Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso **40**, 151 – 158, (201)

Kozmická fyzika v Košiciach:

História, súčasnosť a využitie fondov EÚ pre jej budúci rozvoj

K. Kudela a M. Slivka

Ústav experimentálnej fyziky Slovenskej akadémie vied
Watsonova 47, 040 01 Košice, Slovenská republika (E-mail: kkudela@upjs.sk)

Doručené: November 2, 2010; Akceptované: December 6, 2010

Abstrakt. Účasť Oddelenia kozmickej fyziky (OKF) Ústavu experimentálnej fyziky SAV v Košiciach (ÚEF SAV) v "Centre kozmických výskumov: vplyvy kozmického počasia", ktoré vzniklo s podporou európskych fondov v rámci Operačného programu výskum a vývoj, projektu ITM 26220120009, je vyvolaná snahou zabezpečiť jeho dynamický rozvoj v budúcnosti. Je podložená výsledkami, ktoré oddelenie získalo pri skúmaní energetických kozmických častíc pomocou pozemných i družicových meraní za viac ako 40 rokov svojej činnosti. Krátko uvedieme niektoré aktivity OKF s projektom spojené.

Kľúčové slová: kozmická fyzika – energetické častice v kozme

1. Úvod

ÚEF SAV v Košiciach sa prostredníctvom OKF podieľa viac ako 40 rokov na výskume energetických kozmických častíc pomocou pozemných meraní, meraní na raketách, družiciach a iných kozmických aparátoch. Kozmofyzikálny výskum v ústave je orientovaný na (i) pozemné merania kozmického žiarenia a ich analýzu (Lomnický Štít) a na (ii) štúdium procesov v kozmických podmienkach, kde informácie sprostredkujú častice nižších energií (kozmické aparáty). Podrobnejšie informácie o aktivitách OKF možno nájsť na stránke http://space.saske.sk.

Finančné prostriedky, ktoré ústav získal z európskych fondov, sú významným stimulom pri zapájaní sa do nových kozmických experimentov a pre fyzikálnu analýzu v kozmickej fyzike.

2. Merania neutrónovej zložky KŽ na zemskom povrchu

Merania prebiehajú na vysokohorskom pracovisku OKF Lomnický Štít pomocou neutrónového monitora (NM). Prvé merania KŽ boli vo Vysokých Tatrách urobené už roku 1958 počas Medzinárodného geofyzikálneho roku. Odvtedy NM prešiel mnohými zmenami. Po poslednej významnej zmene, od roku 1981, tu pracuje 8-NM-64 s vysokou štatistikou ($1{,}6\times10^6$ častíc/hod.).

V súčasnosti sú k dispozícii v reálnom čase merania s krokom 1 minúta (dáta na http://neutronmonitor.ta3.sk). NM na Lomnickom Štíte je súčasť ou celosvetovej siete. V uplynulých rokoch sa stal súčasť ou siete európskych staníc v projekte 7RP EÚ s označením NMDB (Neutron monitor data base, http://www.nmdb.eu). Podrobnejšie informácie o meraniach na Lomnickom štíte sú v práci Kudelu a Langera (2009)[1]. O zmenách, resp. rozšírení pozemných meraní s podporou projektu pojednáva (Langer *et al.*, 2011).

K najvýznamnejším výsledkom meraní na Lomnickom Štíte patrí prvá registrácia slnečných neutrónov v erupcii 3. júna 1982 spoločne s NM Jungfraujoch. Niektoré ďalšie výsledky sú krátko spomenuté v referenciách článku Kudelu a Langera (2009).

