

Sto rokov od objavu kozmického žiarenia.

Niekoľko poznámok k meraniam vo Vysokých Tatrách.

K. Kudela, Ústav experimentálnej fyziky SAV Košice, kkudela@kosice.upjs.sk

Abstrakt.

Kozmické žiarenie (KŽ) bolo objavené pred 100 rokmi. V prvej časti sú uvedené niektoré historické fakty dôležité pre rozvoj poznatkov o KŽ. Druhá časť pojednáva stručne o základných charakteristikách KŽ. Začiatok kozmickej éry priniesol poznatky o kozmických časticách nižších energií. To je obsahom tretej časti. Vo štvrtjej časti sú uvedené vybrané výsledky získané z meraní na Lomnickom štíte.

1. OBJAV KOZMICKÉHO ŽIARENIA. Z HISTÓRIE. NIEKTORÉ DÔLEŽITÉ ETAPY.

Dávno pred objavom KŽ jestvovali poznatky o tom, že zemské okolie nad atmosférou nie je iba pokojným vákuom. Už na prelome 16. a 17. storočia Hilbert vyslovil predpoklad o Zemi ako o veľkom magnetu. V polovici 18. storočia Celsius hovorí o súvislostiach medzi výskytom polárnych žiarí a variácií zemského magnetického poľa. Na začiatku 19. storočia bol von Humboldtom zavedený pojem magnetická búrka, a v polovici 19. storočia Carrington poukázal na spojitosť medzi slnečnou erupciou a geomagnetickou búrkou. Fyzikálne procesy prebiehajúce na Slnku ovplyvňujú blízke okolie Zeme. Viacej o faktoch dôležitých pre slnečnú fyziku možno napr. nájsť v knihách (Lang, 2006, Rušin 2006).

V roku 1785 Coulomb poukázal na stálu výchylku elektroskopu, a to aj pri jeho izolácii. Tento poznatok potvrdil v r. 1835 Faraday s použitím lepšej izolačnej technológie. Crookes v r. 1879 pozoroval zmeny výchylky elektroskopu pri zmenách tlaku. Na konci 19. storočia bol urobený záver o tom, že vo vzduchu je prítomný elektrický náboj a jeho existencia bola spojená s ionizáciou. Konec 19. storočia je tiež poznamenaný objavom spontánnej rádioaktivity (1896 Becquerel), objavmi Ra a Po, rádioaktívneho rozpadu (1898 Marie & Pierre Curie). Aj pri tom poslužil elektroskop na určenie úrovne radiácie.

Otázkou zostávalo odkiaľ prirodzená rádioaktivita pochádza. Na prelome 19. a 20. storočia možno charakterizovať odpovedi na túto otázku takto: určite časť zo zemského povrchu a z pôdy, časť asi z atmosféry. Je to ale všetko? R. 1900 Wilson, Elster a Geitel zlepšili techniku elektroskopu (vyššia citlivosť, lepšie tienenie). V r. 1901 Wilson meral ionizáciu v tuneloch s pevnými horninami nad miestom merania a zistil, že ionizácia sa neznižuje. V období 1903 – 1906 Rutherford, Cooke, McLennan a Burton spozorovali, že ionizácia sa iba marginálne znižuje pri tienení kovom. Nasledovali pokusy Elstera a Geitela v r. 1908, ktorí zistili 28% redukciu pri zostupe na dno soľnej bane, tj. aj toto bolo konzistentné s predpokladom, že zem (pôda) sú zdrojom radiácie. V rokoch 1908-1909 Wulff použil k meraniam zlepšený elektroskop (uvedené napr. v práci

Carlson, 2012), vystúpil s ním na Eiffelovu vežu a zistil exponenciálny pokles ionizácie s výškou, tj. hypotéza o zemskom povrchu ako o zdroji ionizácie bola znova potvrdená.

Prišli ale aj nové poznatky, ktoré hypotézu o zemi (pôde) ako jedinom zdroji stálej ionizácie poopravili. V rokoch 1907 – 1911 Pacini meral ionizáciu na horách, na rôznych výškach, nad jazerom, nad morom (De Angelis, 2010). V júni 1911 Pacini ponoril elektroskop 3 m do mora (Livorno) a zistil 20% (3.4σ) redukciu rádioaktivity. To viedlo k hypotéze, že pôda nie je jediným zdrojom ionizácie, ak má vysvetliť všetky merania (Pacini, 1909).

