

30 ROKOV KOZMOFYZIKÁLNEHO VÝSKUMU V KOŠICIACH.

Karel Kudela

Je uvedený krátky prehľad doterajších aktivít a vybraných výsledkov košických fyzikov a technikov, ktorými je do značnej miery ovplyvnený kozmofyzikálny výskum na umelých družiciach a raketách v slovenských podmienkach.

K l' ú č o v é s l o v á: kozmický výskum, kozmická fyzika, kozmické žiarenie

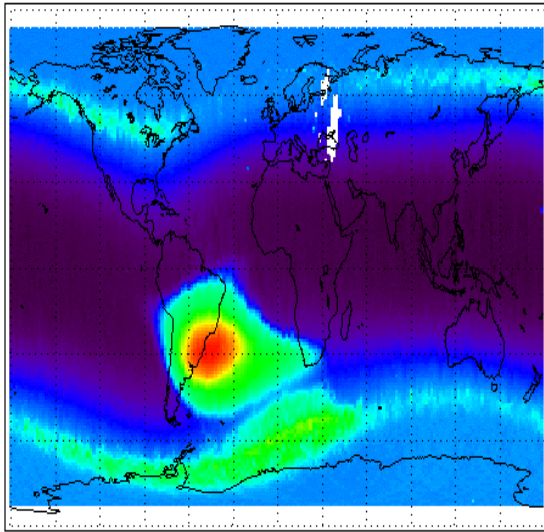
1. ÚVOD.

Pred 30 rokmi, presnejšie dňa 7. augusta 1970 bola vo vtedajšom Sovietskom zväze vypustená umelá družica Zeme Interkozmos-3 (IK-3), ktorou sa datujú začiatky kozmofyzikálneho výskumu na ÚEF SAV v Košiciach a na slovenských pracoviskách vôbec. Išlo o jednu z prvých participácií slovenských pracovísk na výskume kozmu za hranicami atmosféry. Výskumu na tejto ako na sérii ďalších podobne zameraných družíc sa zúčastnili tri československé pracoviská, a to Geofyzikálny ústav, Astronomický ústav ČSAV v Prahe ako aj pracovisko naše. V zahraničí okrem ruských kolegov (hlavne z Moskovskej Univerzity) to boli ešte kolegovia z Maďarska a Poľska. Išlo najmä o opis procesov, ktoré vedú k zmenám tokov energetických častíc v nízkej zemskej magnetosfére. Najmä Prof. Juraj Dubinský, prvý riaditeľ Ústavu experimentálnej fyziky zapojil pracovisko do tohto výskumu. Aparatúra bola vyvinutá na MFF UK v Prahe. Podobná problematika sa študovala neskôr na družiciach IK-5 a IK-13. K hlavným výsledkom patrili charakteristiky tokov častíc vysypávajúcich sa z oblastí stabilného záchytu a dôležitosť interakcií vln a častíc vedúcich k týmto efektom. Na vtedajšiu dobu išlo o zaujímavé výsledky opisujúce napr. dĺžkové rozdelenie tokov kvazizachytených častíc a z toho vyplývajúce zistenia o rýchlosti ich uhlovej difúzie. Množstvo dát, a to už aj z prvých elektronických časticových meraní na družiciach, vyžadovalo relatívne veľké úsilie pri ich spracovaní. Dnešná výpočtová

technika je neporovnateľná s vtedajšími možnosťami. Jadrovo-fyzikálny aspekt – interakcie jadriar kozmického žiarenia s jadrami emulzie exponovanej na návratnej družici IK-6 v relatívne širokej medzinárodnej spolupráci, priniesli nové poznatky o jadro-jadrových interakciách pri extrémnych energiách. Expozície pasívnych detektorov stôp jadriar kozmického žiarenia na návratných družiciach pokračovali sériou pokusov na družiciach Kozmos a doteraz posledným experimentom tejto série bol SK1 v projekte Štefánik so slovenským kozmonautom vo februári 1999 na stanici MIR.