3. Družicové merania kozmického žiarenia

V 70-tych rokoch minulého storočia sa začali v Košiciach vyvíjať aj aparatúry pre družicové merania kozmických častíc. Vtedajší riaditeľ ÚEF a vedúci oddelenia KŽ Prof. Juraj Dubinský zapojil pracovisko do programu Interkozmos. Aktivity OKF možno rozdeliť do troch smerov: (i) výskum neutrálnych energetických emisií, (ii) jadrovofyzikálny aspekt KŽ s využitím pasívnych detektorov, (iii) skúmanie zmien tokov častíc stredných energií. Zmena orientácie, hlavne na častice energií medzi slnečným vetrom a typickým KŽ, po r. 1980 viedla k zmene názvu oddelenia na OKF. Dôležitou časť ou aktivít OKF v kozmických experimentoch bol a zostáva vývoj elektronických častí unikátnych zariadení pre prácu v kozme. Prehľad o slovenskej elektronike pre kozmofyzikálny výskum na Slovensku do r. 1997 je zachytený v (Rojko, 1997). V Tab. 1 je zoznam doterajších experimentov pre kozmofyzikálny výskum, ktorých elektronické časti boli vyvíjané v OKF. Viacej na http://space.saske.sk .

3.1. Neutróny a gama žiarenie

Prvým experimentom pripraveným na merania neutrónov na balóne bol prístroj BANAN. Spoločne s Fyzikálno-technickým ústavom v Leningrade bola v Košiciach vyvinutá elektronická časť experimentu SK-1, ktorý meral na družici Interkozmos-17 vypustenej v r. 1977. Bol to prvý kozmický experiment s automatickým záznamom meraní a prenosom dát na Zem, ktorého časť bola vyvinutá na Slovensku. Slnečné neutróny zaznamenané neboli, ale namerané boli toky neutrónov zemského albeda.

K problematike neutrónov a gama žiarenia v blízkosti Zeme sa OKF vrátilo po roku 1990 meraním prístrojmi s označen'ım SONG (Solar Neutrons and Gamma rays) na družiciach CORONAS-I (1994) a CORONAS-F (2001-2005) v spolupráci so Skobeltsynovým ústavom jadrovej fyziky Moskovskej Univerzity. Elektronika prístrojov bola vyvinutá v Košiciach.

Prístroj SONG na družici CORONAS-F zaregistroval výrazné toky gama žiarenia vysokých energií, ako aj slnečné neutróny počas niekoľkých silných sl-

[1] Viď zoznam literatúry (References) v anglickej verzii článku.

Tabuľka 1. Zoznam doterajších experimentov pre kozmofyzikálny výskum, ktorých elektronické časti boli vyvíjané v OKF. (*Prístroje vyvinuté na MFF UK v Prahe. ÚEF SAV sa podieľal na analýze meraní.)

Označenie prístroja	Družica /raketa	Dátum vypustenia	Per. [km]	Apogeum [km]	i [^{o}]
PG-1*	IK-3	7.8.1970	206	1315	48.4
PG-1A*	IK-5	2.12.1971	196	1202	48.6
PG-1B*	IK-13	27.1.1975	278	1681	83.5
SK-1	IK-17	24.9.1977	466	511	83
DOK-T	PROGNOZ-8	20.9.1981	980	197390	65
URE-1	VERTICAL-10	21.12.1989	0	1510	raketa
DOK-1	INTERSHOCK	26.4.1985	421	200520	65
SPE-1	ACTIVE	28.9.1989	511	2487	82.6
DOK-S/1	ACTIVE/MAG 2	28.9.1989	511	2487	82.6
DOK-S/2	APEX/MAG 3	18.12.1991	440	3050	82.5
SONG-E	CORONAS-I	2.3.1994	500	500	83
DOK-2X	INTERBALL-T	3.8.1995	371	193000	65
DOK-S/3	IB-T/MAG-4	3.8.1995	371	193000	65
DOK-2A	INTERBALL-A	29.8.1996	7144	25502	62.8
DOK-S/4	IB-A/MAG-5	29.8.1996	7144	25502	62.8
SPE-1M	MIR	1996	324	352	51.6
SLED-2	MARS-96	16.11.1996	-	-	-
SPRUT-6	MIR	10.1998	324	352	51.6
SONG-M	CORONAS-F	30.7.2001	500	500	83
EPD	CESAR	?	400	1000	70
MEP-1	COMPASS	?	350	400	79
NUADU	TC-2/Double Star	25.7.2004	700	39000	90
PEEL	HotPay2	31.1.2008	0	381	raketa

nečných erupcií. Táto skutočnosť ukazuje na jadrové reakcie protónov urýchlených v erupciách do veľmi vysokých energií a napomáha pri určovaní času urýchľovacích procesov (napr. Kuznetsov *et al.*, 2006; Kurt *et al.*, 2009).