Nie jednoznačné výsledky meraní ionizácie viedli k novým otázkam. Jednou z nich bola „aká je ionizácia vyššie v atmosfére?“. Začali sa balónové experimenty. Prvé balónové lety študujúce prenikavú radiáciu podnikli v r. 1909 Bergwitz v Nemecku a Gockel vo Švajčiarsku. S výstupom do 4 km Gockel nezistil jasné zníženie ionizácie s výškou čo by sa očakávalo v prípade jediného zdroja od zeme. Prelomovými boli experimenty Viktora Hessa z Univerzity vo Viedni: podnikol balónové lety do väčšej výšky. Dôležitým bol hlavne siedmy let, 7. augusta 1912. Balón vypustený v Ústí n. Labem (nemecky Aussig) dosiahol výšku 5300 m a pristál asi 50 km od Berlína. Zhruba od výšky 3.5 km dva Wulffove elektrometre ukázali vzrast ionizácie s výškou a jej následný pokles pri zostupe balónu z maximálnej výšky (Hess, 1912). Objavil tak dôkaz o veľmi prenikavej radiácii, ktoré prichádza z vonkajšieho priestoru za našou atmosférou, objavil kozmické žiarenie (KŽ).

Výsledok Hessa bol potvrdený Kolhörsterom, ktorý pozoroval na 9.5 km 10 x vyššiu ionizáciu oproti povrchu Zeme (1913). Koeficient absorpcie radiácie bol 8 x nižší než pre vtedy známe γ žiarenie, ale tento výsledok nebol vtedy diskutovaný. Výskumy prerušila prvá svetová vojna. Po nej sa ich ťažisko presunulo do USA. Vývoj nebol jednoduchý, bol poznamenaný aj protichodnými názormi na povahu a zdroj radiácie. Podrobnejšie o histórii okolo a po objave Hessa pojednávajú napr. (Hillas 1972, Dorman 1974, Erlykin and Wolfendale 2012, Carlson 2012, De Angelis 2010). Až v roku 1936 bola V.F. Hessovi udelená Nobelova cena za objav kozmického žiarenia.

V svojej Nobelovskej prednáške naznačil úlohy pre výskum fyziky kozmického žiarenia.

Vynorili sa otázky, ako „aká je povaha kozmického žiarenia? Sú to neutrálne častice (fotóny vysokých energií ?) alebo majú tieto častice elektrický náboj?“. Prenikavosť nabitých častíc nebola známa. V tejto súvislosti boli najvýznamnejšie pokusy Claya, ktorý v rokoch 1928 - 1932 meral žiarenie na lodi z Janova (Genova) na Jávu (Bandoeng). Zmena ionizácie jasne súvisela s geomagnetickou šírkou – blízko rovníka bola minimálna – záver bol, že ide o elektricky nabité častice (Clay, 1927). Nasledujúcou bola otázka znamienka elektrického náboja. Pre kladne nabité častice podľa prác Vallartu, Størmera a Claya v dipólovom magnetickom poli štruktúra uhlového rozdelenia predpokladá vyšší počet častíc prichádzajúcich od západu než od východu pri rovnakom zenitovom uhle. Dve skupiny, a to Johnson (1933) a Alvarez a Compton (1933) zhodne ohlásili v apríli 1933 že pozorujú nadbytok častíc od západu oproti toku z východu (oproti zenitu). Rossi v Eritrei zistil ešte vyššiu asymetriu. Z toho vyplynul záver: častice primárneho KŽ majú kladný elektrický náboj a ich energie dosahujú aspoň $3 \cdot 10^9 - 2 \cdot 10^{10}$ eV.

Častice boli pozorované v atmosfére. Boli vyvíjané nové metodiky ich registrácie. To založilo rozvoj detekčnej techniky používanej neskôr pre jadrovú a subjadrovú fyziku. Anderson (1932) vo Wilsonovej komore v magnetickom poli pozoroval niektoré „zvláštne“ dráhy kladne nabitých častíc. Vtedy boli známe iba 3 druhy elementárnych častíc – p, e, n. Ak by to bol protón, zakrivenie by odpovedalo 300 keV, ale p tejto energie má podstatne kratší dobeh vo vzduchu než bola pozorovaná dráha, tj hmotnosť tejto častice je oveľa menšia. Toto bol objav pozitronu. Dôležité boli tiež pozorovania sekundárneho KŽ Skobeltsynom v hmlovej komore umiestnenej v magnetickom poli. V r. 1937 boli objavené mióny. Pozorovania sekundárnych častíc viacerými vedcami zaoberajúcimi sa KŽ viedlo k vzniku novej vednej disciplíny – fyziky elementárnych častíc. Mnohé z nich boli objavené práve v KŽ. V prehľade v knihe Hillas (1972) sú uvedené častice, roky ich objavu a metodika. Štúdium KŽ viedlo k objavom piónov, kaónov a ďalších častíc. Od polovice minulého storočia sú objavy elementárnych častíc viacej spájané s urýchľovacou technikou, ale extrémne vysoké energie zostávajú naďalej doménou fyziky KŽ.

