

Magion, jeho předchůdci a následovníci



Akademie věd
České republiky



věda 85

kolem
nás
výzvy
a otázky

Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i., založený v roce 1964, se věnuje základnímu výzkumu atmosféry a jejich interakcí s ostatními geosférami a společností a od roku 1994 též základnímu výzkumu ionosféry, magnetosféry a blízkého vesmíru, se zaměřením na sluneční soustavu. Tímto druhým směrem výzkumu se zabývá přibližně polovina ze stovky zaměstnanců ústavu. V oborech souvisejících s kosmickým výzkumem pak zejména pracují v oblastech fyziky kosmického plazmatu a kosmického počasí. Zabývají se vývojem nových vědeckých přístrojů, plánováním a přípravou experimentálních měření na umělých družicích a meziplanetárních sondách, analýzou družicových dat, jejich teoretickou interpretací, souvisejícími počítačovými simulacemi a pozemním měřením navazujícím na výzkum blízkého vesmíru. Mladí vědci a technici při své práci staví na odkazu svých předchůdců, kteří navrhli, postavili a řídili první československou umělou družici Země Magion a další čtyři družice této řady, jež pracovaly na oběžné dráze Země v letech 1978–2002.

Pracovníci oddělení kosmické fyziky se nyní podílejí na analýze měření současných vesmírných misí a též na přípravě nových vědeckých projektů Evropské vesmírné agentury ESA, americké NASA a francouzské agentury CNES. Oddělení se zapojuje do práce vědeckých týmů umělých družic pro výzkum ionosféry a magnetosféry Země, jako jsou např. DEMETER (CNES), Cluster (ESA), Polar (NASA), Double Star (ESA), Themis (NASA), Van Allen Probes (NASA), a kosmických sond pro výzkum Slunce, Jupiteru a Saturnu: Stereo (NASA), Juno (NASA) a Cassini (ESA/NASA). Vědci z oddělení kosmické fyziky uveřejňují své výsledky založené na datech těchto misí v prestižních mezinárodních časopisech a prezentují je na mezinárodních konferencích.

Mezi nové umělé družice Země a meziplanetární sondy, na jejichž přípravě se oddělení významně podílí vývojem vědeckých přístrojů, patří sluneční sonda Solar Orbiter (ESA), sonda JUICE (ESA) k Jupiteru a jeho ledovým měsícům, družice TARANIS (CNES) k výzkumu skryté tváře bouří z oběžné dráhy a sonda Exo-Mars 2020 (ESA) pro výzkum povrchu Marsu.

Více na <http://okf.ufa.cas.cz>



Fotografie na obálce: Záložní exemplář družice Magion 1, identický s tím, který byl vypuštěn 24. října 1978 a poté (od 14. listopadu 1978) začal samostatně obíhat Zemí jako její první československá umělá družice (foto M. Frouz)

Co vedlo k projektu první československé umělé družice Země

V roce 1953 založil RNDr. Jiří Mrázek, CSc., ionosférické oddělení Geofyzikálního ústavu Československé akademie věd. Jiří Mrázek, nadšený radioamatér a propagátor vědy, začal s výzkumem vlivu sluneční aktivity a stavu ionosféry na šíření rádiových vln na základě analýzy signálů rozhlasových vysílačů na krátkých, středních, či dlouhých vlnách. Byl též u počátků aktivního měření vlastností ionosférického plazmatu pomocí zařízení pracujícího na principu radaru, které měří výšku odrazu rádiových vln od jednotlivých vrstev ionosféry v závislosti na použitém kmitočtu. Tato tzv. ionosonda byla umístěna na observatoři Geofyzikálního ústavu v Průhoncích u Prahy.

S doktorem Mrázekem navázal v první polovině padesátých let kontakt pan Miroslav Jiskra, taktéž nadšený radioamatér. Později se stal zaměstnancem oddělení a prováděl ionosférická měření přímo ve svém domku v Panské Vsi u Dubé. Podmínky pro pozorování tam byly příznivé, protože se jednalo o oblast s velmi nízkou úrovní průmyslového rušení. To později rozhodlo o místě pro stavbu ionosférické observatoře a telemetrické stanice. Velkým impulzem pro intenzivní výzkum v této oblasti byl Mezinárodní geofyzikální rok 1957. Po startu Sputniku 1 provedl dr. Mrázek první pokusy s příjmem jeho signálů a rodící se kosmický výzkum propagoval svými vystoupeními v rozhlase a v televizi.

Koncem padesátých let pak nastoupila do ionosférického oddělení řada mladých vědců a techniků, kteří později stáli u zrodu družic Magion. V roce 1962 byla v Panské Vsi dokončena stavba ionosférické observatoře. Kromě analýzy šíření

„Nic není ve vesmíru ponecháno náhodě. Všechno má své místo.“ To jsou slova dr. Jiřího Mrázka (1923–1978), který byl nejen neobyčejně nadaným fyzikem a matematikem, ale i nadšeným popularizátorem, jenž dokázal své posluchače strhnout svým přirozeným projevem a vášní pro přírodní vědy, v nichž viděl své životní poslání a úkol. „Žít, tvořit, pracovat a prožívat čas je něco nekonečně sladkého a radostného, a to i v případě, že nám vnější okolnosti život značně ztrpčují.“ Byl nejen známým rozhlasovým a televizním komentátorem rozvíjející se kosmonautiky a nadšeným radioamatérem (OK1GM), ale také skromným křesťanem a františkánským terciářem, který s pokorou přistupoval ke své práci: „... může to dopadnout všelijak, jestliže fyzik začne přemýšlet a vyjadřovat se o tom, v čem může jeho věda přispět mimo oblast svého působení. Avšak fyzik se může a také má zamýšlet nad tím, do čeho je jeho věda vnořena a jakého vyššího celku je částí...“ S pokorou nakonec přijal i svou náhlou těžkou nemoc, která ho zastavila uprostřed plné práce a dovolila mu dožít se pouhých 55 let. Podlehl jí 14. listopadu 1978, téže noci, kdy první československá družice Magion, postavená v jeho ionosférickém oddělení Geofyzikálního ústavu Československé akademie věd, začala samostatně pracovat na oběžné dráze. „Velká neznámá, kterou jsem tušil na dně každého vědeckého poznání, nebyla pro mne nikdy pouhý pojem nebo fyzikální veličina, nýbrž Někdo.“ (B. Holota: Hovory na nemocničním lůžku: Vzpomínky na dr. Jiřího Mrázka)

signálu od pozemních vysílačů zde tým dr. Mrázka zahájil též pokusy s příjmem družicových signálů. Zaměřil se na měření jejich vlastností, především intenzity, fáze a polarizace, a na zkoumání vlivu ionosféry na tyto veličiny. Pro měření sestavil vlastní elektronickou aparaturu, s níž úspěšně přijímal i data z amerických vědeckých družic SOLRAD.

Krátce po vzniku organizace Interkosmos v roce 1967 se ionosférické oddělení zapojilo do zpracování dat z ruských družic, poprvé z družice Kosmos 261 v r. 1968. Jakkoli byl vznik organizace Interkosmos podmíněn momentální politickou situací, tým díky tomuto programu získal přístup k tehdy špičkovým technologiím, součástkám a zařízením a navázal kontakty s vynikajícími odborníky, zejména z Ústavu kosmických výzkumů v Moskvě. Program Interkosmos přinesl dosavadnímu výzkumu ionosférického oddělení zcela nový rozměr, a to možnost umístit na palubu družice své vlastní zařízení.

To se povedlo již roku 1970 při startu družice Interkosmos 3, pro kterou tým oddělení vyvinul a vyrobil palubní telemetrický vysílač určený pro vysílání přímé telemetrie v pásmu 137 MHz. Ten byl použit k přenosu dat z aparatury pro studium elektromagnetických polí v pásmu velmi nízkých kmitočtů. Spolu s vysílačem vznikla také příslušná kontrolní a zkušební aparatura. Po vypuštění družice na oběžnou dráhu pak telemetrický signál z vysílače přijímala observatoř v Panské Vsi.

K největšímu rozvoji přístrojové techniky, který posléze vyústil ve stavbu vlastní družice, došlo během sedmdesátých let. Pod organizačním vedením Ing. Pavla Třísky, CSc., se postupně stabilizoval zkušený tým inženýrů a techniků, v čele s hlavním inženýrem Jaroslavem Vojtou. Tento tým byl schopen se aktivně účastnit i několika projektů ročně. Dále se rozvíjela i telemetrická stanice v Panské Vsi a v roce 1975 byla dokončena stavba její druhé provozní budovy určené speciálně pro příjem a zpracování družicových dat.

Ionosférické oddělení navázalo spolupráci s Výzkumným ústavem pro sdělovací techniku, který pak vyvíjel a vyráběl potřebné pozemní i palubní telemetrické přijímače a vysílače. Ve Výzkumném zkušebním leteckém ústavu byly vyvinuty palubní magnetofony pro záznam dat v době, kdy družice byla mimo rádiovou viditelnost



Obr. 1 První přístroj určený pro práci na palubě družice, který byl v ionosférickém oddělení Geofyzikálního ústavu ČSAV vyvinut, byl telemetrický vysílač pro družici Interkosmos 3 z roku 1970 (foto M. Frouz)

pozemní stanice. V ionosférickém oddělení pak vznikala řada unikátních vědeckých přístrojů zejména pro tradiční měření elektrických a magnetických polí velmi nízkých kmitočtů, ale též nové přístroje pro měření parametrů chladného plazmatu (měření energie elektronů a iontů, jejich koncentrace a hmotnostního složení).