3.2. Merania kozmického žiarenia na návratných družiciach

Jadrá KŽ na návratných družiciach boli skúmané pomocou pevnolátkových detektorov. Prvýkrát to bolo na družici Interkozmos-6 v roku 1972, kde boli použité jadrové emulzie a neskôr na návratných družiciach typu Kosmos a na medzinárodnej kozmickej stanici MIR. Išlo tu o skúmanie stôp jadier primárneho KŽ a ich fragmentov. Posledný z týchto experimentov s názvom SK-1 bol realizovaný, ako jediný fyzikálny experiment, počas misie prvého slovenského kozmonauta I. Bellu na stanicu MIR vo februári 1999. Základné údaje o družiciach s pevnolátkovými detektormi, na ktorých sa ÚEF SAV zúčastnil, sú v

Tab. 2. V tejto oblasti sa o výsledky OKF hlavne zaslúžil RNDr. Ladislav Just, CSc (14.9.1946 - 7.3.2005).

Tabuľka 2. Základné údaje o družiciach s pevnolátkovými detektormi

Družica	Dátum štartu	dni	per/apog	i[°]	Exponovaný materiál
IK-6	07.04.1972	4	210/250	51	emulzie
K-1129	25.09.1979	19	218/377	62,8	Kodak
K-1514	14.12.1983	5	226/288	82,4	K + CR 39
K-1667	10.07.1985	7	222/297	82,3	K + CR 39
K-1757	11.06.1986	15	189/252	82,3	4x Kodak
K-1781	17.09.1986	14	217/405	70,4	Kodak
K-2044	15.09.1989	14	216/294	82,3	Kodak
OS-MIR	24.06.1991	34	389/410	51,6	Kodak
MIR	20.2.1999	6	324/352	51,6	Kodak

3.3. Kozmické častice stredných energií

Toky nabitých energetických kozmických častíc predstavovali hlavný záujem výskumu v doterajšej histórii OKF. V prvých rokoch išlo hlavne o merania tokov elektrónov a iónov s energiami > 40 keV na nízkoorbitálnych družiciach Zeme pomocou aparatúr typu PG, ktoré boli vyvinuté na MFF UK v Prahe (družice Interkozmos-3, 5 a 13, tab. 1). V tomto období boli aktuálne otázky dynamiky častíc zachytených v radiačných pásoch Zeme. Výskum bol dôležitý aj z hľadiska ochrany kozmonautov.

Po roku 1980 dochádza k zmene orientácie na výskum nabitých kozmických častíc stredných energii od 10 keV do desiatok MeV. V tejto oblasti energií v okolozemskom priestore bola od začiatku kozmických výskumov pozorovaná značná variabilita tokov častíc (časová aj priestorová). Uplatnili sa tu aj finančne menej náročné spôsoby detekcie. Uvedený energetický interval bol a zostáva zaujímavý pre štúdium plazmových procesov v zemskej magnetosfére (aj v magnetosférach iných planét), v blízkosti jej hraničných oblastí, ako aj v medziplanetárnom prostredí.