V r. 1938 P. Auger zistil, že dva detektory na veľkej výške (umiestnené v Alpách), ktoré sú od seba vzdialené niekoľko desiatok metrov, zaznamenávajú signály od prichádzajúcich častíc presne v tom istom čase. Objavil tzv. rozsiahle atmosférické spfšky (EAS = extensive air showers), tj. sekundárne subatomové častice kreované pri zrážkach primárnych vysokoenergetických častíc KŽ s atómami resp. molekulami vo vzduchu. Na základe tohto merania prišiel k záveru, že EAS sú iniciované primárnymi časticami s energiou až 10^{15} eV – desať miliónov krát vyššou, než mali častice dovtedy pozorované. Tiež Rossi ohlásil pozorovania EAS.

Aké sú mechanizmy urýchľovania častíc do takýchto extrémnych energií a kde takéto procesy prebiehajú? Úplná odpoveď na tieto otázky zatiaľ chýba a štúdium v týchto smeroch, tak experimentálne ako aj teoretické, je vo fyzike KŽ stále v popredí záujmu. V polovici minulého storočia E. Fermi položil základy k objasneniu urýchľovania KŽ do extrémnych energií. Jednou z jeho teórií je teória urýchľovania rázovou vlnou, resp. urýchľovania medzi magnetickými oblakmi (nehomogenitami), ktoré sa navzájom približujú a nabité častice pri mnohonásobnom odraze od nich získavajú postupne energiu. Explodujúce hviezdy (supernovy) pôsobia ako takéto kozmické urýchľovače, ale samy nemôžu objasniť množstvo a energiu častíc KŽ.

2. ZÁKLADNÉ CHARAKTERISTIKY PRIMÁRNEHO KOZMICKÉHO ŽIARENIA.

Primárne KŽ tvoria hlavne protóny. Jednou zo základných charakteristík je energetické spektrum – závislosť ich toku (počet častíc dopadajúcich v jednotkovom intervale energie na jednotku plochy z jednotkového priestorového uhla za jednotku času) od energie. Spektrum KŽ zaberá ohromný interval energií od $\sim 10^8$ do $\sim 10^{20}$ eV a tok častíc s rastúcou energiou rapídne klesá (všesmerový integrálny tok zodpovedá 1 častici dopadajúcej za 1 sek na plochu 1 m^2 pri energii 10^{11} eV; pri energii 10^{16} eV dopadá 1 častica na m^2 za rok a pri 10^{19} eV je to rádovo 1 častica na km^2 za rok). Spektrum aj iné základné charakteristiky možno aj s referenciami na pôvodné práce nájsť napr. v (Dubinský a Kudela, 1984, Kudela, 2009). KŽ vysokých energií možno detekovať prakticky iba prostredníctvom sekundárnych častíc v atmosfére s využitím alebo detektorov rozmiestnených na veľkej ploche (napr. projekty Auger, HiRes, Agasa, Kaskade a i.) alebo sledovaním EAS z družice (napr. Pripravovaný projekt JEM-EUSO). V oblasti nízkych energií (pod $\sim 10^{11}$ eV) je tok KŽ ovplyvňovaný magnetickým poľom v heliosfére a v blízkosti Zeme aj geomagnetickým poľom. KŽ presahuje energiami o niekoľko rádov možnosti pozemných urýchľovačov. Treba ale dodať že pri extrémnych energiách je častíc veľmi málo a ich tok nemožno riadiť ako je tomu v urýchľovacej technike. Jedným z prioritných smerov vo fyzike KŽ je detekcia častíc extrémnych energií. Pozadové mikrovlnové žiarenie objavené v 60-tych rokoch minulého storočia dáva obmedzenie na vzdialenosti, na ktorých sa môže KŽ detekované blízko Zeme urýchľovať. V dôsledku interakcie protónov vysokých energií s fotónmi mikrovlnového žiarenia sa musí redukovať energia častíc KŽ tak, že ak častice prekonajú medzigalaktické vzdialenosti, ich energia nemôže presiahnuť $5 \cdot 10^{19}$ eV (efekt Greisena – Kuzmina - Zatsepina).

