

NEZNÁME KOZMICKÉ ŽIARENIE

Alexander Dirner^{1,2}, Marek Bombara¹

(1) Prírodovedecká fakulta, Univerzita Pavla Jozefa Šafárika, Košice

(2) Ústav experimentálnej fyziky, Slovenská akadémia vied, Košice

Júlia Hlaváčová

Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita, Košice

Ivan Kimák

Regionálne centrum mládeže, Košice

Karel Kudela

Ústav experimentálnej fyziky, Slovenská akadémia vied, Košice

Abstrakt: Kozmické žiarenie predstavuje prirodzený zdroj vysokoenergetických častíc, a viaže sa k žiareniu, ktorý má svoj pôvod v kozme. Zdrojom kozmického žiarenia je nielen Slnko, a hviezdy našej Galaxie. Vysokoenergetické častice sú pravdepodobne mimogalaktického pôvodu. Objav a počiatky výskumu spadajú do začiatku minulého storočia. Práve pred 100 rokmi uskutočnil fyzik rakúskeho pôvodu Viktor Franz Hess výstup balónom Böhmen, pri ktorom potvrdil že žiarenie je mimozemského pôvodu. Jeho objav mal podstatný význam pre ďalší rozvoj fyziky elementárnych častíc - výskum kozmického žiarenia priniesol so sebou objav nových častíc, ktoré sa v prírode vyskytujú ako zložky tohto žiarenia. Pôvod a šírenie vysokoenergetických častíc kozmického žiarenia patrí k fundamentálnym problémom súčasnej časticovej astrofyziky. Táto problematika svojou atraktivnosťou priťahuje záujem nielen fyzikov, ale aj širokej verejnosti, a má potenciál v oblasti popularizačnej a pedagogickej. Experiment SKALTA (SlovaKiAn Large-area Time-coincidence Array) je súčasťou medzinárodného projektu na detekciu vysokoenergetických častíc s energiou viac ako 10^{14} eV. Príspevok je venovaný nielen prehľadu základných charakteristík kozmického žiarenia, ale aj fyzikálnym, a najmä pedagogickým cieľom tohto experimentu, a to aj v súvislosti s oslavou 100. výročia objavenia kozmického žiarenia Viktorom F. Hessom. Pozornosť venujeme tiež prvým výsledkom stanice SKALTA metodicky spracovaných pre študentov stredných škôl a niektorým fyzikálnym problémom, ktoré študenti riešili.

Kľúčové slová: kozmické žiarenie, kozmické počasie, vplyvy kozmického žiarenia, popularizácia fyziky, detektor kozmického žiarenia SKALTA

Úvod

V roku 1912 Victor Hess z Univerzity vo Viedni s dvomi asistentmi pri lete balónom vo výške 5300 m objavil dôkaz o veľmi silnej radiácii, ktorá prichádza z vonkajšieho priestoru za našou atmosférou. Ukázal, že od výšky 2,5 km nad zemským povrchom ionizácia vzduchu s výškou narastá, teda zdroj ionizácie sa musí nachádzať v priestore nad zemskou atmosférou. Radiácia bola nazvaná kozmické žiarenie (KŽ) a V. Hess získal za tento objav Nobelovu cenu.