Rok	Projekt	Přístroj	Účast
1968	Kosmos 261		D
1969	IK-2		D
1970	IK-3	palubní vysílač	P, D
1971	IK-5	telemetrický systém TS-1	P, D
1972	IK-8	měření teploty elektronů	D
1973	IK-10	VLF aparatura, TS-1	P, D
1974	IK-12	hmotnostní spektrometr	D
1975	IK-13	VLF aparatura, TS-1	P, D
1975	IK-14	VLF aparatura, TS-1	P, D
1975	Vertikal-3	měření teploty elektronů, hmotnostní spektrometr	D
1976	Vertikal-4	měření teploty elektronů, hmotnostní spektrometr	D
1977	IK-15	palubní vysílač TS-2, služební blok ADO	P
1977	Kosmos-900	měření teploty elektronů	D
1977	Vertikal-6	měření teploty elektronů	D
1978	IK-18, Magion-1	družice, VLF měření teploty elektronů, hmotnostní spektrometr, TS-2	P, D, V
1979	IK-19	měření teploty elektronů, měření plovoucího potenciálu, energetické rozdělení částic	P, D
1979	IK-20	TS-2	P
1981	IK-21	TS-2	P
1984	Vega-1	čidla elektrických polí	D
1985	IK-23 (Intershock)	palubní vysílač TS-8, čidlo magnetického pole	V
1989	IK-24, Magion-2	družice, VLF a částicová aparatura	P, V, D
1991	IK-25, Magion-3	družice, VLF a částicová aparatura	P, V, D
1995	Interball „chvostový“, Magion-4	družice, komplexní aparatura pro měření fyzikálních vlastností okolního prostředí	P, V, D
1996	Interball „aurorální“, Magion-5	družice, komplexní aparatura pro měření fyzikálních vlastností okolního prostředí	P, V, D

Tab. 1 Účast ionosférického oddělení Geofyzikálního ústavu (od roku 1994 oddělení horní atmosféry Ústavu fyziky atmosféry) na projektech programu Interkosmos: D = zpracování dat, P = příjem dat, V = vysílání povelů. Poslední dva projekty (Interball) byly původně plánovány též jako součást programu Interkosmos, realizovány byly ovšem až po jeho skončení



Obr. 2 Přístroj KM 1R včetně senzoru pro měření vlastností chladného plazmatu na družici Interkosmos 8, spolu se svou pozemní kontrolní aparaturou (foto M. Frouz)

Magion 1

V roce 1971 si ing. Tříška a ing. Vojta při předletových testech družice Interkosmos 5 všimli černého ocelového závaží o hmotnosti 15 kg, které bylo připevněno ke konstrukci mezi družicí a nosnou raketou a sloužilo k vyvážení celkového těžiště do osy rakety. Každodenní pohled na tuto mrtvou hmotu je poněkud rozsmutňoval, neboť při stavbě přístroje musel jejich tým urputně šetřit každým gramem. Napadlo je, že by černý kus oceli mohli nahradit něčím méně depresivním a zároveň užitečnějším. Ing. Tříška pak po dlouhých diskusích díky svým pověstným diplomatickým schopnostem prosadil, aby místo tohoto závaží mohla být připevněna malá „subdružice“ o stejné hmotnosti. Tak vznikl plán oddělitelného přístrojového „bloku C“, českými techniky důvěrně označovaného jako Cipísek. Ten poté od roku 1973 prodělal několikaletý vývoj pod vedením ing. Vojty ve spolupráci s techniky z ionosférického oddělení, především s A. Czapkem, a také s inženýry z Výzkumného ústavu pro sdělovací techniku. Podařilo se během něho vyřešit řadu technických problémů, které stavba do té doby nebývalé malé a nehermetizované družice přinesla, například vměstnat do ní energetický systém napájený ze slunečních baterií, kterými byla družice obalena; zajistit, aby pracovala ve vakuu se stabilním tepelným režimem vhodným pro elektronické součástky; přidat ještě vhodný telemetrický a povelovací systém s anténami, které bylo nutné rozvinout; to vše udělat tak, aby též zbylo místo pro užitečný náklad, tedy pro vědecké přístroje. Po dlouhém vývoji a zkouškách byla tato subdružice postavena ve dvou identických letových kusech a na podzim roku 1978 připravena ke startu.

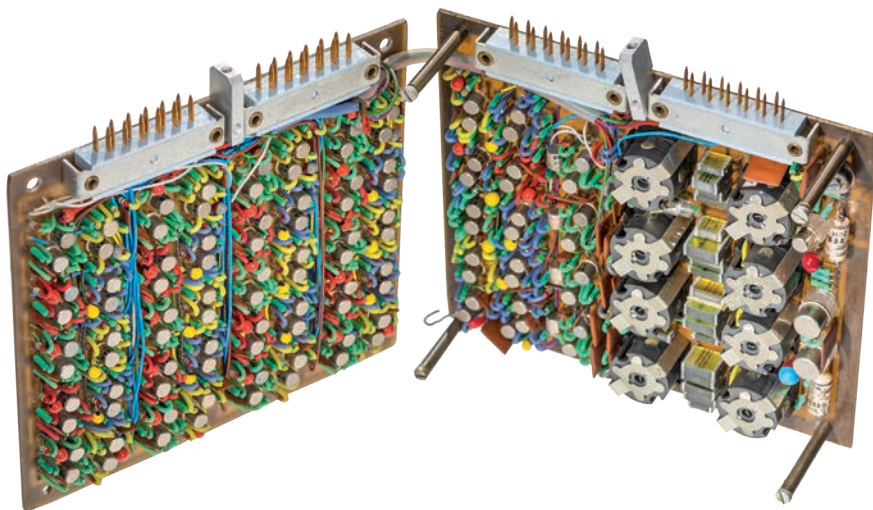
Družice Interkosmos 18 o hmotnosti přibližně jedné tuny odstartovala 24. října 1978 na nízkou polární dráhu s perigeem 406 km a apogeem 768 km. Spolu s ní vzlétla první československá družice Magion 1 o hmotnosti pouhých 14,5 kg.

Ing. Pavel Tríska, CSc., (1931–2018) stál u prvních československých kosmických aktivit a zrodu programu Interkosmos. Vybudoval špičkové pracoviště a technický tým, který po řadě úspěšných projektů kosmických přístrojů začal pracovat i na vlastní družici se všemi služebními subsystémy zajišťujícími její samostatnou práci v podmínkách nehostinného kosmického vzduchoprázdna. Prosadil, aby se místo vyvažovacího závaží s ruskou družicí mohlo do vesmíru vypustit něco užitečnějšího – první československý satelit. Za tímto cílem šel se svou typickou klidnou trpělivostí. Organizační houževnatost ing. Trísky vedla postupně ke stavbě, vypuštění a úspěšné práci celkem pěti družic řady Magion. Tento úspěch byl podmíněn a vykopen i tím, že ing. Tríska dokázal svůj tým poměrně úspěšně odstínit od dobových politických tlaků, jejichž stupeň absurdity je již mimo náš současný kulturní kontext. Ohromné úsilí věnoval v devadesátých letech dokončení a úspěšnému vědeckému využití družic Magion 4 a Magion 5, které se podařilo v nových podmínkách. Tento úspěch je jasným důkazem vynikající technické a organizační práce Ing. Trísky a jeho týmu. Ing. Tríska se bohužel oslav 40. výročí vypuštění první československé umělé družice nedožil. Jeho klidná a nezlomná povaha otce Magionu se projevovala i tím, že do svých posledních dnů docházel, spolu se svou obětavou manželkou Ing. Ludmilou Trískovou, CSc., jako emeritní pracovník do ústavu. Svou přítomností zosobňoval kontinuitu postupně nabývaných zkušeností a úspěšně tak motivoval mladší kolegy k dalším cestám za tajemstvími vesmíru.

Měla tvar kvádrů o rozměrech $30 \times 30 \times 15$ cm a na palubě nesla kromě plně energetické a telemetrické výbavy také aparaturu pro výzkum elektrické a magnetické složky elektromagnetických vln velmi nízkých kmitočtů (100 Hz až 15 kHz) a dva Geiger-Müllerovy počítače částic s energiemi nad 30 keV. Na povel ze Země zajistil pružinový mechanismus oddělení od hlavní družice. K němu došlo 14. listopadu 1978 v 18:45 SEČ, Magion po 20 vteřinách rozvinul antény a obě tělesa se pak od sebe začala vzdalovat rychlostí zhruba 60 km za den. Stabilizaci orientace Magionu zajišťovaly permanentní magnety ve spolupráci s magnetickým polem Země a magnetickým tlumením kmitů. Jedinou stanicí pro jeho řízení a sběr dat byla observatoř Panská Ves.