Iba niekoľko percent v primárnom KŽ pripadá na jadrá (resp. ióny) ťažšie ako protóny, hlavne jadrá He.

Porovnanie relatívneho zastúpenia prvkov v galaktickom KŽ so zastúpením v látke slnečného systému, normované napr. ku C ukazuje na 2 anomálie, „nadbytok KŽ“ (a) jadier Li, Be, B, ktoré sú fragmentami ťažších jadier (C,N,O) pri ich interakciách od zdroja a (b) jadier Sc, V, Mn (fragmenty Fe). Nejasné zostáva to aké je zloženie primárnych častíc KŽ pri extrémnych energiách (či p sú dominantné ako pri energiách nižších, alebo sa zvyšuje relatívne zastúpenie Fe). To je dôležité hlavne v otázkach spojených s pôvodom a urýchľovacími mechanizmami KŽ. Z chemického a izotopového zloženia možno usudzovať na celkovú dĺžku dráhy (hrúbku materiálu v g/cm^2) častíc od zdroja po miesto merania, vychádzajúc zo znalosti fragmentačných účinných prierezov.

V primárnom KŽ sú prítomné aj elektróny, resp. elektrón-pozitronová zložka. Ich tok je podstatne menší než tok jadier pri rovnakej energii. V poslednom období, hlavne v súvislosti so skúmaním temnej hmoty, je zaujímavým novým poznatkom o tom, že s energiou rastie relatívny podiel pozitronov v tejto komponente. To ukázali merania v družicovom experimente PAMELA (Adriani et al., 2009) a nedávno to bolo potvrdené v experimentoch FERMI a HESS.

Aj keď častíc KŽ je málo, hustota ich energie je v našej Galaxii (1 eV/cm^3) porovnateľná s hustotou energie svetla hviezd, medzihviezdnych magnetických polí ako aj medzihviezdneho plynu (turbulencie). Vzájomné pôsobenie KŽ a magnetických polí ovplyvňuje evolúciu galaxií. KŽ tvorí „druhý kanál informácie“ o kozmofyzikálnych procesoch ku astronomickým/astrofyzikálnym pozorovaniam fotónov, pretože KŽ „pociťuje“ zmeny pri prechode prostredím od zdroja až po detektor.

V blízkosti Zeme detekované KŽ, hlavne v oblasti nižších energií pri ktorých sú pozorované časové variácie jeho toku, je tvorené tromi zložkami : (a) galaktickým kozmickým žiarením (GKŽ) modulovaným v heliosfére, (b) príspevkami od slnečných erupcií (napr. Miroshnichenko, 2001) ako aj častíc urýchľovaných na medziplanetárnych rázových vlnách v prostredí plazmy slnečného vetra, resp. na rázových vlnách v okolí planetárnych magnetosfér, (c) tzv. anomálnou zložkou KŽ (napr. Klecker, 1995). O variabilite intenzity KŽ v blízkosti Zeme pojednáva napr. práca (Kudela, 2012).

Tok častíc GKŽ je v heliosfére ovplyvňovaný medziplanetárnym magnetickým poľom (IMF), ktorého siločiar sú vmrazené do vysoko vodivej plazmy slnečného vetra. Transport častíc opísaný dávnejšie Parkerom a Krymským v 60. rokoch minulého storočia, resp. slnečná modulácia GKŽ je tvorená 4 procesmi: (a) tok KŽ je odozvou na výtok slnečného vetra s vmazeným IMF – *konvekcia*, (b) častice KŽ rotujú okolo špirálových siločiar a pohybujú sa tiež pozdĺž nich, nehomogenity IMF ich rýchlo rozptyľujú – dochádza k *difúzii* v priestore nábehových uhlov, (c) plazma slnečného vetra alebo expanduje (výtok z povrchu Slnka) alebo sa stláča (rázové vlny) – v dôsledku čoho sa KŽ *adiabaticky* ochladzuje alebo