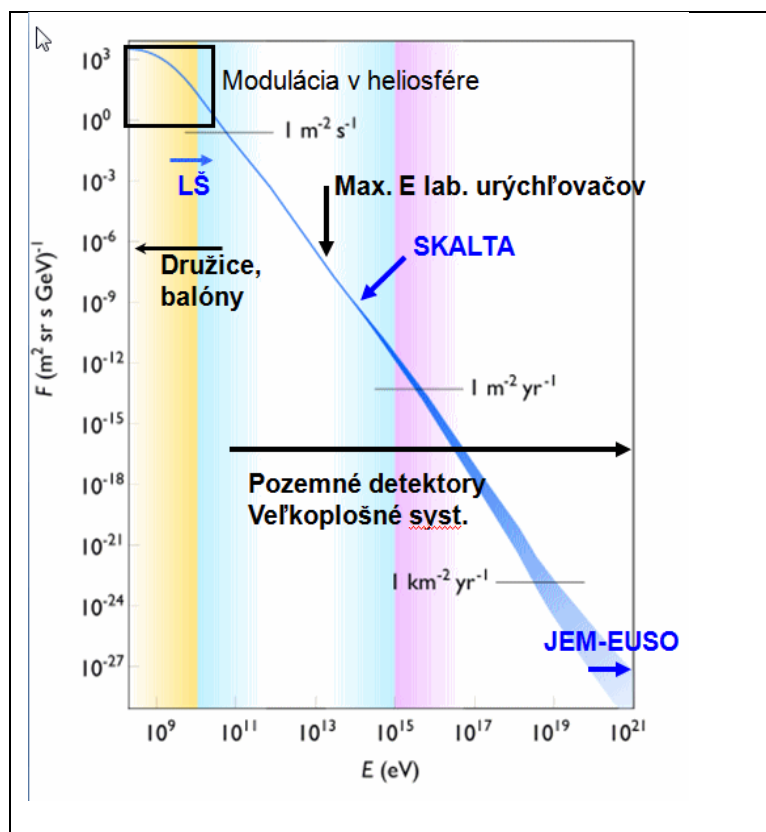
Trochu histórie

Dráhy častíc z kozmického priestoru boli prvýkrát pozorované pomocou hmlovej komory v roku 1929. Predpokladalo sa, že ide o vysokofrekvenčné gama žiarenie pochádzajúce z kozmického priestoru. Neskoršie pokusy ale ukázali, že ide najmä o kladne elektricky nabitú časticu s obrovskými energiami. Objavy pozitronu a miónu v kozmickom žiarení v tridsiatych rokoch minulého storočia viedli k vzniku novej fyzikálnej vednej disciplíny - fyziky elementárnych častíc. Až do roku 1950, kedy boli postavené prvé urýchľovače, časticoví fyzici študovali výlučne kozmické žiarenie. V oblasti extrémne vysokých energií, je tomu dodnes tak a kozmické žiarenie študujú aj

časticoví fyzici, aby našli odpovede na otázky o štruktúre hmoty vo vesmíre a o explozívnych vesmírnych procesoch.

Koncom tridsiatych rokov minulého storočia boli objavené rozsiahle atmosférické spršky, ktoré vznikajú pri zrážkach častíc kozmického žiarenia s atómami a molekulami atmosféry (vzduchu). Na základe meraní dvoch detektorov vzdialených od seba niekoľko desiatok metrov, ktoré zaznamenávali signály od prichádzajúcich častíc v tom istom čase, dospel P. Auger k záveru, že atmosférické spršky sú vyvolané primárnymi časticami s energiou až 10^{15} eV, teda až 10^7 -krát vyššou ako bolo dovtedy pozorované. Základy vysvetlenia urýchľovania kozmického žiarenia na extrémne vysoké energie položil E. Fermi v polovici minulého storočia. Môže ísť podľa neho o urýchľovanie rázovou vlnou, či magnetickými oblakmi, ktoré sa vzájomne približujú a častice pri mnohonásobných odrazoch od nich postupne získavajú energiu. Ako urýchľovače pôsobia aj explodujúce hviezdy (supernovy), ale na opis množstva a energie častíc kozmického žiarenia to nepostačuje.

V 90. rokoch minulého storočia boli pozorované ešte energetickejšie častice kozmického žiarenia – častice s energiami 10^{20} eV. Exaktné odpovede na otázky odkiaľ prichádzajú tieto častice a ako získajú takú vysokú energiu doteraz nepoznáme. Výskum kozmického žiarenia môže odpovedať aj na ďalšie otázky o vzniku a vývoji Vesmíru.



Obrázok 1.