Název družice je odvozen od názvů oblastí blízkého vesmíru, které družice zkoumala: *magnetosféry* a *ionosféry*. Její vědecké přístroje byly, v rámci omezení daných daleko menší hmotností, podobné části vědecké výbavy mateřské družice. Hlavním účelem bylo získat údaje naměřené podobnou metodou ze dvou bodů v prostoru současně a umožnit tak omezené časové a prostorové rozlišení zkoumaných jevů v jedné dimenzi. První taková současná měření provedl pár evropských a amerických družic ISEE 1 a ISEE 2, který startoval v říjnu 1977, o pouhý rok dříve než Interkosmos 18 a Magion 1. Pro zdokonalení této metody na časové a prostorové rozlišení ve všech třech rozměrech je zapotřebí měření stejnými přístroji ve čtyřech bodech, což poprvé umožnily až evropské družice Cluster, které byly vypuštěny po více než dvaceti letech v roce 2000. Magion se tak zařadil mezi průkopnické projekty kosmického výzkumu.

Poslední kontakt s družicí byl navázán 10. září 1981 těsně před jejím zánikem v hustých vrstvách atmosféry.



Obr. 3 Prototyp palubního dekodéru povelů PS-1-D pro družici Magion 1 (foto M. Frouz)

Magion 1 měl původně matný hliníkový povrch. Jak se však při zkouškách ve vakuové komoře ukázalo, družice se kvůli tomu příliš ochlazovala. Proto bylo nutné ztráty způsobené vyzařováním tepla radikálně zmenšit. Z těchto důvodů je celý Magion pokrytý lesklým zlatem o tloušťce 5 mikronů. Hlavní konstruktér Ing. Jaroslav Vojta (*1935) na pozlacování družice vzpomíná: „Spolupracoval jsem tehdy s firmou, která vyráběla lesklé doplňky na dámské kabelky. Tam byli schopni plechy pro Magion pomědit a následně leskle poniklovat. To bylo nezbytné pro to, abych je mohl nechat u Sařiny pozlatit.“ Zajímavostí Magionu 1 byly antény vyřešené pod vedením ing. Vojty netradičním způsobem – nejspíš by nikdo na první pohled neuhodl, z čeho jsou: tenké pružné ocelové pásky pocházejí ze svinovacích metrů očištěných od čísel. Před oddělením od mateřské družice byly složeny podél těla subdružice. Pro jejich rozvinutí bylo zvoleno co nejjednodušší řešení. Mechanismus byl zajištěn chirurgickoými nití, elektrickým impulsem z časovacího zařízení se nit přepálila a tím se antény rozvinuly.

Družice Magion 2 a Magion 3

Po úspěchu Magionu 1 začal tým ing. Třísky se stavbou umělé družice o hmotnosti přes 50 kg. Pod technickým vedením ing. Vojty vznikala nová řada robotických průzkumníků vesmíru ve tvaru vícestěnu s výklopnými rameny a tyčemi pro umístění čidel a antén. Konstrukce družice byla uzpůsobena pro montáž přídavných výklopných slunečních panelů a soustavy trysek na stlačený vzduch pro řízení orientace a drobné korekce dráhy. Mechanické díly byly vyrobeny v Letu Kunovice v množství dostatečném zhruba na 10 družic a Výzkumný ústav sdělovací techniky začal s výrobou palubního a pozemního telemetrického systému.

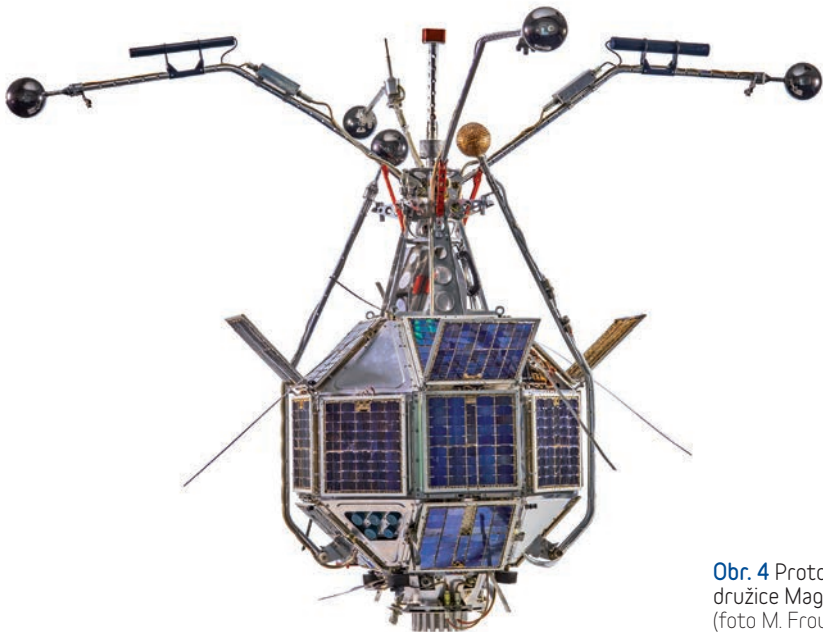
Družice Magion 2 byla první z této řady. Stejně jako její tři následovnice již byla z finančních a časových důvodů postavena jen v jednom letovém exempláři. Startovala 28. září 1989 na dráhu s perigeem 500 km a apogeem 2492 km jako součást projektu Aktivní, který měl experimentálně zkoumat změny vlastností plazmatického prostředí horní ionosféry a magnetosféry Země při jeho buzení výkonovým vysílačem. Mateřská družice Interkosmos 24 byla za tím účelem vybavena vysílačem s výkonem 10 kW a anténní smyčkou o průměru 20 m, pracovní kmitočet byl v okolí 10 kHz. Magion 2 pak nesl na palubě nízkofrekvenční a vysokofrekvenční analyzátor pro příjem buzených elektromagnetických vln. Stejně jako všechny družice této řady byl i Magion 2 vypuštěn společně s mateřskou družicí a oddělil se od ní až na oběžné dráze. Experiment s buzením výkonových pulzů ovšem nepřinesl očekávané výsledky: vzhledem k tomu, že se smyčková anténa při rozvinování pravděpodobně zdeformovala, nebylo ji možné optimálně přizpůsobit a vyzařovaný výkon byl jen zlomkem výkonu plánovaného.

Počínaje družicí Magion 2 se všech projektů zúčastnily i týmy ze zahraničí. Na palubě tak byly umístěny např. palubní počítač z Maďarska, magnetometr z Rumunska, vysokofrekvenční analyzátor z Polska a čidla elektrických polí z Bulharska. Další přístroje byly vyvinuty a vyrobeny na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy nebo na Ústavu experimentální fyziky SAV v Košicích. Výzkumný ústav pro sdělovací techniku dodal telemetrické vysílače a přijímače. Ionosférické oddělení přispělo kromě služebních systémů družice i aparaturou pro měření elektromagnetických vln, teploty a hustoty chladného plazmatu, Langmuirovou sondou, přístrojem pro měření částic a fotometrem. Ve služební části byly použity nově vyvinuté palubní vysílače, přijímače a dekodéry povelů. Družice o celkové hmotnosti 52 kg byla magneticky orientovaná pomocí řady permanentních magnetů umístěných v její spodní části.

Poprvé byl vyzkoušen systém trysek na stlačený vzduch určený pro změny rychlosti družice. Trysky byly umístěny v ose družice v její horní a spodní části a používaly se v případě, kdy byla osa družice rovnoběžná s její dráhou. Pomocí trysek bylo možné měnit vzdálenost mezi Magionem 2 a hlavní družicí. První zkušenosti s chováním tělesa po udělení impulzu tryskou nebyly úplně uspokojivé, zpočátku se dařilo družici jen rozkývat nebo roztočit. Její uklidnění pak trvalo i několik týdnů, přestože byl na palubě kapalinový tlumič výkyvů naplněný rtutí. Byl to první pokus využít tento způsob pohonu na družicích Magion, proto určitou dobu trvalo, než se podařilo práci s tryskami zvládnout. Během léta 1990 vysadil jeden z měničů pro elektrické napájení, stav energetického systému se postupně zhoršoval až do posledního kontaktu 29. listopadu 1990. Po tomto datu se již s družicí nepodařilo navázat spojení.

Magion 3 startoval jako součást projektu APEX (Aktivní Plazmový EXperiment) spolu s mateřskou družicí Interkosmos 25. Hlavními cíli projektu APEX byly simulace a iniciace polární záře, studium dynamiky plazmatu v blízkosti Země a studium vlastností elektromagnetických vln v magnetosféře a ionosféře. Hmotnost a sestava vědeckých přístrojů Magionu 3 byly shodné s Magionem 2, jen byl použit jiný typ přístroje pro měření energetických částic. Součástí projektu byl opět aktivní experiment; tentokrát bylo k vybuzení prostředí použito iontové a elektronové dělo na mateřské družici. Start na dráhu s perigeem 438 km a apogeem 3070 km

proběhl dne 18. prosince 1991. Opět probíhaly pokusy se změnou polohy a dráhy družice Magion 3 pomocí trysek na stlačený vzduch a získané zkušenosti byly použity v následujících projektech. Poslední kontakt byl uskutečněn 20. srpna 1992.