zohrieva – *adiabatický ohrev*, (d) pretože gyračný pohyb okolo siločiar IMF je rýchlejší než rozptyl, KŽ je podrobené *driftu* spôsobenému veľkorozmerovými priestorovými variáciami približne špirálovitého IMF (podrobnejšie napr. v práci Jokipii, 1971). Zatiaľčo vo vnútornej heliosfére je hustota energie KŽ podstatne nižšia ako hustota energie magnetického poľa (a tá je nižšia než hustota energie slnečného vetra), a vtedy možno KŽ považovať za „autonómnu populáciu častíc riadenú IMF“, vo vonkajšej heliosfére je hustota energie KŽ už porovnateľná s IMF a treba brať do úvahy ich vzájomné pôsobenie. O situácii v blízkosti hraničných oblastí heliosféry podávajú unikátne informácie merania na sondách Voyager-1 a Voyager-2. Merania na Voy-1 (v súčasnosti na $\sim 125 \text{ AU}$) posledných niekoľko mesiacov ukazujú na opakované poklesy toku iónov nízkych energií (nad 500 keV) sprevádzané súčasným nárastom toku KŽ s energiou nad 70 MeV (čo poukazuje na možné prechody do medzihviezdneho priestoru). Štruktúra je ale zložitejšia: sú pozorované aj návraty k pôvodnej úrovni toku častíc nižších energií. Poznamenajme, že rozmery heliosféry boli odhadované v minulosti rôznymi spôsobmi. Jeden z nich je uvedený v práci (Kudela et al., 1991), kde bol interpretovaný zlom vo výkonovom spektre časových radov intenzity KŽ okolo 20 mesiacov ako príznak zmeny modulácie čo dávalo odhad 120 – 130 AU. Zložitosť štruktúry IMF a vzťahov medzi IMF a KŽ vo vonkajšej heliosfére ukazuje napr. nová práca (Burlaga a Ness, 2012).

3. KOZMICKÁ ÉRA – ČASTICE NIŽŠÍCH ENERGIÍ, MAGNETOSFÉRA ZEME.

Na začiatku druhej polovice minulého storočia k rozšíreniu poznatkov o kozmickom žiarení prispeli výrazne dva impulzy. Prvým bol začiatok kozmickej éry – vypustenie prvých umelých družíc Zeme. Druhým bol Medzinárodný Geofyzikálny Rok 1957-1958 (IGY).

V roku 1958 boli objavené radiačné pásy Zeme nezávisle na sebe dvoma skupinami (Van Allen v USA a S.N. Vernov vo vtedajšom ZSSR). Experimenty potvrdili existenciu slnečného vetra, ktorý bol predtým teoreticky predpovedaný (Gringauz 1958). Ukázalo sa, že okolie Zeme je podstatne bohatšie na populácie energetických kozmických častíc než bolo známe z predošlých pozemných meraní. Na družiciach bolo možné merať toky častíc pod atmosferickým prahom (cca 400 MeV). Začali sa opisovať plazmové útvary ionosféry a magnetosféry Zeme. Okrem chladnej plazmy sa stali predmetom záujmu napr. prstencový prúd dôležitý pri rozvoji geomagnetických búrok. K opisu trajektórií suprathermálnych častíc a častíc plazmových útvarov boli rozpracované teoretické prístupy známe z fyziky laboratórnej plazmy. Fyzika energetických kozmických častíc v kozmických plazmových útvaroch obohatila fyziku plazmy hlavne v tom, že

podmienky kozmickej plazmy nie sú v laboratóriu napodobiteľné (rozsah teplôt, koncentrácií, rozmery systémov, bezzrážkové rázové vlny ap.). Bolo možné robiť experimentálne merania in situ, tj. plazmové útvary v okolí Zeme a neskôr aj v medziplanetárnom prostredí sa stali vlastne veľkými kozmickými laboratóriami. K tomu pristupovali neskôr aj aktívne experimenty. Pre opis častíc nižších energií než KŽ sa začalo používať priblíženie vodiaceho streda. Pohyb častíc v tomto priblížení možno opísať superpozíciou pohybu (driftu) vodiaceho streda a rotácie okolo siločiar magnetického poľa ktorá vodiacim stredom prechádza. Pre opis častíc zachytených v pasciach geomagnetického poľa zaviedol McIlwain v r. 1966 zjednodušenie – zníženie rozmernosti úlohy z 3D na 2D (parameter L a magnetická indukcia B). Pre častice nižších energií možno pohyb rozložiť na 3 cyklické pohyby pričom každý z nich je spojený s príslušným adiabatickým invariantom (gyrácia okolo siločiar, kmitavý pohyb vodiaceho streda medzi zrkadlovými bodmi na severe a na juhu, azimutálny drift okolo Zeme). Ak tri periodicity týchto pohybov sú od seba veľmi odlišné, možno celý pohyb uvažovať ako superpozíciu príslušných cyklických pohybov a narušenie invariantov (napr. pri rezonančných interakciách s vlnami) posudzovať oddelene. To sa využívalo a doposiaľ využíva na upresnenie mechanizmov strát častíc z oblastí záchytu a urýchľovania v magnetosfére v podmienkach premenného geomagnetického poľa.