Tok častíc kozmického žiarenia v závislosti od ich energie a možnosti jeho merania. Tok pri najnižších energiách (žltá oblasť) vytvára najmä slnečné kozmické žiarenie, pri stredných energiách (modrá) galaktické kozmické žiarenie a pri najvyšších energiách (fialová) mimogalaktické kozmické žiarenie. (Simpson 1997, upravené)

V súčasnosti teda vieme, že kozmické žiarenie sa skladá z primárneho žiarenia a spršky sekundárnych častíc. Primárne žiarenie tvoria vysoko energetické častice prilietavajúce na Zem z kozmického priestoru. Asi 86% primárnych častíc sú protóny, 11% alfa častice (jadrá hélia), 1% ťažšie častice a 2% elektróny [1], elektricky neutrálnu zložku primárneho kozmického žiarenia tvoria fotóny, neutrína a antineutrína. Spršky sekundárnych častíc vznikajú v zemskej atmosfére v dôsledku interakcie primárnych častíc s atmosférou. Zdrojmi kozmického žiarenia môže byť medzihviezdny ionizovaný plyn, supernovy, aktívne galaktické jadrá. Podrobnejší prehľad o energetických časticiach v kozme vrátane kozmického žiarenia získate v uvedenej publikácii [2,3].

Kozmické žiarenie a heliosféra

Plazma je najrozšírenejšou formou viditeľnej hmoty vo vesmíre, tvorí ju až 99 % pozorovanej hmoty vesmíru. Nielen Slnko a hviezdy, ale aj drvivá väčšina hmlovín v galaxiách je tvorená rozsiahlymi oblakmi plazmy. Teplota plazmy je od niekoľkých Kelvinov až po milióny Kelvinov.

Za plazmu sa považuje ionizovaný plyn zložený z iónov a elektrónov, ktorý vzniká odtrhnutím elektrónov z elektrónového obalu atómov plynu, či roztrhnutím molekúl (ionizácia). Za plazmu nepovažujeme akýkoľvek ionizovaný plyn, ale definujeme ju ako kvazineutrálny plyn nabitých a neutrálnych častíc, ktorý vykazuje kolektívne chovanie. Kvazineutralitou rozumieme to, že plazma sa javí byť makroskopicky neutrálnou, i keď obsahuje veľký počet nabitých častíc. Plazma je vodivá a silno reaguje na elektrické a magnetické pole. Najzaujímavejšou charakteristikou plazmy je, že sa v nej vyskytujú voľné elektróny, voľné nosiče nábojov a tým plazma môže reagovať na elektrické a magnetické polia. Plazma sa od ostatných skupenstiev výrazne odlišuje, čo sa prejavuje aj v jej vlastnostiach.

Jadro Slnka tvorí hustá plazma s teplotou takmer 15 miliónov Kelvinov. Jej vonkajšia atmosféra - koróna, je zriedená plazma s teplotou vyše 1 až 2 milióny Kelvinov. V medziplanetárnom priestore našej Slnčnej sústavy je všadeprítomná horúca plazma slnečného vetra. Slnečný vietor predstavuje prúdenie nabitých častíc (plazmy), ktoré sú emitované zo slnečnej atmosféry. Energia voľných iónov a elektrónov tisícnásobne prevyšuje energiu fotónov viditeľného svetla (> 1 keV), ktoré unikajú z gravitácie Slnka. Slnečný vietor vynáša slnečné magnetické pole cez heliosféru a vytvára medziplanetárne magnetické pole, pohybujúce sa rýchlosťou niekoľko sto km/s. Magnetické siločiar sú určované tokom slnečného vetra. Slnečný vietor nie je homogénny a mení sa aj v čase.

Intenzita kozmického žiarenia je ovplyvnená magnetickým poľom v heliosfére. Je maximálna v období minima slnečnej aktivity a minimálna v období slnečného maxima. Nízkoenergetická zložka kozmického žiarenia je ovplyvnená aj slnečnými erupciami a urýchlením v medziplanetárnom prostredí.