2. MAGNETOSFERICKÉ ČASTICE NA MALÝCH VÝŠKACH.

V polovici 70. rokov vznikol nápad pokúsiť sa nájsť skúsenejších elektronikov v Košiciach, ktorí by boli schopní vyvíjať elektronické ako aj jednoduchšie detekčné systémy meraní kozmických častíc pre družice tu. Pochopenie pre tieto aktivity boli nájdené najmä na vtedajšej Katedre rádioelektroniky EF VŠT (teraz FEI TU). Prvým takým experimentom boli balónové merania BANAN vo vtedajšom ZSSR. Išlo o odskúšanie metodiky detekcie neutrónov, ktorá by sa v určitej modifikácii využila neskôr na družiciach. Od roku 1975 vzniká na ÚEF SAV maličká technická skupina oddelenia (vtedy oddelenie kozmického žiarenia, od roku 1980 názov oddelenie kozmickej fyziky), ktorá začala s návrhom, konštrukciou a testovaním aparátúr pre



družice na ústave v spolupráci s uvedenou katedrou FEI TU Košice.

V týchto rokoch sa rozvinuli tak práce analytické ako aj experimentálne. Okrem družice Obr.1. Mapa rozdelenia energetického (3.0 – 8.3 MeV) gama žiarenia získaná z niekoľkých mesiacov pozorovaní prístrojom SONG na družici CORONAS- I. Počet meraní prevyšuje 10^6 .

IK-13 bol významným najmä Interkozmos-17, zameraný na komplexný výskum korpuskulárnej radiácie rôznych typov a energií na nízkej orbite. Naše pracovisko sa do tohto projektu zapojilo v podstatne širšej miere ako predtým (neutróny, gama žiarenie, elektróny a častice radiačných pásov, a to nielen vývojom elektronických častí aparatury SK1 a jeho analýzy, ale aj analýzy meraní iných aparatur). Boli získané veličiny tokov neutrónov, gama žiarenia a elektrónov na nízkej orbite. Záujem o neutróny bol spojený najmä s tými, ktoré sú ako produkty jadrových reakcií generované v slnečných erupciách a ktorých vysokoenergetická časť môže bez rozpadu dôjsť k Zemi a tam byť registrovaná. Vďaka zvýšeniu štatistickej presnosti meraní na Lomnickom štíte bola po prvý krát takáto odozva od slnečných neutrónov registrovaná pozemnými stanicami (Jungfraujoch, Lomnický štít a Rím).

Problematika tokov neutrónov a gama žiarenia na nízkych orbitách je stále aktuálna. Z posledných meraní na družici CORONAS-I prístroj SONG, ktorého elektronická časť bola vyvinutá na ÚEF SAV, dovolil opísať veľmi podrobne toky týchto častíc (ako aj ich časové variácie spojené s magnetickou aktivitou) na výške 500 km. Jedna mapa ukazujúca tak šírkový efekt gama žiarenia tzv. zemského albeda (častice vznikajúce ako produkt jadrových reakcií primárneho kozmického žiarenia so zvyškovou atmosférou – ich časť uniká do vonkajšieho priestoru) ako aj gama žiarenie vznikajúce ako "bremsstrahlung" najmä v oblasti juhoatlantickej anomálie je uvedený na obr. 1. V budúcom roku sa predpokladá vypustenie podobnej družice, CORONAS F, pre ktorú je v súčasnosti vyvinutý v spolupráci s MGU Moskva zdokonalený prístroj typu SONG.