Ak sú periodicity uvedených troch cyklických pohybov porovnateľné, nemožno opis s pomocou 3 invariantov použiť. Tak je tomu pre častice KŽ, ktoré z hľadiska magnetosféry sú práve takto vymedzené. V takom prípade treba použiť numerickú integráciu pohybových rovníc v modelovom geomagnetickom poli (prehľad napr. Smart a Shea, 2009) a určovať asymptotické smery príjmu. Charakteristiky transmisie častíc KŽ v magnetosfére sú závislé od použitého modelu pričom rôzne modely dávajú niektoré odlišné výsledky pre geomagneticky porušené obdobia (Kudela et al, 2008).

IGY priniesol vo viacerých krajinách pokrok v pozorovaní KŽ na zemskom povrchu. Začali sa merania aj vo Vysokých Tatrách, rozvinula sa medzinárodná spolupráca. Bola vytvorená sieť neutronových monitorov podľa návrhu J. Simpsona.

4. MERANIA VO VYSOKÝCH TATRÁCH. VÝSKUM KŽ V KOŠICIACH.

V polovici minulého storočia pre československých fyzikov zaoberajúcich sa KŽ boli Vysoké Tatry prirodzeným prostredím pre výskum. Po začiatkoch meraní v Prahe sa takéto experimentálne práce rozvinuli tu. Už prvé práce priniesli dôležité poznatky. V emulzných experimentoch na Lomnickom štíte a na Skalnatom plese bola určená doba života miónov (Pernegr, 1951) a bol napr. opísaný aj tzv. prechodový

efekt pri interakciách v jadrových emulziách (Tomášková, 1951). Bola študovaná východo-západná asymetria toku sekundárnych častíc potvrdzujúca skôr zistené charakteristiky primárneho KŽ a rozširujúca ich platnosť v podmienkach našej geomagnetickej polohy. Vplyv magnetického poľa Zeme na EAS študoval Chaloupka (1954). Niektoré typy variácií KŽ boli opísané v práci (Hladký et al., 1959). Podrobne boli študované časové variácie KŽ pozorované v období rokov 1958-1959 (Dubinský et al., 1960). Využívali sa k tomu merania tak nukleónovej zložky ako aj dáta mezónového teleskopu.

Príspevkom československých fyzikov k IGY bol neutronový monitor (NM) vybudovaný na Lomnickom štíte (LŠ) v r. 1957. V 60. a 70. rokoch minulého storočia sa aj s využitím meraní NM na LŠ určovali charakteristiky častíc urýchlených na Slnku počas slnečných erupcií (napr. Chaloupka a Ilenčík, 1969, Ilenčík a Dubinský, 1979). V priebehu rokov sa NM na LŠ postupne zdokonaľoval, zvyšovala sa štatistická presnosť jeho meraní. V r. 1981 – 1982 bol skonštruovaný nový merací domček na streche hlavnej budovy na Lomnickom štíte, ktorý tam odvtedy pracuje v spojitom režime. Jeho zabezpečenie v extrémnych podmienkach vyžaduje prítomnosť technikov a množstvo dát ich stálu kontrolu. Od r. 1982 pracuje na LŠ NM merajúci kontinuálne KŽ s vysokou štatistikou ($1.6 \cdot 10^6$ /hod), čo umožnilo študovať aj krátkodobé variácie s malou amplitúdou. Z erupcie 3.6.1982 bol napr. pozorovaný prvý prípad registrácie slnečných neutrónov na zemskom povrchu (Efimov et al, 1983). Slnečné neutróny sú produkované jadrovými reakciami urýchlených prôtónov s jadrami atómov na slnečnom povrchu, pričom časť z nich (vysokoenergetická) môže dosiahnuť aj orbity Zeme. Možnosť pozorovania slnečných neutrónov od erupcií na Zemi bola predpovedaná už v r. 1951, ale až po 3 desaťročiach bola experimentálne potvrdená meraniami na Jungfraujoch a na LŠ. Merania NM LŠ v reálnom čase sú dostupné na <http://neutronmonitor.ta3.sk>.

KŽ má svoje špecifické miesto pri výskume efektov kozmického počasia (napr. Kudela et al, 2000, 2009, Dorotovič, 2010). Merania NM na LŠ slúžia k monitorovaniu kozmického počasia (napr. na http://www.spacewx.com/Space_Weather_Now.html pre účely normovania toku KŽ v modeloch s výstupom dávky ožiarovania na lietadlách). Príklad využitia meraní počas silných slnečných erupcií koncom októbra 2003 je možné nájsť na http://sol.spaceenvironment.net/~nairas/movies/Movie_dial.nopause.wmv. Prehľad pozemných zvýšení toku KŽ od slnečných erupcií zaznamenaných na NM LŠ a prehľad niektorých výsledkov s využitím týchto meraní je v prácach (Kudela et al., 1993; Kudela a Langer, 2008, 2009, Firoz et al, 2011).