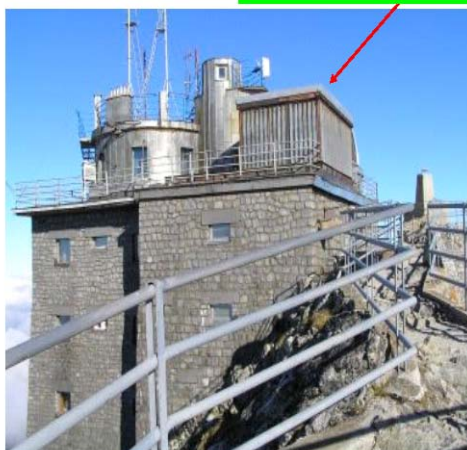
Meranie kozmického žiarenia na Lomnickom štíte

Kozmické žiarenie nedopadá priamo na Zem, ale zráža sa s atómami vrchnej vrstvy atmosféry. Tak sa vytvára veľa sekundárnych častíc ako protóny, neutróny, mióny, elektróny. Magnetické pole Zeme pôsobí ako filter, ktorý sa pri magnetických póloch Zeme neprejavuje, ale smerom k rovníku pôsobí čoraz silnejšie. Preto najvýznamnejšiu časť častíc kozmického žiarenia možno detekovať pozemnými detektormi častíc v blízkosti magnetických pólov Zeme. Čím bližšie k rovníku, tým väčšiu rýchlosť musí mať nabitá častica, aby prekonala magnetické pole a mohla byť pozemným detektorom detekovaná. Detektory častíc na rôznych miestach na Zemi teda merajú kozmické žiarenie s rôznou minimálnou rýchlosťou – odhaľujú tak energetické spektrum kozmického žiarenia. Zavedeným prístrojovým vybavením na meranie kozmického žiarenia zo Slnka a nízkoenergetickej zložky kozmického žiarenia z vesmíru sú neutrónové monitory. Používajú sa od roku 1950. Za účelom zvýšenia počtu častíc kozmického žiarenia, ktoré môžu byť detekované, sú detektory

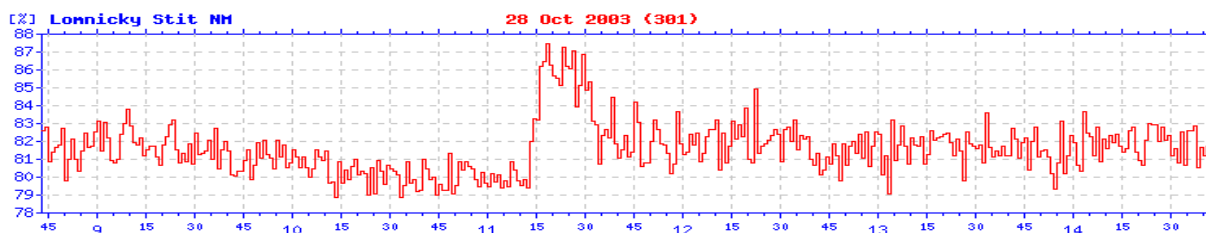
v neutrónových monitoroch obklopené olovom, kde častice z jeho atómov vyrážajú neutróny. Neutrónový monitor počíta tieto neutróny a keďže intenzita kozmického žiarenia je priamo úmerná tomuto počtu, opisuje tok kozmického žiarenia v hornej časti atmosféry.

Meranie intenzity kozmického žiarenia na Lomnickom štíte bolo spustené v januári 1958 v rámci Medzinárodného geofyzikálneho roka. Monitorovací systém bol niekoľkokrát vylepšený. Od decembra 1981 až do súčasnosti 8-detektorový neutrónový monitor **NM64** kontinuálne pracuje v meracom domčeku na streche budovy na Lomnickom štíte. Na meranie sa používa 8 proporcionálnych detektorov typu SNM-15. Priemerná početnosť NM je teraz asi $1,6 \cdot 10^6$ častíc za hodinu. Zvýšenie štatistickej presnosti od decembra 1981 umožňuje zaznamenávať krátkodobé variácie.