Táto orientácia bola vhodná s ohľadom na relatívne malé pracovisko s obmedze-nými finančnými zdrojmi. Pomocou aparatúr typu DOK a SPE, navrhnutých a vyvinutých v ÚEF SAV, ktoré merali toky a spektra elektrónov a protónov v energetickom intervale od 10 keV do 2 MeV pomocou Si detektorov, sa OKF v priebehu 15 rokov podarilo zúčastniť sa viacerých kozmických experimentov so širokou medzinárodnou účasťou (projekty Intershock, Aktivnyj, Apex a Interball). Dáta z týchto experimentov boli využité na skúmanie urýchľovacích procesov v rôznych oblastiach magnetosféry Zeme a v jej okolí, na skúmanie procesov transportu a strát častíc (napr. pri vysypávaní z oblasti záchytu alebo pri úniku cez hraničné oblasti magnetosféry), ako aj na skúmanie súvislostí časticových tokov a kozmického počasia.

Medzi najúspešnejšie experimenty tohto typu patria merania v projekte Interball. Išlo o dvojicu družíc: jedna vypustená do "chvosta"magnetosféry s apogeom asi 200 000 km v roku 1995, druhá do aurorálnej oblasti s nižším apogeom. Na oboch družiciach merali takmer 5 rokov prístroje DOK-2. Prístroje registrovali toky elektrónov a protónov s energiami od 10 keV do 2 MeV s vysokým časovým a energetickým rozlíšením. Prístroje boli vyvinuté v spolupráci s kolegami z Ústavu kozmických výskumov v Moskve a z Demokritovej univerzity v Xanthi (DU, Grécko). Podrobná analýza dát z projektu umožnila získať originálne výsledky o pôvode častíc v okolí zemskej rázovej vlny, ako aj v rôznych oblastiach zemskej magnetosféry (napr. Kudela *et al.*, 1992). Prispeli k tomu aj dáta z dvoch subdružíc (Magion 4 a Magion 5), na ktorých boli umiestnené zjednodušené verzie aparatúry DOK-2 pod názvom DOKS.

Projekt Interball pomohol rozšíriť medzinárodnú spoluprácu OKF po roku 1990. Bol záujem porovnať dáta z Interballu s dátami nameranými súčasne na amerických, japonských i európskych družiciach v iných bodoch okolozemského priestoru. V roku 1998 OKF organizovalo v Košiciach medzinárodnú konferenciu NATO Advanced Research Workshop za účasti vedeckých pracovníkov z viacerých krajín (Interball, 1998). OKF bolo aj hlavným organizátorom dvoch Európskych konferencií o kozmickom žiarení, a to v rokoch 1984 (9 ECRS) a 2008 (21 ECRS), ktoré k rozvoju spolupráce vo výskume energetických kozmických častíc podstatne prispeli.

Po zániku programu Interkozmos pokračovala bilaterálna spolupráca aj s jeho bývalými účastníkmi v laboratóriách okolitých krajín. Snaha pokračovala aj smerom k účasti na projektoch ESA. V spolupráci so STIL Maynooth, Írsko (Prof. Susanne McKenna-Lawlor) sa OKF zúčastňuje na experimente Double Star TC2 (ESA-Čína) prístrojom NUADU (McKenna-Lawlor *et al.*, 2004). Prístroj poskytuje rozdelenie tokov energetických neutrálnych častíc vznikajúcich nábojovou výmenou v geokoróne a pomáha zobrazovať zmeny plazmových populácií a s tým spojených prúdových systémov počas geomagnetických porúch. Niektoré nové výsledky boli publikované napr. v práci McKenna-Lawlor *et al.* (2009). 31. januára 2008 štartovala v severnom Nórsku raketa HotPay-2, na ktorej počas letu do výšky 380 km merala aparatúra PEEL vysypávajúce sa elektróny (aparatúra OKF v spolupráci s DU).