V Košiciach v oddelení kozmickej fyziky (OKF) ÚEF SAV, sa dlhodobo študujú kozmické energetické častice včítane KŽ. Prehľad družicových

experimentov možno nájsť napr. v práci (Kudela, 2008), resp. aktualizovaný je na stránke space.saske.sk. Je tu aj dlhodobá tradícia v medzinárodnej spolupráci, ktorá bola podstatne rozšírená po roku 1990 (ilustruje to napr. kniha Sibeck, Kudela, 1999). Od roku 1969 sú v 2-ročných intervaloch organizované ECRS (European Cosmic Ray Symposia). Prehľad sympózií je možné nájsť na <http://ecrs2012.sinp.msu.ru/symposium/about-ecrs/>. Dve z nich, a to 9. v r. 1984 a 21. v roku 2008 boli organizované v Košiciach.

Podakovanie. Táto publikácia bola vytvorená realizáciou projektu ITMS číslo 26220120029, na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra.

- Adriani, O. et al.: 2009, An anomalous positron abundance in cosmic rays with energies 1.5-100 GeV, *Nature* 458, 7238, 607-609.
- Anderson, C.D.: 1933, *Phys. Rev.* 43, 491.
- Burlaga, L.F. a Ness, N.F.: 2012, Magnetic field fluctuations observed in the heliosheath by Voyager 1 at 114 ± 2 AU during 2010, *J. Geophys. Res.*, VOL. 117, A10107, 7 PP
- Carlson, P.: 2012, A Century of Cosmic Rays, *Phys. Today*, 65, 2, Febr. 2012
- Clay, J.: 1927, *Proc. Nederlandsche Akad. van Wet.* 30, 1115
- De Angelis, A.: 2010, Domenico Pacini, uncredited pioneer of the discovery of cosmic rays, *Rivista del Nuovo Cimento*, Vol. 33, No 12, 713-756.
- Dorman, L.I.: 1974, Cosmic rays: variations and space explorations, North Holland, pp. 675
- Dorotovič, I.: 2010, Kozmické počasie: slnečný vietor a magnetosféra Zeme, zb. 19. slnečného slnečného seminára, <http://stara.suh.sk/obs/slnsem/19css/dorotovic3.pdf>.
- Dubinský, J. P. Chaloupka a T. Kowalski: 1960, Priebeh intenzity kozmického žiarenia v rokoch 1958-1959, *Matematicko-fyzikálny časopis SAV*, X, 4.
- Dubinský, J. a K. Kudela: 1984, Kozmické žiarenie, VEDA, Bratislava, pp. 184.
- Efimov, Y.E., G.E. Kocharov a K. Kudela: 1983, On the solar neutrons observation on high mountain neutron monitor, *Proc. 18th International Cosmic Ray Conference*, 10, 276-278.
- Erlykin, A.D. and A.W. Wolfendale: 2012, Cosmic rays: the centenary of their discovery, *Europhysics News*, 43, 2, March-April 2012, 26-28.
- Firoz, K. A., Hwang, J., Dorotovič, I., Pintér, T., Kaushik, Subbash, C.: 2011, Relationship of ground level enhancements with solar, interplanetary and geophysical parameters, *Astrophysics and Space Science*, 331, 2, 469-484.
- Hess, V.F.: 1912, Observation of penetrating radiation on seven balloon flights (preklad z nemčiny v knihe Hillas, A.M. 1972, *Cosmic Rays*, Pergamon Press, pp. 297), *Phys. Zeitschrift*, 13, 1084.
- Hillas, A.M. 1972, *Cosmic Rays*, Pergamon Press, pp. 297
- Hladký, J., P. Chaloupka, V. Kadečka, T. Kowalski and P. Mokry: 1959, Three variations in the intensity of cosmic radiation in the first half of 1958, *Czechoslovak J. Phys.*, 9, 4, 432-438.
- Chaloupka, P.: 1954, Influence of the geomagnetic field on extensive air showers, *Czechoslovak J. Phys.*, 4, 3, 508.
- Chaloupka, P. a J. Ilenčík: 1969, The energy spectrum of the cosmic ray emission on 28 January 1967, *Fyzikálny časopis*, 19, 4, 236.
- Ilenčík, J. a J. Dubinský: 1979, Solar proton event of May 7, 1978, recorded at Lomnický štít, *Bull. Astron. Inst. Czechosl.*, 30, 6, 339-340.