V tomto meracom domčeku na streche budovy na Lomnickom štíte je neutrónový monitor ÚEF SAV Košice.



Neutrónový monitor na Lomnickom štíte



Grafický záznam z neutrónového monitora na Lomnickom štíte, 28. októbra 2003

V súčasnej dobe sú k dispozícii 1-minútové dáta v reálnom čase, ako aj ďalšie dáta, vrátane archívu hodinových dát na adrese: <http://neutronmonitor.ta3.sk>. Kontinuálne meranie kozmického žiarenia na Lomnickom štíte spadá pod Ústav experimentálnej fyziky Slovenskej akadémie vied v Košiciach, Oddelenia kozmickej fyziky: <http://space.saske.sk>. Monitor je významnou súčasťou celosvetovej sústavy neutrónových monitorov. V roku 1982 boli na Lomnickom štíte prvýkrát na svete (spolu so stanicami Jungfrayoch a Rím) zaregistrované slnečné neutróny, čo potvrdilo teoretické predpoklady možnej registrácie slnečných neutrónov na povrchu Zeme.

Neutrónový monitor na Lomnickom štíte je tiež začlenený do projektu „Neutron Monitor Database“ (NMDB): <http://www.nmdb.eu>. NMDB je projekt, zahrňujúci tímy z 11 rôznych krajín, financovaný v období rokov 2008-09 v rámci 7. rámcového programu EÚ. Všetky neutrónové

monitory, prevádzkované v Európe a niektorých ďalších krajinách, distribuujú svoje experimentálne údaje tak, aby boli prístupné v reálnom čase a dali sa jednoducho využiť vedcami i ďalšími užívateľmi.

Kozmické počasie

Rozvoj nových technologických systémov spolu s otázkami ich spoľahlivosti viedli k zavedeniu pojmu „kozmicke počasie“ a k systémovému multidisciplinárnemu prístupu k týmto otázkam v medzinárodnom merítke [4,5,6].

Podľa definície používanej v USA *kozmicke počasie zahŕňa podmienky na Slnku a v slnečnom vetri, magnetosfére, ionosfére a termosfére, ktoré môžu ovplyvniť funkčnosť a spoľahlivosť kozmických ako aj pozemných technologických systémov a môžu ohroziť zdravie a život ľudí*. V rámci európskeho projektu COST 724, ktorého sa zúčastnil aj ÚEF SAV Košice, bola prijatá nasledujúca definícia: *Kozmicke počasie je fyzikálny a fenomenologický stav prirodzeného kozmického prostredia*. Príslušná vedná disciplína má za cieľ prostredníctvom pozorovaní, monitorovania, analýzy a modelovania pochopiť a predvídať stav Slnka, medziplanetárneho priestoru a prostredia v okolí planét, ako aj poruchy zapríčinené, či nezapríčinené Slnkom, ktoré tieto prostredia ovplyvňujú. Zaoberá sa tiež predpovedaním a skúmaním možných dopadov na biologické a technologické systémy.

Zaujímavé je porovnanie hlásení o poruchách technologických systémov počas dvoch veľkých magnetických búrok s podobnou intenzitou, a to na začiatku (1903) a koncom minulého storočia (1989). V prvom prípade boli hlásené poruchy na telegrafickom systéme, komunikácia bola počas niekoľkých hodín takmer celkom prerušená a prestížny vedecký časopis Nature hovorí o indukci 675 V v drôtoch bez pripojenej batérie.