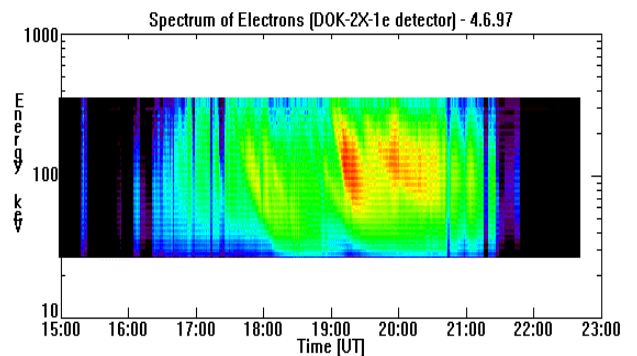
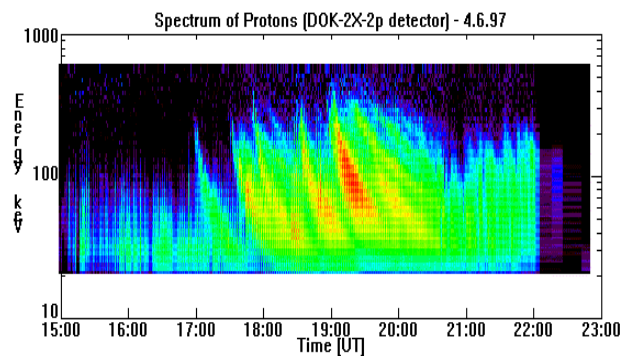
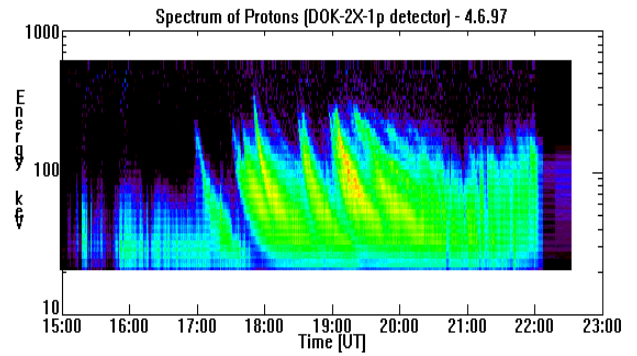
3. ČASTICE STREDNÝCH ENERGIÍ.

V 80. rokoch sa popri výskume kozmického žiarenia meraného neutrónovým monitorom na Lomnickom štíte problematika oddelenia kozmickej fyziky orientovala na oblasť tzv. stredných energií. Ukázalo sa, že orientácia, aspoň v ďalších 10-15 rokoch to bola správna, priniesla sériu nových poznatkov a nových medzinárodných kolaborácií. Ide o častice, ktorých energia je podstatne vyššia ako je energia častíc kozmickej plazmy (napr. slnečného vetra, kde sa prejavujú kolektívne procesy) a na strane druhej podstatne nižšia ako je energia častíc označovaných ako kozmické žiarenie. Toky častíc, ich energetické zloženie a uhlové rozdelenie, sú značne variabilné tak v priestorovom ako aj časovom slova zmysle. Preto relatívne jednoduché aparatury na ich monitorovanie sa uplatňujú v celom rade fyzikálnych úloh, na ktoré sú orientované družicové výskumy: urýchľovanie, transport a straty častíc v magnetosfére Zeme, osobitne pri geomagnetických búrkach, prenos častíc z medziplanetárneho priestoru do zemskej magnetosféry, diaľkový prieskum hraničných magnetosferických oblastí a ich pohyby, pôvod častíc pred zemskou rázovou vlnou a v prechodovej oblasti, kozmické počasie ap. Z nasledujúcej serie experimentovania (išlo tak

o nízkoorbitálne experimenty akým bol úspešne merajúci SPE1 – spektrometer protónov a elektrónov na družici Active /IK 24 ako aj o vysokoapogeové družice typu Prognoz akými boli Prognoz-8 a 10) uveďme aspoň jeden, pravdepodobne doteraz najúspešnejší. V projekte Interball (chvostová družica vypustená na orbitu s apogeom 200.000 km v auguste 1995 a pracujúca doteraz) funguje dlhodobo stabilne aparatúra s označením DOK2. Bola vyvinutá našou technickou skupinou v spolupráci s kolegami v Ústave kozmických výskumov v Rusku a na Demokritovej univerzite v Xanthi, Grécku. Doteraz získané podrobné energetické spektrá umožnili získať originálne výsledky o pôvode častíc pred zemskou rázovou vlnou, v prechodovej oblasti a v magnetosferickom chvoste a analýza pokračuje. Obr. 2 ukazuje unikátne pozorovania (podrobné disperzné energetické spektrum protónov a elektrónov umožňujúce robiť závery o mechanizmoch generácie a šírenia sa častíc stredných energií v magnetosfére zeme napr. pri geomagnetických poruchách).

K tomu pristupujú dáta z Interballu-2 a z dvoch českých subdružíc Magion 4 a 5. V zahraničí je záujem o komparatívne štúdiá s americkými, japonskými a európskymi družicami. Dokladom toho je, že sme v Košiciach, na Technickej Univerzite, organizovali NATO Advanced Research Workshop s problematikou Interballu v septembri 1998. Účasť bola vysoko reprezentatívna, a to z USA, štátov strednej a západnej Európy, Ruska, Japonska ap.