Obr. 4 Prototyp družice Magion 2 (foto M. Frouz)

Družice	Datum startu	Datum posledního kontaktu	Hmotnost (kg)	Perigeum (km)	Apogeum (km)	Stabilizace
Magion 1	24. 10. 1978	10. 9. 1981	14,5	406	768	magnetickým polem
Magion 2	28. 9. 1989	29. 11. 1990	52	500	2492	magnetickým polem
Magion 3	18. 12. 1991	20. 8. 1992	52	438	3070	magnetickým polem
Magion 4	03. 8. 1995	23. 9. 1997	59	870	192 000	rotací, orientace na Slunce
Magion 5	29. 8. 1996	2. 7. 2002	68,5	775	19 210	rotací, orientace na Slunce

Tab. 2 Přehled umělých družic Magion

Projekt Interball

Na projekty Aktivní (Magion 2) a APEX (Magion 3) pak navázal plán rozsáhlého mezinárodního projektu Interball, který počítal s vypuštěním umělých družic na dráhu ve vnitřní a vnější magnetosféře Země (Magion 4 a 5). Projekt Interball byl součástí mezinárodního programu zkoumajícího vztahy Slunce–Země, v rámci kterého spolupracovaly evropská, americká, ruská a japonská kosmická agentura. Bylo naplánováno vypuštění řady družic zkoumajících okolí Země a vliv sluneční aktivity na toto prostředí. Samotného projektu Interball se zúčastnili vědci a technici ze 14 států. Podstatou projektu bylo vypuštění dvou párů družic takovým způsobem, aby se jeden pár družic pohyboval na dráze s vysokým apogeem a měřil na noční straně ve chvostu magnetosféry, druhý pár pak ve vnitřní magnetosféře nad oblastmi, kde se tvoří polární záře. Páry byly vždy tvořeny mateřskou družicí typu Prognoz a malou družicí Magion. Celá čtveřice měla být vypuštěna a měla pracovat současně, během realizace projektu však došlo ke skluzu a mezi starty obou párů byla roční prodleva.

Rok 1989 ovšem logicky přinesl postupný útlum programu Interkosmos a přechod na dvoustranné smlouvy. Transformovat se začala též Akademie věd a změnilo se vedení Geofyzikálního ústavu, které už nemělo na pokračování družicového programu zájem a prosazovalo rozpuštění týmu. Za této složité situace čekaly na dokončení tři družice a modernizace telemetrické stanice v Panské Vsi. Po dlouhých jednáních proto došlo v polovině roku 1994 k přesunu celého ionosférického oddělení do Ústavu fyziky atmosféry. Poté se situace uklidnila a podařilo se vyřešit i finanční potíže. Tým získal granty a pomohli též zahraniční kolegové (především z Rakouska a Francie) – jak finančně, tak dodáním součástek i morální podporou. Dokončení družic Magion 4 a Magion 5 pro projekt Interball bylo už potom hlavně bojem s časem, ovšem s dobrým koncem: týmu ing. Tríscky se podařilo nejen družice dokončit, ale též úspěšně provozovat až do posledního kontaktu Magionu 5 s telemetrickou stanicí v Panské Vsi, ke kterému došlo 2. července 2002.

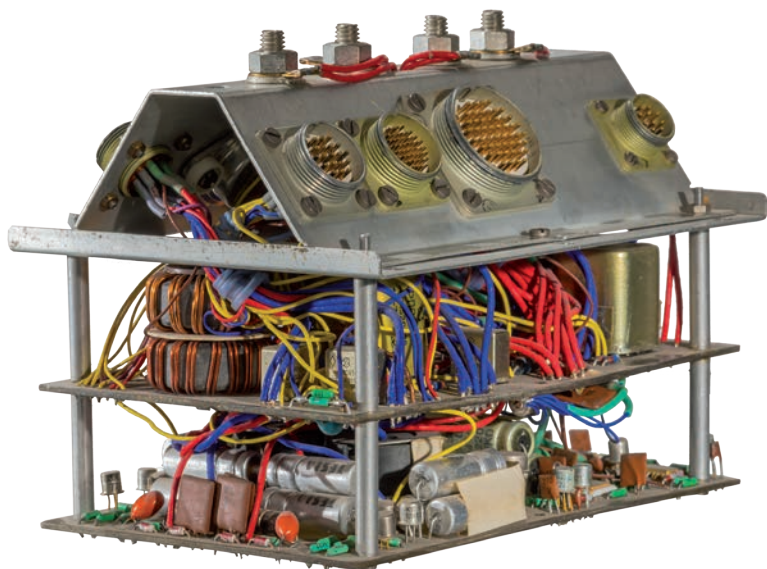
Spolu s družicemi se budovala i telemetrická a povelovací stanice na observatoři Panská Ves. Ovládání družic a vedení vědeckých experimentů tak bylo zcela nezávislé na zahraničních stanicích a bylo též velmi operativní. Vědci se mohli z Panské Vsi („českého Houstonu“) řízení experimentů přímo účastnit, v reálném čase sledovat data ze svých přístrojů, okamžitě na ně reagovat a vzápětí posílat zpět do vesmíru povelky pro nastavení dalšího měření. Data získaná z družic Magion byla použita v řadě vědeckých prací. O družice byl zájem i ze strany sdělovacích prostředků a zejména v období startu tak posloužily k propagaci vědy pro širokou veřejnost.

Zmrzlá družice Magion 4

Magion 4 byl vypuštěn 3. srpna 1995 spolu s družicí Interball 1 na oběžnou dráhu s perigeem 870 km a apogeem 192 000 km. Mateřská družice měla subdružici uloženou ve své zadní části. Proto byla během startu a prvních oběhů Země téměř stále ve stínu. Teplota subdružice tak klesla až k $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, což přineslo určité komplikace po jejím oddělení. Jedno z ramen se vyklopilo jen částečně a družice měla posunutě těžiště. Tuto závadu se podařilo opravit až za několik měsíců, kdy se

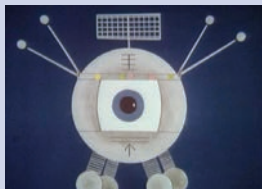
pomocí trysek na stlačený plyn několikrát změnila rotace družice a rameno se změnou odstředivé síly vyklopilo. Pak se rotace snížila na hodnotu zhruba 1 otáčka za 400 s, při které se začal projevovat stabilizační účinek tlaku slunečního záření na plochu rozvinutých slunečních panelů. Družice se tímto tlakem sama orientovala slunečními panely na Slunce.

Vědeckým měřením ale vyhovovala rychlejší rotace, proto byla posléze zvýšena na 1 otáčku za 120 s. Pak bylo třeba osu rotace zhruba každých 10 dní znovu natočit směrem na Slunce pomocí trysek na stlačený plyn. Stlačený plyn při této četnosti korekcí vydržel až do konce života družice. Magion 4 nesl na své palubě komplexní sestavu vědeckých přístrojů pro výzkum magnetosféry: magnetometry, vlnové analyzátoři, detektory částic a přístroj pro měření parametrů chladného plazmatu. Na palubě byla také kamera a sluneční fotometr. Dráha byla velmi protáhlá, s apogeem ve výšce téměř 200 tisíc km. K příjmu signálu z tak velké vzdálenosti bylo zapotřebí zvýšit zisk přijímacích antén. Proto souběžně se stavbou družice probíhaly na observatoři Panská Ves práce na stavbě dvou nových parabolických antén o průměru 10 m pro příjem v pásmech 137 a 400 MHz. Jejich parabolické reflektory jsou poskládány z dílů vysloužilých vojenských radarů. Antény se pak při provozu plně osvědčily a používají se doposud pro příjem dat družic Cluster Evropské vesmírné agentury. Kromě signálů ze subdružice Magion 4, na jejíž palubě byl v experimentálním provozu též vysílač v pásmu 1,5 GHz, přijímala observatoř Panská Ves také telemetrická data z hlavní družice. Vědecké přístroje pracovaly bez problémů a přinášely údaje ze vzdálených oblastí magnetosféry Země a ze slunečního větru. Poslední kontakt s Magionem 4 nastal 23. září 1997, kdy selhal systém elektrického napájení a družice se odmlčela.



Obr. 5 Prototyp bloku řízení energetického systému pro družice Magion 2-5 (foto M. Frouz)

Oblíbený dětský televizní pořad Magion, jehož název byl odvozen od názvu družice, byl vysílán od 11. dubna 1984 až do roku 1996, vždy ve čtvrtek, jako „pásmo animovaných pohádek, seriálů a besed se zajímavými lidmi“. Popularitu mu zajistilo především uvádění zahraničních seriálů. Přinesl několik na svou dobu přelomových prvků – grafika znělky byla vytvořena na osmibitovém počítači a nechyběla ani interakce v podobě telefonického hlasování o seriál na přání. Vedle Jana Rosáka byli jeho moderátory Petr Jančařík, Rostislav Kuba a Jiří Chalupa. Moderátoři vždy



z pověstného magického oka vytažovali nějakou zajímavou věc, o které si následně povídali s hostem pořadu.

(Uveřejněno se svolením České televize. Výtvarník: Ilona Illichová.)

Ztracená družice Magion 5

Magion 5 byl po konstrukční stránce i co do výbavy vyvrcholením celé série. Vzhledem k častému průchodu radiačními pásy byla družice na povrchu opatřena silnějšími krycími plechy a elektronické systémy byly umístěny do samostatných boxů, což ve výsledku ulehčilo i jejich testování. Družice startovala společně s mateřskou družicí Interball 2 dne 29. srpna 1996 na eliptickou dráhu s perigeem 775 km a apogeem 19 210 km. Bezprostředně po aktivaci Magionu 5 došlo k vážné havárii v systému napájení: sluneční baterie nedodávaly žádný proud.