Podstatne rozsiahlejšie sú ale informácie o následkoch porovnateľnej búrky v r. 1989. Možno ich rozdeliť do piatich skupín:

- a) poškodenia družíc (zmena dráhy nízkoorbitálnej družice SMM, poruchy na elektronike na 4 družiciach),
- b) poruchy komunikácie (výpadky v rádiového spojenia južných oblastí USA s rôznymi miestami na svete, rušenie správ diaľničnej kontroly v Kalifornii lokálnymi prenosmi v Minnesote, značné nárazy napätia zaznamenané podvodnými káblami v Atlantickom a Tichom oceáne),
- c) poruchy navigácie (viaceré poruchy navigačného systému LORAN - LOnG RAnge Navigation – pozemný navigačný systém nízko-frekvenčných rádiových prenosových zariadení, ohlásené pobrežnou ochranou USA, narušenie navigácie lodí v blízkosti Austrálie využívajúcej signály navigačných družíc),
- d) elektrické rozvodné siete (výpadok elektrickej energie v Quebecu pričom 6 miliónov ľudí zostalo počas 9 hodín bez elektriny, výpadok rozvodného 130 kV systému vo Švédsku, poruchy viacerých rozvodných systémov bez úplného výpadku),
- e) iné efekty (v severovýchodnej časti USA boli niektoré mikročipové zariadenia v tej dobe nefunkčné).

Vplyv kozmického počasia na komunikáciu a navigáciu

Ešte pred kozmickou érou boli efekty dnes označované za kozmicke počasie pozorované v technologických systémoch dôležitých pre komunikáciu. Pravdepodobne prvá zmienka o poruchách na telegrafných systémoch (galvanometer zaznamenávajúci odchylky s meniacim sa znamienkom na kábli z Derby do Birminhamu) pochádza z r. 1849. Efekty vonkajšieho fyzikálneho stavu na bezdrôtové transkontinentálne spojenie boli spomenuté už v práci Marconiho z r. 1928. Ten uvádzal, že prakticky všetky prípady strácajúcich sa rádiových signálov koincidovali s časovými

úsekmi, kedy boli pozorované veľké slnečné škvrny, intenzívne polárne žiary a geomagnetické búrky.

Okrem satelitných anomálií spôsobených energetickými kozmickými časticami, sú dôležité aj vplyvy zmien ionosféry. Jedným z nich sú tzv. scintilácie. Ide o rýchle fluktuácie intenzity transionosferického signálu (družica-Zem). Spôsobujú dodatočnú nízkofrekvenčnú šumovú komponentu k užitočnému signálu. Namiesto homogénnej vrstvy sú v niektorých oblastiach ionosféry miesta so zvýšenou alebo zníženou koncentráciou elektrónov. Tieto neregularity sa vyskytujú v dvoch oblastiach – polárnej (tam sú spôsobované časticami uvoľňovanými z oblastí záchytu – ich vysypávaním do atmosféry – vyskytujú sa v ľubovoľnom miestnom čase s tendenciou zosilnenia v noci a počas zvýšenej magnetickej aktivity) a rovníkovej (význačne závislé od miestneho času – dajú sa predvídať, majú periodicity rovnaké ako extrémne UV a X žiarenie zo Slnka).

Pre elektromagnetické vlny využívané v globálnych navigačných družicových systémoch (GNSS) akými sú GPS, GLONASS alebo európsky Galileo, sú veľmi dôležité zmeny stavu ionosféry. Pri používaní frekvencií v oblasti 1.2 – 1.6 GHz môže ionosféra spôsobiť oneskorenie signálu odpovedajúce chybám vzdialenosti až 100 m.

Vplyv kozmického počasia na pozemné systémy

Okrem prúdových systémov v ionosfére počas geomagnetických porúch vznikajú aj prúdové systémy v technologických zariadeniach na zemskom povrchu. Fyzikálne ide o geomagneticky indukované prúdy (GIC), ktoré možno opísať základnými zákonmi elektromagnetizmu. Porucha kozmického počasia spôsobuje vznik intenzívnych a rýchlo sa meniacich prúdových systémov v ionosfére, ktoré podľa Biot-Savartovho zákona spôsobujú časovo premenné magnetické polia pozorované ako geomagnetické subbúrky alebo búrky, čo podľa Faradayovho indukčného zákona je vždy sprevádzané elektrickým poľom. Geomagnetické poruchy a geoelektrické pole na zemskom povrchu nielen primárne závisia od priestorových prúdov, ale sú tiež sekundárne ovplyvnené prúdmi vyvolanými vo vnútri zemského telesa. Hlavne pre elektrické pole je sekundárny príspevok dôležitý. Horizontálna zložka geoelektrického poľa vyvoláva na technologických vodivých sieťach ohmické prúdy. Časové zmeny magnetického poľa sú veľké hlavne na miestach s väčšou zemepisnou šírkou a indukované prúdy sú tam preto značné. Prejavujú sa napr. v rozvodných systémoch v Kanade, severských krajinách Európy a inde. Hlásené sú z období extrémne silných geomagnetických búrok. Najsilnejší hlásený prúd o hodnote 320A bol na švédskom rozvodnom systéme v búrke v apríli 2000.