4. Budúce kozmické experimenty a ich zabezpečenie

OKF má v súčasnosti predbežne dohodnutú spoluúčasť niekoľkých nasledujúcich projektoch. V roku 2011 sa očakáva štart družice SPEKTR-R s monitorom energetických častíc MEP-2 (komplex PLASMA-F, http://ilwsonline.org/china_russia.pdf), čo rozšíri merania Interballu a prispeje k opisu nízkych tokov častíc v medziplanetárnom prostredí. Pre projekt RESO-

NANCE sa začalo s návrhom časticového prístroja DOK-R. Predpokladáme možnú účasť našich aparatúr v projekte INTERHELIOS (merania slnečných neutrónov a gama žiarenia). V projekte BepiColombo (sonda ESA k Merkúru) sa OKF v širokej medzinárodnej spolupráci podieľa na vývoji hmotového spektrometra iónov PICAM komplexu SERENA (http://www.ifsi-roma.inaf.it/serena/docs/SERENATEAM.pdf). Uvažuje sa o účasti v projektoch Solar Probe, resp. Cross-Scale (http://www.cross-scale.org/Community.html).

Z doterajších skúseností v kozmofyzikálnom výskume sa ukazuje potreba niekoľkých faktorov Po prvé, je potrebné mať skupinku, ktorá na základe vedeckŕho kreditu jej členov, predošlých skúseností a medzinárodných kontaktov môže zapojiť pracovisko do nových vedeckých projektov. Druhým, veľmi dôležitým elementom, je existencia dobrej technickej bázy, schopnej na aktuálnej technickej úrovni realizovať nové vedecké aparatúry, berúc do úvahy požiadavky kozmických projektov. Tretím, nemenej dôležitým faktorom, je spracovanie dát zahrňujúce prípravu softveru pred experimentom, prvotné spracovanie a archiváciu nameraných dát počas experimentu do formy využiteľnej širšou medzinárodnou komunitou. OKF má aktivity v medzinárodných programoch ILWS (http://ilwsonline
.org/ilws_organization.htm, http://ilwsonline.org/ilws_slovakia.pdf) a ISWI (http://stara.suh.sk/id/iswi/iswi_SK-en.htm).

Okrem ľudských zdrojov je nevyhnutné zabezpečiť dostatok financií na výskum. Bez nich sa nezaobíde nákup výpočtovej a prístrojovej techniky, elektronických súčiastok a detektorov pre kozmické aparatúry, ale ani účasť na rôznych poradách, skúškach kozmických aparatúr a na medzinárodných konferenciách s tematikou energetických kozmických častíc. Zdroje, ktoré doteraz čerpáme, hlavne z prostriedkov domácich grantových agentúr, sú flexibilné a efektívne využiteľné, avšak pre budovanie Centra vo väčšom rozsahu sú nedostatočné. Možnosť čerpania prostriedkov z fondov EÚ sú v OKF vítané a účasť oddelenia v Centre kozmických výskumov je sľubná hlavne z hľadiska ďalšieho rozvoja pracoviska.

5. Centrum kozmických výskumov: vplyvy kozmického počasia (CKV)

Kozmické energetické častice, vrátane KŽ, majú dôležité miesto v pochopení javov kozmického počasia (napr. Kudela *et al.*, 2010). OKF ÚEF SAV sa zúčastňuje na práci CKV ako partnerské pracovisko AsÚ SAV. Ďalším partnerským pracoviskom je UPJŠ v Košiciach. V rámci CKV a jeho špecifického cieľa 1: Dobudovanie základnej infraštruktúry pracovísk Centra kozmických výskumov sa OKF podieľa na aktivite 1.2 : Modernizácia pracovísk Oddelenia kozmickej fyziky Ústavu experimentálnej fyziky v Košiciach a na Lomnickom Štíte (zodp. K. Kudela). V rámci tejto aktivity riešime tri čiastkové činnosti: 1.2.1 - Vybudovanie laboratória kozmickej techniky a technológie v Košiciach pre vývoj družicových aparatúr (zodp. J. Baláž); 1.2.2 - Modernizácia pozemného merania KŽ na Lomnickom Štíte a v menšej nadmorskej výške (zodp. R. Langer) a 1.2.3 - Vybudovanie laboratória kozmickej fyziky pre analýzu družicových a pozemných meraní energetických kozmických častíc a vplyvov kozmického počasia (zodp. I. Strhárský). Do uvedených aktivít sú zapojení ďalší pracovníci OKF ako aj niektorých iných oddelení ÚEF SAV.