Komunikace s Magionem 5 byla přerušena 30. srpna 1996 po úplném vybití palubních akumulátorů. Tým ing. Trísky analyzoval získaná telemetrická data a ze záložních systémů sestavil v laboratoři model situace, která nastala na palubě družice. Vše ukazovalo na zkrat v systému solárních článků. Tyto experimenty vedly k závěru, že k poruše došlo s největší pravděpodobností během předstartovní přípravy na kosmodromu Plesetsk. Při instalaci tepelné ochrany mateřské družice se neopatrnou manipulací pracovníka kosmodromu vyklopil jeden ze slunečních panelů a tyč s anténou. Přitom zřejmě došlo k deformaci a zkratování dvou neizolovaných vodičů, které sloužily pro propojení jednotlivých křemíkových fotovoltaických článků panelu. Ke zkratu bohužel došlo na nejméně vhodném místě, v důsledku čehož byly vyraženy i ostatní sluneční panely.

Laboratorní experimenty se záložním systémem ovšem vedly též k nadějnému zjištění, že existuje teoretická možnost obnovení funkce a opětné aktivace družice, pokud se oba vodiče tepelnou dilatací nebo jiným způsobem od sebe opět vzdálí. Technici proto připravili řadu telemetrických povelů pro oživení družice, které pozemní telemetrická řídicí stanice v Panské Vsi periodicky vysílala směrem k její vypočtené poloze. I přes neúspěšnost těchto pokusů se pracovníci observatoře nevzdávali a alespoň jednou měsíčně pokusy opakovali.

Konečně v květnu 1998 jejich trpělivost přinesla ovoce. Po dvaceti měsících se podařilo Magion 5 znovu úspěšně aktivovat. Stav přístrojů na palubě byl až nečekaně dobrý. Družice tak mohla být brzy po oživení uvedena do plného provozu. Na základě předchozích zkušeností se ji dařilo orientovat na Slunce pomocí trysek na stlačený plyn a využívat tak maximálně výkonu slunečních panelů. Vzhledem ke dráze družice

bylo nutné provádět korekce orientace rotační osy častěji, až třikrát týdně. Za dobu provozu získal Magion 5 na 1500 hodin záznamů analogové telemetrie a na 41 GB číslicových dat. Po vyčerpání plynu pro korekční trysky se osa rotace začala stále více odchylvat od směru na Slunce, až příkon panelů klesl pod minimální klidovou spotřebu a družice se odmlčela. K poslednímu kontaktu došlo 2. července 2002.

Magiony příběh nekončí

Ionosférické oddělení Geofyzikálního ústavu se po převedení do Ústavu fyziky atmosféry postupně rozdělilo na několik částí (oddělení horní atmosféry, oddělení kosmické fyziky, oddělení aeronomie a pracovní skupinu numerických simulací heliosférického plazmatu), které navázaly na různorodé zkušenosti původního ionosférického oddělení.

Observatoř v Průhoncích u Prahy, spadající pod oddělení aeronomie, pokračuje v ionosférických měřeních započatých dr. Mrázkem a postupně zdokonalovaných až k nyní probíhajícím měřením pomocí moderní digitální ionosondy. Oddělení aeronomie také spolupracuje s oddělením horní atmosféry na unikátním programu ionosférického výzkumu pomocí kontinuálního měření Dopplerova posunu frekvence elektromagnetických vln. Tyto vlny jsou vysílány z několika míst nacházejících se desítky až stovky kilometrů od centrálního přijímače a jejich frekvence jsou pečlivě vybrány tak, aby byly šikmo odraženy od ionosféry. Takové systémy jsou kromě Česka nyní umístěny v Jihoafrické republice, na Tchaj-wanu a v Argentině a brzy bude jeden z nich i ve Francii.

Observatoř Panská Ves, spravovaná oddělením horní atmosféry, mezitím kromě atmosférických a ionosférických měření též úspěšně pokračuje v příjmu družicových dat. Využívá přitom postupně budovaných zkušeností, od pokusů s příjmem prvních družicových signálů přes vzepětí spojené s programem Magion až po současnost, kdy observatoř ve spolupráci s oddělením kosmické fyziky intenzivně přijímá jedinečná vědecká data z přístrojů WBD. Ty byly vyvinuty na University of Iowa (USA) a měří elektromagnetické vlny velmi nízkých frekvencí na palubách čtyř družic mise Cluster. Jejich data přijímají desetimetrové antény, vybudované původně pro družice Magion 4 a Magion 5. Pro plánování příjmů a prvotní zpracování dat se podařilo získat financování z evropské vesmírné agentury ESA, především díky dlouhodobé snaze pracovníků oddělení kosmické fyziky, kteří jsou do projektu Cluster zapojeni již od doby jeho příprav na počátku devadesátých let. Získaná data jsou pak průběžně zpracovávána na oddělení kosmické fyziky a připravována pro archiv ESA s otevřeným přístupem pro vědecké použití. Tato data jsou tak zdrojem nových vědeckých poznatků, které se týkají například vlivu elektromagnetických vln na radiační pásy Země. Tyto jevy mohou mít překvapivě vliv i na náš každodenní život (např. dojde-li k poruchám geostacionárních telekomunikačních družic umístěných právě v oblasti Van Allenových radiačních pásů).

Ani další zkušenosti získané průkopnickým programem Magion nezapadly. Technici, kteří stavěli tyto družice, pokračují ve vývoji částí služebních aparatur pro kosmické projekty, například ve vývoji digitálních slunečních senzorů použitých na družicích Radioastron a Čibis. Především se však spolu s novými kolegy navazujícími na zkušenosti „generace Magion“ zapojují do nových mezinárodních

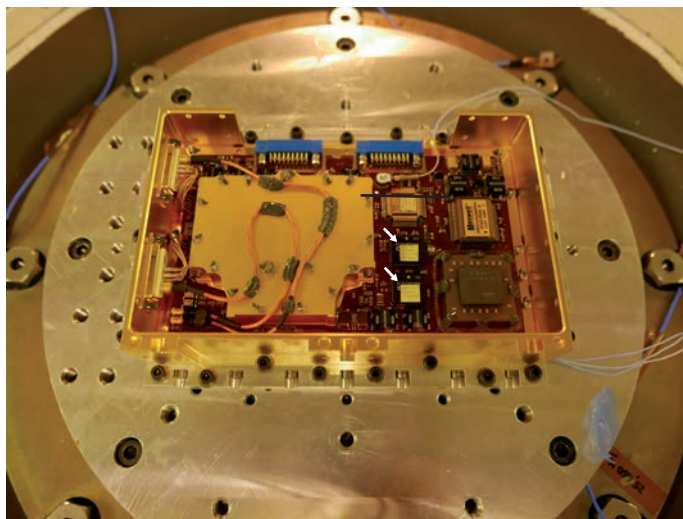
kosmických projektů spojených s vědeckým zaměřením oddělení kosmické fyziky. To se nyní zabývá především analýzou a interpretací měření řady vědeckých družic a meziplanetárních sond kosmických agentur ESA a NASA. Pracovníci oddělení se zároveň snaží o velmi těsné sepětí vědecké analýzy měření již existujících umělých družic a meziplanetárních sond s navazujícím vývojem moderních měřicích přístrojů pro nové projekty umělých družic Země, ale též pro sondu ke Slunci a sondy k planetám sluneční soustavy, jak ukazují následující příklady.

Výzkum skryté tváře bouří – přístroj IME-HF pro družici TARANIS

Hlavním posláním francouzské družice TARANIS (Tool for the Analysis of Radiation from lighNing and Sprites) bude studium atmosférických výbojů mezi troposférou a ionosférou, zejména výbojů typu „sprite“ neboli „skřítek“, a pozemních gama záblesků, které nejsou dosud uspokojivě vysvětleny a souvisí s urychlováním elektronů na vysoké energie. Na základě současného měření v oblasti nízkofrekvenčních vln, rádiových vln, v oblasti infračerveného, optického, ultrafialového, rentgenového a gama záření a měření energetických elektronů se předpokládá rozšíření našich poznatků o těchto dosud jen částečně prozkoumaných jevech. Družice TARANIS bude další družicí ze série mikrodružic MYRIADE, financované francouzskou kosmickou agenturou CNES. Vypuštění na nízkou polární dráhu o výšce 700 km je plánováno na konec roku 2019. Oddělení kosmické fyziky ÚFA AV ČR vede již od počátku prací na projektu v r. 2006 vývoj a stavbu analyzátoru vysokofrekvenčních vln přístroje IME-HF. Projektu se účastní také Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy, která je odpovědná za vývoj a stavbu analyzátoru pro detektor energetických elektronů IDEE.

Samotný přístroj IME-HF (Instrument de Mesure du champ Electrique Haute Fréquence) se skládá ze dvou částí: výklopných elektrických antén s předzesilovači, které byly vyvinuty v laboratoři LPC2E Orléans ve Francii, a z našeho elektronického analyzátoru pro řízení měření a palubní zpracování dat. Tento analyzátor má za úkol velmi rychle digitálně zpracovat analogové signály z předzesilovačů (digitalizace probíhá na vzorkovacím kmitočtu 80 MHz), přijímat povely pro různé režimy práce přístroje, detekovat měřené události, sestavovat výsledný datový tok a komunikovat s telemetrickým systémem družice. Přístroj bude součástí komplexního měření na družici TARANIS a jeho práce bude koordinována s ostatními přístroji na palubě. Bude zaměřen na širokopásmové měření elektromagnetických vln o kmitočtech od několika kHz až do 37 MHz.