Iným druhom porúch pozemných systémov počas geomagnetických búrok sú poškodenia plynovodov a ropovodov. Transport veľkého množstva kvapalín alebo plynov pod zemou alebo pod vodou, či dokonca na zemskom povrchu, vyžaduje pevné konštrukcie odolné voči nárazom. Poškodenie ale môže potom vzniknúť z korózie ocelových rozvodov. Preto sú pokryté izolačným náterom a pripojené k špeciálnym zariadeniam (katodové ochranné rektifikátory). Cez malé dierky na pokryve sa môže oceľ dostať do kontaktu s pôdou, vodou alebo vlhkým vzduchom a korodovať. Týmto elektrochemickým reakciám možno brániť záporným napätím udržiavaným na oceli (katóde) voči okolitej zemine (anóda) pripojením záporného výstupu jednosmerného zdroja k potrubiu a kladného výstupu k anodovému zariadeniu v pôde, takže prúd tečie od anódy k potrubiu. Ochranný systém tak udržiava potenciál potrubia na úrovni od -0.85 do -1.35 V. Časovo premenné magnetické polia vytvárajú elektrické prúdy na dlhých vodivých potrubiach, čo môže spôsobiť napäťové zmeny na ochranných rektifikátoroch. Počas geomagnetických búrok tieto variácie môžu spôsobiť väčšiu zmenu potenciálu ako je povolená, a tým redukovať dobu života potrubia.

Biologické aspekty

Vysokofrekvenčná časť spektra kozmického žiarenia môže vytvárať nehostinné prostredie pre život. Na Zemi nás však chráni zemská magnetosféra a atmosféra. Naša planéta predstavuje veľký magnet a magnetické pole sa rozprestiera ďaleko do vonkajšieho priestoru – označovaného ako magnetosféra. Magnetosféra chráni atmosféru aj nás pred prúdom zmagnetizovaného plynu zo Slnka – slnečného vetra – jeho brzdením a odchyľovaním z okolia Zeme. Hustá atmosféra Zeme nás chráni tým, že absorbuje ultrafialové slnečné žiarenie a redukuje teplotné extrémny medzi dňom a nocou.

Pedagogický prínos a popularizácia

Projekt Ústavu experimentálnej a aplikovanej fyziky ČVUT v Prahe – CZELTA [7], ktorého cieľom je vytvoriť sieť detekčných staníc umiestnených na strechách vybraných stredných a vysokých škôl v Európe, má zásadný pedagogický prínos v tejto oblasti. Detekčné stanice zaznamenávajú spršky sekundárneho kozmického žiarenia s minimálnou energiou primárnej častice 10^{14} eV.

Prvou detekčnou stanicou tohto druhu na registrovanie kozmického žiarenia na Slovensku je SKALTA (SlovaKiAn Large-area Time coincidence Array), ktorá je umiestnená na streche Prírodovedeckej fakulty UPJŠ v Košiciach. Sú to v podstate tri scintilačné detektory, každý o veľkosti (60×60) cm², ktoré sú zapojené v koincidenzii. Detektory sú uložené v plastovom obale so stabilizovanou teplotou. Sú usporiadané do rovnostranného trojuholníka s dĺžkou strany 10 m. Vzhľadom na konštrukčné riešenie detekčnej stanice je možné určiť nielen minimálnu energiu pôvodnej primárnej častice, ale aj približný smer zdroja na oblohe. Meraním presnej doby vzniku spršky prostredníctvom systému GPS (Global Positioning System) sa dajú porovnať údaje aj z iných staníc, ako napríklad CZELTA alebo ALTA [8] a študovať tak korelácie medzi sprškami na veľkých vzdialenostiach.