Väčšinu finančných prostriedkov, ktoré ÚEF získal v rámci dvoch etáp projektu s kódom ITMS: 26220120009 Operačného programu Výskum a vývoj, plánujeme využiť na nákup výpočtovej techniky, na modernizáciu neutrónového monitora na Lomnickom Štíte ako aj na zlepšenie prístrojového vybavenia skupinky v OKF, zaoberajúcej sa vývojom nových vedeckých aparatúr pre kozmické experimenty. Je však potrebné povedať, že naše meracie prístroje, okrem NM, budú pracovať v kozmickom priestore až v budúcnosti a ich vedecké využitie nie je možné teraz jednoznačne časovo vymedziť . Závisí to od dodržania termínov jednotlivých kozmických misií, na ktorých sa plánujeme zúčastňovať. Termíny kozmických misií nie sú v niektorých prípadoch pevné a preto aj plánovanie vedeckých výstupov z týchto experimentov nie je v tomto období možné presne odhadnúť .

Špecifikom oproti dobudovaniu laboratórnych unikátnych zariadení, na ktoré sú zamerané viaceré iné centrá excelentnosti s podporou štrukturálnych fondov EÚ, je osobitne v činnosti 1.2.1 to, že nemožno "zakúpiť "hotové stacionárne meracie prístroje pre kozmofyzikálny výskum, ktoré by pracovali na kozmických aparátoch. Špecifické požiadavky kladené na kozmické experimenty vyžadujú podstatne lepšie podmienky pre ich technický návrh, vývoj a testovanie než má OKF doposiaľ. Iba toto umožní priamu účasť v nových kozmických misiách vedených silnými kozmickými agentúrami vo svete. Podrobnejšie o návrhu, vývoji a kvalifikácii aparatúr pre kozmické experimenty, ako aj o význame zlepšenia experimentálneho vybavenia v OKF pre budúcnosť pojednáva (Baláž, 2011).

V programe OKF v rámci CKV, okrem nových kozmických experimentov, zostáva v OKF aktuálnou analýza meraní z predchádzajúcich družicových experimentov (napr. Interball, CORONAS-F, Double Star ap.). Projektové finančné prostriedky sú využívané aj na cestovné, a to nielen na spoločnú analýzu získaných údajov meraní, ale aj na prípravu publikácií v oblastiach teoretických, akými sú napr. šírenie KŽ, turbulencia so vzťahom ku kozmickej plazme, simulácie pohybu častíc v heliosfére, magnetosfére Zeme ap..

Náročné výpočty, vrátane štatistických procedúr, prípravy dátových báz pre fyzikálnu analýzu, ale hlavne simulačné výpočty v kozmickej fyzike sú v poslednom období významným nástrojom pre pokrok v chápaní kozmofyzikálnych procesov s "účasťou"kozmických energetických častíc. To vyžaduje výkonnú výpočtovú techniku. Tá zasa môže napomôcť k účasti v nových kozmických projektoch. Tak je to v súčasnosti vo veľkom medzinárodnom projekte JEM-EUSO (http://jemeuso.riken.jp/en/members.html). Naša začínajúca sa spoluúčasť je spomenutá napr. v práci (Kajino *et al.*, 2009). Terajší stav, potreby a význam zlepšenia situácie v OKF v oblasti výkonnej výpočtovej techniky a informatiky s podporou projektu CKV je uvedený v práci (Strhárský, Bobík, 2011).

Viaceré publikácie tu neuvedené, ale vzťahujúce sa ku kozmofyzikálnemu výskumu v OKF, možno nájsť v príslušných kapitolách bienálnych reportov národného komitétu COSPAR na http://nccospar.saske.sk .

Poďakovanie. Táto publikácia bola vytvorená realizáciou projektu ITMS číslo 26220120009, na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

Viď zoznam literatúry (References) v anglickej verzii článku.