- Jokipii, J.R.: 1971, Propagation of cosmic rays in the solar wind, *Rev. Geophys. And Space Phys.*, 9,1, 28-85.
- Klecker, B.: 1995, The anomalous component of cosmic rays: Review and new results from SAMPEX, *Nucl. Physics B., Proc. Suppl.* 39, 1, 94-102
- Kolhörster, W.: 1913, *Phys. Zeitschrift*, 14, 1153.
- Kudela, K.: 2009, On energetic particles in space, *Acta Physica Slovaca*, 59, 537-652.
- Kudela, K., A.G. Ananth a D. Venkatesan: 1991, The low-frequency spectral behavior of cosmic ray intensity, *J. Geophys. Res.* 96, A9, 15,871.
- Kudela K., Bučík R. a Bobik P.: 2008, On transmissivity of low energy cosmic rays in disturbed magnetosphere, *Adv. Space Res.*, 42, 7, 1300-1306.
- Kudela, K., M. Storini, M. Hofer a A. Belov: 2000, Cosmic Rays in Relation to Space Weather, *Space Science Reviews*, 93, 1/2, 153-174.
- Kudela, K., Shea, M. A., Smart, D. F., Gentile, L.: 1993, Relativistic Solar Particle Events Recorded by the Lomnický Stit Neutron Monitor, 23rd International Cosmic Ray Conference, Vol. 3, held 19-30 July, 1993 at University of Calgary, Alberta, Canada. Edited by D.A. Leahy, R.B. Hickws, and D. Venkatesan. Invited, Rapporteur, and Highlight Papers. Singapore: World Scientific, 71-74.
- Kudela, K. a R. Langer, 2009, Cosmic ray measurements in High Tatra Mountains: 1957-2007, *Adv. Space Res.* 44, 10, 1166-1172.
- Kudela, K. a R. Langer: 2008, Ground Level Events Recorded at Lomnický Stit Neutron Monitor, *Proceedings of the 30th International Cosmic Ray Conference Rogelio Caballero, Juan Carlos D'Olivo, Gustavo Medina-Tanco, Lukas Nellen, Federico A. Sánchez, José F. Valdés-Galicia (eds.) Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico City, Mexico, 2008 Vol. 1 (SH), 205-208.*
- Kudela, K. 2008: 30 let kosmofyzikálního výzkumu v Košicích, *Sborník Národního technického muzea v Praze*.
- Kudela, K., 2009: Cosmic rays and space weather: Direct and indirect relations, highlight talk ICRC Merida, Mexico, 2007, *Proceedings of the 30th Int. Cosmic Ray Conference*, edited by Rogelio Caballero, Juan Carlos D'Olivo, Gustavo Medina-Tanco, Jose F Valdes-Galicia (Universidad Nacional Autónoma de Mexico, Mexico City, Mexico) 6, 195-208.
- Kudela, K. 2012: Variability of Low Energy Cosmic Rays Near Earth, *Exploring the Solar Wind, Marian Lazar (Ed.)*, ISBN: 978-953-51-0339-4, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/exploring-the-solar-wind/variability-of-low-energy-cosmic-rays-near-earth>.
- Lang K.R.: 2006, *Sun, Earth and Sky*, Springer, 2nd Edition, pp.284.
- Miroshnichenko. L.I.: 2001, *Solar Cosmic Rays*, Kluwer, pp. 478
- Pacini D.: 1909, *Sulle radiazioni penetranti*, *Rend. Acc. Lincei*, 18, 123.
- Perngr, J.: 1951, Determination of the Mean Life-time of μ -Mesons, *Nature* 168, 1004 (08 December 1951)
- Rušín, V.: 2006, *Slnko – naša najbližšia hviezda*, VEDA, Bratislava, pp. 281.
- Sibeck, D.G. a K. Kudela, editors: 1999, *Interball in the ISTP Program: Studies of the solar wind-magnetosphere-Ionosphere interaction*, Kluwer, pp. 294.
- Smart, D.F. a M.A. Shea: 2009, Fifty years of progress in geomagnetic cutoff rigidity determinations, *Adv. Space Res.* 44, 10, 1107-1123.
- Tomášková, L. 1951, Transition Effect of the Star-producing Radiation, *Nature* 168, 1005 (08 December 1951)