Cílem těchto měření bude především detekce elektromagnetických signálů, které jsou buzené nadoblačnými elektrickými výboji. Dále plánujeme stanovit vlastnosti zdrojových bleskových výbojů v atmosféře z jejich vysokofrekvenčních projevů, především určení výšky bleskového výboje nad povrchem Země. Výška výbojů nad povrchem Země je totiž jedním z důležitých parametrů při jejich analýze. Lze ji určit na základě rozdílu v čase detekce dvojice trans-ionosférických pulzů (TIPPs – Trans-Ionospheric Pulse Pairs): jednoho šířícího se přímo a druhého odraženého od země. Dalším cílem přístroje je detekce elektromagnetických



Obr. 6 Analyzátor HFA pro družici TARANIS, připevněný k vibrační stoličce. Konfigurační paměti se jmény a vzkazy účastníků soutěže Pošlete vzkaz skřítkům jsou označeny šipkami (foto O. Santolík)

signálů spojených s vysypáváním částic do atmosféry nebo s jejich urychlováním na relativistické energie. Přístroj bude zaměřen též na identifikaci charakteristických frekvencí ionosférického plazmatu na základě měření vysokofrekvenčních rádiových emisí a na globální mapování přírodních a umělých vysoko-frekvenčních vln.

V rámci přípravy na tento projekt se pracovníci oddělení kosmické fyziky zaměřují též na pozemní optická měření skřítků a jim podobných jevů a na měření elektromagnetických projevů bouřkové aktivity. Po vypuštění družice TARANIS tak bude možno stejné jevy pozorovat ze dvou stran, shora i zdola. Měření pomocí speciálně vyvinutých širokopásmových antén probíhají ve spolupráci s francouzskými laboratoři na jihu Francie a na Korsice, na observatoři ŮFA na Milešovce, ale též na vrcholku Lomnického štítu ve spolupráci se slovenským Ústavem experimentální fyziky SAV.

V souvislosti s vývojem přístroje pro družici TARANIS oddělení kosmické fyziky ŮFA společně s časopisem *Vesmír* zorganizovalo popularizační projekt Pošlete vzkaz skřítkům, ve kterém veřejnost dostala možnost účastnit se cesty do vesmíru formou vzkazů nahraných do paměti analyzátoru. Informace o projektu včetně aktuálního dění souvisejícího s přípravou mise ke startu lze najít na odkazu <https://vesmir.cz/cz/vesmir/projekty/poslete-vzkaz-skritkum/>.

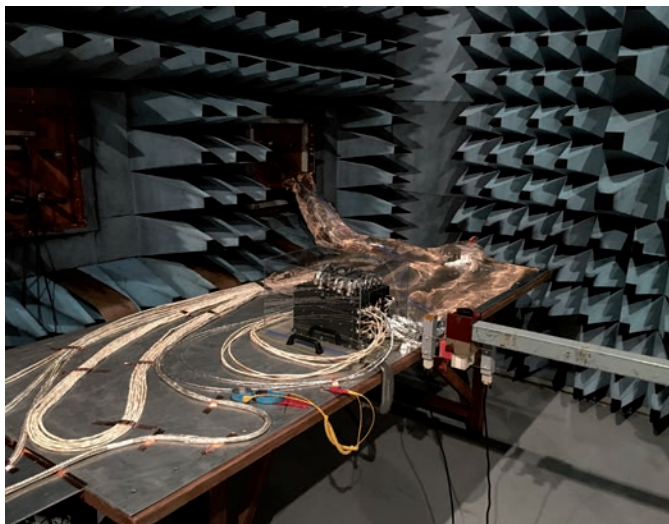
Zaměřeno na Slunce – přístroj TDS pro misi Solar Orbiter

Mise Solar Orbiter Evropské vesmírné agentury ESA bude zaměřena na výzkum procesů ve vnitřní heliosféře. Její start je plánován na rok 2020. Solar Orbiter bude na své oběžné dráze kolem Slunce průběžně měřit lokální vlastnosti plazmatu slunečního větru, elektromagnetická pole, vlny a energetické částice.

Vzdálená pozorování Slunce budou omezena na časové úseky, kdy bude poloha sondy nejvhodnější, tzn. nejvýše nad slunečním rovníkem nebo nejbliže ke Slunci. Během nominální mise se bude Solar Orbiter pohybovat po dráze do 25° sluneční šířky. Tato dráha umožní pozorování polárních oblastí a poskytne klíčová měření, která napomohou lepšímu pochopení funkce slunečního dynama nebo přepólování slunečního magnetického pole. Po sedmi letech se sonda dostane nad 30° sluneční šířky. Bude tak moci pozorovat sluneční póly. K blízkému průletu okolo Slunce bude docházet každých pět měsíců. Během nejbližšího přiblížení se bude sonda pohybovat nejrychleji a po několik dní bude v pozici, kdy se bude pohybovat stejnou rychlostí jako sluneční rotace, tzn. bude pozorovat stejnou oblast sluneční atmosféry.

Modul TDS (Time Domain Sampler), vyvinutý v oddělení kosmické fyziky ÚFA, je součástí přístroje RPW (Radio and Plasma Waves) umístěného na palubě sondy Solar Orbiter. Hlavním úkolem tohoto přístroje je zpracovávat signály ve frekvenčním rozsahu od 100 Hz do 200 kHz. Tento frekvenční rozsah umožňuje pozorování plazmových (tzv. Langmuirových) vln spojených se slunečními erupcemi, meziplanetárními rázovými vlnami a jinými poruchami ve slunečním větru.

Přístroj TDS je navržen tak, aby detailně zachytil procesy, které jsou zatím velice málo pochopeny, a to především energetickou výměnu mezi elektronovými svazky a rádiovými vlnami prostřednictvím Langmuirových vln. Analyzátor TDS bude zaznamenávat vícesložkové signály střídavého elektrického a magnetického pole ve slunečním větru. Tři komponenty vektoru elektrického pole a jedna složka magnetického pole budou vzorkovány synchronně, což umožní provést detailní analýzu vlnové polarizace a rozlišit elektrostatické a elektromagnetické vlny. Právě toto pozorování ve vysokém rozlišení vyžaduje velký objem dat, ze kterého ale může být na Zemi přenesena jen malá část.

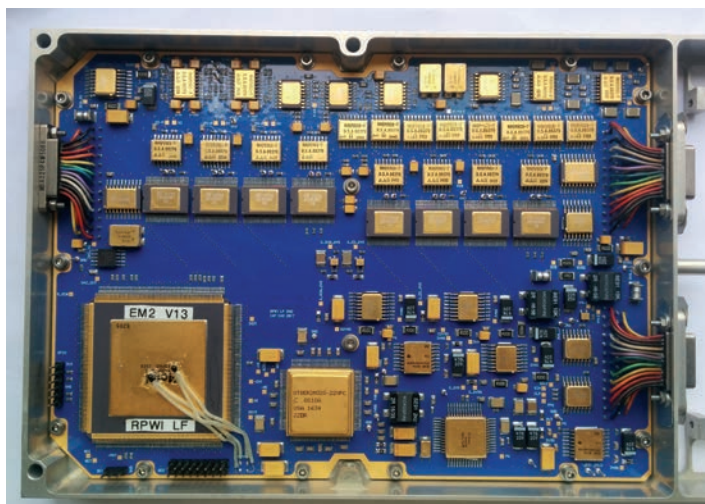


Obr. 7 Přístroj RPW pro sondu Solar Orbiter během testů elektromagnetické kompatibility v bezodrazové komoře (foto M. Maksimovic)

Proto jsou v rámci přístroje implementovány palubní algoritmy, které umožňují tyto relativně vzácné události identifikovat a ukládat je pro pozdější odeslání na Zemi. Přístroj dále používá algoritmy pro detekci pulzů pozorovaných na elektrických anténách při dopadu prachových částic na družici a jejich statistickou analýzu v delších časových obdobích. Vlnový analyzátor TDS obsahuje vysokofrekvenční část, která slouží k záznamu čtyř analogových kanálů na vzorkovací frekvenci až 2 MHz. Analyzátor také obsahuje nízkofrekvenční modul, který bude sloužit jako záložní systém pro případ poruchy primárního nízkofrekvenčního přístroje LFR, který dokáže zaznamenávat elektromagnetické signály na velmi nízkých frekvencích (od desetin Hz). V nominálním režimu bude tato část z důvodu snížení spotřeby elektrické energie vypnutá.

Cesta k ledovým měsícům planety Jupiter - přístroj LFR pro misi JUICE

Sonda JUICE (JUper ICy moons Explorer) byla Evropskou vesmírnou agenturou vybrána v květnu 2012 jako první z nejvýznamnější kategorie „velkých“ (L-class) misí evropského programu Cosmic Vision. Její předpokládaný start je v roce 2022 a přilet k planetě Jupiter v roce 2030. Pochopení systému této planety a odhalení její historie nám poskytne lepší pohled na formování a vývoj plynných obrů a jejich měsíců. Hlavním cílem je charakterizovat podmínky, které mohou vést ke vzniku obyvatelných světů zahrnujících ledové měsíce Jupiteru Ganymeda, Europu a Callisto. Dalším cílem je přinést nové poznatky o podmínkách pro možný vznik života na podobných planetách v exoplanetárních systémech. Ganymed, který je největším Jupiterovým měsícem, poskytuje unikátní prostředí pro výzkum podstaty, vývoje a potenciální obyvatelnosti těchto ledových světů.