Obr.2. (vpravo). Vysoké energetické rozlíšenie (56 energetických kanálov v oblasti zhruba od 20 do 600 keV) ukazuje sériu injekcií energetických častíc v nočnej magnetosfére a ich nasledovný príchod do miesta merania podľa driftovej doby. Prístroj DOK2 vyvinutý na ÚEF SAV pracoval po viac ako 5 rokov na Interballe 1. Uvedený je diferenciálny tok ($\text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{keV}^{-1}$) vynásobený E^4 , kde E je kinetická energia v keV



10.980 9.740 8.440 7.050 5.570 3.990 2.330 0.590 -1.180
X-in GSE

-1.130 -0.870 -0.610 -0.330 -0.050 0.230 0.510 0.770 0.990
Y-in GSE

-9.540 -9.540 -9.470 -9.300 -9.020 -8.580 -7.990 -7.020 -5.300
Z-in GSE



4. MOŽNÉ PERSPEKTÍVY.

Doterajšie skúsenosti s návrhom, testovaním, vývojom ale aj s fyzikálnou analýzou prístrojov pre dlhodobé automatizované družicové merania energetických častíc v Košiciach spolu s obmedzenými finančnými možnosťami, nás viedli k orientácii na relatívne jednoduché monitorovacie systémy sledovania tokov častíc na rôznych družiciach. Obr. 3 ukazuje prístroj s označením MEP1, ktorý bol na ÚEF SAV vyvinutý pre jednu nízkoorbitálnu družicu.



Obr. 3. Prístroj MEP1 umožňujúci flexibilné zmeny meracích režimov pre monitorovanie tokov nabitých častíc stredných energií na družici.

Z času na čas sa objavujú možnosti medzinárodných kolaborácií v ktorých by monitorovacie časticové aparatúry ÚEF SAV mohli byť využité. Ide napr. o pozvanie do projektu SCORPION a SPRUT VI pre ruský segment medzinárodnej kozmickej stanice. Kolaborácie, ktoré dnes máme v oblasti fyzikálnej analýzy dát s mnohými pracoviskami v USA a v západnej Európe, sa snažíme rozvíjať aj v oblasti spoločného experimentovania na družiciach. K tomu ale nevedie jednoduchá cesta. Je potrebné sa minimálne oboznámiť s inými štandardmi platnými v západných kozmických agentúrach a zdokonaľiť technologickú úroveň

vývoja aparatúr. Prvé kroky v tomto smere sa začínajú vďaka jestvujúcim dobrým medzinárodným kontaktom robiť. Avšak domáca primeraná podpora takýchto aktivít je tiež nevyhnutná. S ohľadom na finančné možnosti predpokladáme jedno z ďalších smerovaní v zmysle monitoringu korpuskulárnej radiácie stredných energií na viacerých orbitách vrátane nízkych a experimentovanie dlhodobé (napr. v súvislosti s kozmickým počasím [3]), a to simultánne s pozemnými meraniami kozmického žiarenia na Lomnickom štíte.

Podakovanie. Článok je napísaný veľmi stručne a nie sú v ňom uvedené mená kolegov, bez ktorých by asi kozmofyzikálny smer v Košiciach nemohol vzniknúť. Autor chce všetkým, ktorí sa o rozvoj kozmickej fyziky v Košiciach pričínili, týmto úprimne poďakovať.

LITERATÚRA:

[1] Rojko, J., Slovenská elektronika pre kozmofyzikálny výskum, Preprint ÚEF SAV, 03-97, str. 22, August 1997

[2] Interball in the ISTP Program, Studies of the Solar Wind – Magnetosphere - Ionosphere Interaction, Editors *D.G. Sibeck and K. Kudela*, NATO Science Series, C, Mathematical and Physical Sciences, vol. 537, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London, pp. 294, 1999

[3] Kudela, K., M. Storini, M. Hofer, A. Belov: Cosmic Rays and its Relations to Space Weather, *Space Science Reviews*, accepted, pp.21, 2000

ADRESA AUTORA.

Karel Kudela, doc, ing, DrSc, Ústav experimentálnej fyziky SAV, Watsonova 47, 043 53 Košice, kkudela@kosice.upjs.sk