

Tensegrity structures

At first glance, tensegrity structures give the impression of levitation, but, of course, they do not deny gravity. They are a beautiful example of the application of basic physical laws and applying physical principles in practice. The term tensegrity refers to structures formed by rigid bodies under pressure in a network formed by mechanical tension.