Obr. 8 Prototyp analyzátoru LFR pro sondu JUICE k ledovým měsícům planety Jupiter (foto R. Lán)

Sonda JUICE ponese rozmanité vědecké přístroje: optickou kameru a spektrometr, UV spektrograf, laserový altimetr, radar, částicové detektory, elektromagnetické senzory, a též systém antén a analyzátorů pro měření elektrických a magnetických polí v různých frekvenčních pásmech. Během své cesty k Jupiteru vykoná gravitační manévry u Země, Venuše a Marsu. Po zachycení gravitačním polem Jupiteru jsou naplánovány průlety poblíž jeho měsíců Europa a Callisto, navedení na oběžnou dráhu měsíce Ganymed a dopad na jeho povrch po skončení mise.

Oddělení kosmické fyziky ÚFA AV ČR má zástupce v užším šestičlenném vedení jednoho z připravovaných vědeckých přístrojů této sondy, zaštitěném švédským Ústavem kosmické fyziky. S kolegy z dalších čtyř evropských vědeckých institucí tak spolupovídá za koordinaci vývoje a stavby přístroje RPWI (Radio and Plasma Waves Investigation), který vzniká v konsorciu vědců a techniků z 25 institucí v 9 zemích. Oddělení zároveň nese odpovědnost za modul LFR (Low Frequency Receiver). Tento modul bude zpracovávat vícesložkové signály z magnetických antén a Langmuirových sond ve frekvenčním pásmu do 20 kHz. Jeho hlavním úkolem bude získané signály zpracovat a stanovit parametry potřebné pro analýzu šíření elektromagnetických vln v plazmatu uvnitř magnetosféry planety Jupiter, v okolí jeho ledových měsíců a v magnetosféře měsíce Ganymed. Tam byly při průletu sondy Galileo v roce 1996 objeveny elektromagnetické vlny velmi podobné těm, které přispívají k urychlování elektronů v radiačních pásmech Země.

Analýza modulu LFR bude založena na měření tří složek magnetického pole zaznamenaných cívkovým magnetometrem, na měření tří složek elektrického pole a fluktuací koncentrace plazmatu. Zpracovaná a digitalizovaná data budou dále analyzována palubními algoritmy implementovanými v programovatelném hradlovém poli, které je součástí modulu. Data budou zahrnovat časové řady jednotlivých komponent pole a také vícesložková spektrální data: spektrální matice ve vybraných frekvenčních pásmech a vypočtené vlastnosti šíření vln, jako je polarizace nebo směr vlnového vektoru.

Elektromagnetické vlny u Měsíce – přístroj LEMRA-L pro misi Luna-Resurs

Hlavním úkolem ruské mise Luna-Resurs je výzkum Měsíce v oblasti jeho severního pólu. Mise se bude skládat ze dvou částí. Družice Luna 26 bude obíhat měsíc ve výšce 100–150 km nad jeho povrchem v prvním roce po svém vypuštění plánovaném na rok 2021, pak se přemístí na vyšší dráhu s výškou 500–700 km nad měsíčním povrchem. Na palubě ponese přístroje pro dálkový průzkum měsíčního povrchu a přístroje pro výzkum plazmatu. Přistávací modul Luna 27 ponese sadu přístrojů určených pro výzkum podpovrchových měsíčních struktur a přístroje ke sledování interakcí mezi plazmatem a měsíčním povrchem v oblasti jeho pólu.

Vědeckou motivací experimentu LEMRA-L, připravovaného na oddělení kosmické fyziky ÚFA AV ČR, je porozumět vlastnostem elektromagnetických vln v blízkosti Měsíce, které vznikají vzájemným působením slunečního větru a povrchu

Měsíce, včetně tzv. minimagnetosfér způsobených magnetickými anomáliemi na měsíčním povrchu. Další zajímavou oblastí je brázda ve slunečním větru, vznikající za Měsícem na straně odvrácené od Slunce, a hranice této brázdy v blízkosti měsíčního terminátoru. Přístroj LEMRA-L bude analyzovat data ze tří sad senzorů: tříosého fluxgate magnetometru měřícího ve frekvenčním pásmu od zlomků Hz do 10 Hz, tříosého cívkového magnetometru měřícího ve frekvenčním pásmu od jednotek Hz do 10 kHz a elektrické antény ve tvaru dipólu určeného pro stejné pásmo jako cívkový magnetometr. Díky vícesložkovému měření bude možno přímo na palubě družice určit vlastnosti elektromagnetických vln, pomocí palubních algoritmů určit jejich polarizaci, elipticitu, koherenci a směr šíření. Plánujeme také použít kompresi dat, která významně sníží objem informací předávaných na Zemi.

Jsou na Marsu blesky? – přístroj WAM pro misi ExoMars

Pokus o nalezení odpovědi na otázku, zdali někdy existoval život na Marsu, je jedním z hlavních cílů programu ExoMars vedeného Evropskou vesmírnou agenturou ESA. V rámci tohoto programu byly naplánovány dvě stěžejní mise. Na obou spolupracuje ruská agentura Roskosmos, která poskytuje nosnou raketu Proton. První z těchto misí, ExoMars 2016, odstartovala 14. března 2016. Zahrnovala sondu TGO (Trace Gas Orbiter) a též přistávací modul Schiaparelli, kterému se bohužel měkké přistání na povrchu Marsu nezdařilo. Sonda TGO naproti tomu úspěšně pracuje na oběžné dráze Marsu a analyzuje stopové plyny v atmosféře planety, především metan.

Další misí je ExoMars 2020. Ta má na povrch planety (doufejme, že tentokrát to vyjde) umístit přistávací platformu s robotickým vozítkem. Robotické vozítko poveze vrtnou soupravu a sadu vědeckých přístrojů uzpůsobených pro biologický a geochemický výzkum, zatímco přístroje umístěné na přistávací platformě jsou především určeny k výzkumu okolního prostředí. Data z platformy i z robotického vozítka budou odesílána na Zemi pomocí družice TGO. Start mise ExoMars 2020 je plánovaný na červenec 2020, k přistání na povrchu Marsu má dojít v dubnu 2021.

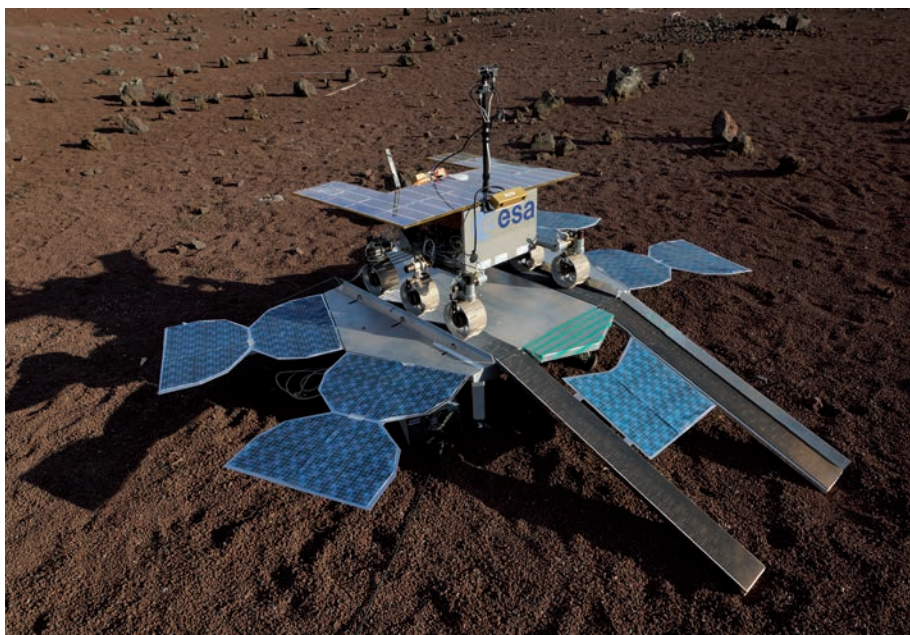
Jedním z vědeckých systémů umístěných na přistávací platformě mise ExoMars 2020 je MAIGRET (Martian ground electromagnetic tool). Jeho hlavní úkoly vycházejí z jednoho ze stěžejních cílů přistávací platformy, kterým je popis elektromagnetických vlastností prostředí na povrchu Marsu. Oddělení kosmické fyziky ÚFA AV ČR pro přistávací platformu připravuje přístroj WAM (Wave Analyser Module), který je součástí systému MAIGRET. Přístroj bude analyzovat změny magnetického pole měřeného indukčním magnetometrem ve frekvenčním rozsahu od 10 Hz do 20 kHz a změny elektrického pole měřeného vertikální anténou v rozsahu od 10 Hz do 8 MHz.

Mezi hlavní úkoly přístroje WAM patří (a) detekce elektromagnetického záření pocházejícího z možných výbojů uvnitř oblaků prachu v atmosféře Marsu, (b) měření vlastností elektromagnetických vln pronikajících k povrchu planety z okolního kosmického prostoru. Analyzátor bude měřit elektromagnetické vlny v dostatečném frekvenčním rozsahu, aby pokryl podstatné vlnové módy, které se mohou k povrchu planety šířit z meziplanetárního prostoru. Dynamický rozsah přístroje by měl

pokryt pásmo od nejslabších detekovaných signálů přicházejících z meziplanetárního prostoru, s amplitudami několika pT, až do amplitud několika nT zaznamenaných měřením magnetického pole při pozorování pozemských blesků.

Z důvodu velmi omezeného objemu dat, která bude možné odvysílat na Zemi, bude přístroj analyzovat data přímo na povrchu Marsu. K tomuto účelu bude vybaven zatím největším programovatelným hradlovým polem, které má kvalifikaci pro vesmírné projekty. To bude obsahovat jednak ovládací prvky pro příjem povelů, formování výstupních datových toků a ovládání elektroniky přístroje, jednak algoritmy pro prvotní zpracování měřených signálů (digitální filtry, spektrální analýzu) a kompresi dat. V programovatelném hradlovém poli budou též implementovány algoritmy pro výběr událostí, které budou tvořit soubory dat určené k dalšímu zpracování na Zemi.

Vzhledem k tomu, že půjde o první měření tohoto druhu na povrchu Marsu, můžeme očekávat různá překvapení. Nevíme například, jaký charakter by mohly mít případné výboje v řídké atmosféře Marsu, protože je ještě nikdo nezměřil. Laboratorní pokusy i simulace ukazují, že by se mohly tvořit díky pohybu prachových částicek různých velikostí a z různých materiálů, které tak do sebe mohou narážet a předávat si elektrický náboj. Elektrické pole mezi různě nabitými částicemi pak může vést ke vzniku výbojů. Uvidíme, zdali se nám je na povrchu Marsu skutečně podaří detekovat.



Obr. 9 Zmenšený model přistávací platformy a prototyp roveru mise ExoMars 2020 při zkouškách v Toulouse, na pískovišti určeném pro simulaci povrchu Marsu (foto ESA)

Závěrem

Putování za skřítky, výprava ke Slunci, dlouhá cesta k ledovým měsícům planety Jupiter a návštěva na povrchu Marsu nám přinesou nejen nové poznatky a zkušenosti, ale pravděpodobně i různá nečekaná překvapení. Těšíme se na tyto cesty s vědomím, že mnoho tajemství nám zůstane skryto.

Uvědomujeme si ale též, že k těmto našim budoucím výpravám do vesmíru vede i cesta z minulosti. Zkušenosti se stavbou robotických přístrojů pro kosmický výzkum byly předávány v několika generacích kolegů, které hnala touha nahlédnout za hranice atmosféry Země.

Od prvních skromných pokusů s příjmem družicových signálů v Panské Vsi tato cesta vedla k průkopnické organizační a technické práci na vlastních umělých družicích. Jsou příkladem umu, vynalézavosti a především schopnosti improvizace. Technici a inženýři generace Magion tak ve skromných podmínkách dokázali vytvořit přístroje, které byly schopné pracovat v náročných podmínkách kosmického prostoru.

A tato cesta nyní pokračuje dále od Země, klikatíc se a větvíc se směrem k účasti na nových projektech meziplanetárních sond.

Použitá literatura

P. TRÍSKA, F. JIRÍČEK, J. VOJTA, A. CZAPEK. The MAGION sub-satellite experiment. *Adv. Space Res.*, sv. 2., č. 7, s. 53–56, 1983; P. TRÍSKA, F. JIRÍČEK, V. VELICKÝ, J. VOJTA. A subsatellite for mother-daughter active space experiments. *Adv. Space Res.*, sv. 10, č. 7, s. 165–168, 1990; B. HOLOTA. *Hovory na nemocničním lůžku: Vzpomínky na dr. Jiřího Mrázka*. Praha: Zvon / Studium / Křesťanská akademie 1994; F. HRUŠKA, P. TRÍSKA, J. VOJTA. Historie vývoje přístrojů a družic pro výzkum ionosféry a magnetosféry. In: I. JANOVSKÝ, I. LORENCOVÁ (Eds.). *Práce z dějin techniky a přírodních věd*. Sv. 19, 50 let kosmonautiky. Konference a sborník k padesátému výročí startu první umělé družice Země, Praha: Národní technické muzeum 2008; M. PULKRÁBKOVÁ. *Stabilizace umělých družic MAGION*. Diplomová práce, Praha: Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy 2009.

Poděkování

Děkuji kolegyním a kolegům, kteří k sestavení tohoto textu přispěli: *Ludmile Trískové, Ivaně Kolmašové, Pavlu Trískovi, Jaroslavu Vojtovi, Františku Hruškovvi, Radku Lánovi, Davidu Píšovi a Janu Součkovi*, ve vzpomínce na *Jana Šmilaueru*, jehož jsem o tuto pomoc již požádat nestačil.

V době mezi odevzdáním textu a jeho korekturami zemřel *Ing. Pavel Tríska, CSc.*, který stál u zrodu družic Magion. V úctě k jeho památce je třeba připomenout, že bez jeho celoživotního úsilí by zde nebylo o čem psát.

Ondřej Santolík

Pracovníci Ústavu fyziky atmosféry se zapojují také do nové strategie Akademie věd České republiky, jejímž mottem je „Špičkový výzkum ve veřejném zájmu“.

VÝZKUMNÝ PROGRAM STRATEGIE AV21 VESMÍR PRO LIDSTVO

Koordinátor: Petr Heinzel

(Astronomický ústav AV ČR, v. v. i.)



Cílem programu je zlepšit zapojení AV ČR do kosmického výzkumu, vazby na průmysl, stejně jako propagaci kosmického výzkumu ve společnosti. Program je zaměřen na posílení spolupráce mezi vědeckou komunitou a technickými týmy při vývoji a testování nových technologií kosmického výzkumu. Důraz je kladen i na transfer získaných technologií do aplikační sféry a na podporu inovačního technologického průmyslu, který je na kosmický výzkum navázán. Témata programu zahrnují např. účast na velké rentgenové misi Athena, na misi k ledovým měsícům Jupiteru (JUICE), na přípravě návrhu polarimetrické družice XIPE, na projektu evropské vesmírné mise ke Slunci (Solar Orbiter), na vývoji špičkových optomechanických systémů pro družice či družicový výzkum nadoblačných výbojů.

Mezi současná témata programu patří:

- **Horký a energetický vesmír – za hranice možností pozemských laboratoří**
Řešitelé: Jiří Svoboda a Vladimír Karas (Astronomický ústav AV ČR, v. v. i.)
- **Evropská vesmírná mise ke Slunci**
Řešitel: František Fárník (Astronomický ústav AV ČR, v. v. i.)
- **Špičkové optomechanické systémy pro výzkum vesmíru**
Řešitel: Vít Lédl (Ústav fyziky plazmatu AV ČR, v. v. i.)
- **Mars a Jupiter – Evropské vesmírné cíle pro 21. století**
Řešitel: Ondřej Santolík (Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i.)
- **Ionosférické jevy nad bouřkovými oblastmi**
Řešitel: Ivana Kolmašová (Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i.)
- **Dozimetrie kosmického záření**
Řešitel: Iva Ambrožová (Ústav jaderné fyziky AV ČR, v. v. i.)
- **Nové přístroje pro kosmický výzkum**
Řešitel: Jan Souček (Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i.)

V roce 2018 je tomu již čtyřicet let od chvíle, kdy na oběžné dráze začal pracovat legendární Magion, první československá umělá družice Země. Následovaly čtyři další československé a posléze české družice této řady. Všechny byly navrženy, postaveny a až do roku 2002 řízeny pracovníky ionosférického oddělení Geofyzikálního ústavu, jež během té doby přešlo do Ústavu fyziky atmosféry. Brožura popisuje cestu, která od padesátých let minulého století vedla k těmto robotickým průzkumníkům blízkého vesmíru a též spletitou historii jejich vzniku. Ukazuje plynulý vývoj této významné části našeho kosmického výzkumu, který v současné době míří k novým vědeckým přístrojům připravovaným na oddělení kosmické fyziky Ústavu fyziky atmosféry, určeným pro mezinárodní projekty družicového výzkumu okolí Země a pro meziplanetární sondy ke Slunci, k Marsu a k Jupiteru.

V EDICI VĚDA KOLEM NÁS PŘIPRAVUJEME:

Václav Žůrek: **Centrum medievistických studií**

Dalibor Dobiáš, Michal Fránek, Pavla Machalíková: **Rukopisy**

královédvorský a zelenohorský v českých zemích a Evropě

Alena Sarkissian: **Databáze Olympos**

V EDICI MIMO JINÉ VYŠLO:

Vítězslav Jarý, Jan Pejchal: **Scintillators around us (English edition)**

Kateřina Bišová: **Jak se dělí buňky**

K. Nováček, M. Melčák, L. Starková, O. Beránek: **Ohrožená architektura města Mosulu**

Edice Věda kolem nás | Výzvy a otázky

Magion, jeho předchůdci a následovníci | Ondřej Santolík

Vydalo Středisko společných činností AV ČR, v. v. i. Grafická úprava dle osnovy Jakuba Krče a sazba Serifa. Odpovědná redaktorka Petra Královcová. Vydání 1., 2018. Ediční číslo 12469. Tisk **SERIFA**®, s. r. o., Jinonická 80, 158 00 Praha 5.

ISSN 2464-6245

Evidováno MK ČR pod e. č. E 22344

Další svazky získáte na:

www.vedakolemnas.cz | www.academia.cz | www.eknihy.academia.cz