Obrázok 2.

Pracovná stanica umiestnená na streche Ústavu fyzikálnych vied na Jesennej ulici v Košiciach.



Obrázok 3.

Elektronické čítacie a zobrazovacie zariadenie experimentu.

Detekčná stanica SKALTA [9] je plne funkčná od októbra 2010 a poskytuje všetky svoje merania na centrálny server. Umožňuje študovať vysoko energetické častice, ktorých energia prevyšuje energiu, ktorú sme schopní dosiahnuť aj na najvýkonnejších pozemských urýchľovačoch častíc (napr. LHC). Veľkým prínosom detektora SKALTA je možnosť zapojiť študentov univerzity ako aj nadaných študentov stredných škôl do výskumu kozmického žiarenia a umožniť im pracovať s pôvodnými experimentálnymi údajmi [10].

Využívajúc naše skúsenosti s projektom Masterclasses z oblasti časticovej fyziky sme pripravili podobný jednodňový projekt aj z oblasti kozmického žiarenia s experimentálnymi údajmi z experimentu SKALTA. Prvýkrát sme ho uskutočnili so 48 účastníkmi letnej školy „Neznáme kozmické žia-

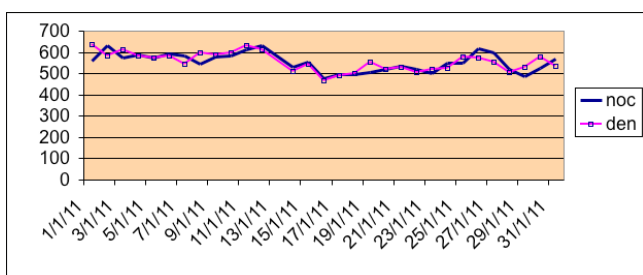
renie“ pre študentov stredných škôl [11]. Študenti si najprv dopoludnia vypočuli niekoľko atraktívnych a prístupných prednášok o kozmickom žiarení a histórii jeho objavu, o experimente SKALTA a spôsobe analýzy údajov zaregistrovaných detektormi. Popoludní vytvorili 9 niekoľkočlenných skupín, aby potom samostatne počas približne troch hodín riešili jednu z dvoch predložených úloh.

Úloha 1: Ovplyvňuje Slnko tok vysoko energetického žiarenia ($> 10^{14}$ eV) detekovaného v experimente SKALTA? (Prípadne pochádza toto žiarenie priamo zo Slnka?)

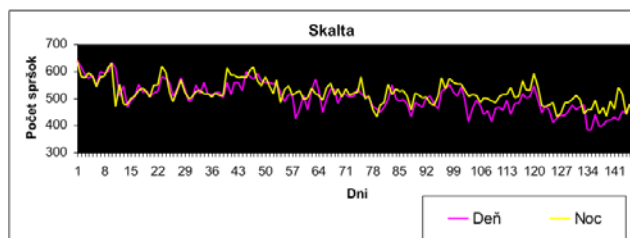
Úloha 2: Závisí tok spŕšok sekundárneho kozmického žiarenia od teploty a hustoty vzduchu?

Prvú úlohu študenti v pracovných skupinách analyzovali porovnaním počtov prípadov spŕšok sekundárneho kozmického žiarenia nameraných detektormi SKALTA počas dňa a počas noci. Ako denné merania boli registrované merania od 9:00 do 15:00 (počas celej tejto doby Slnko žiari), ako nočné od 21:00 do 3:00 (Slnko nie je na oblohe). Výsledkom analýzy bola grafická závislosť počtu prípadov (deň a noc) v závislosti od času (s časovou jednotkou 24 hodín).

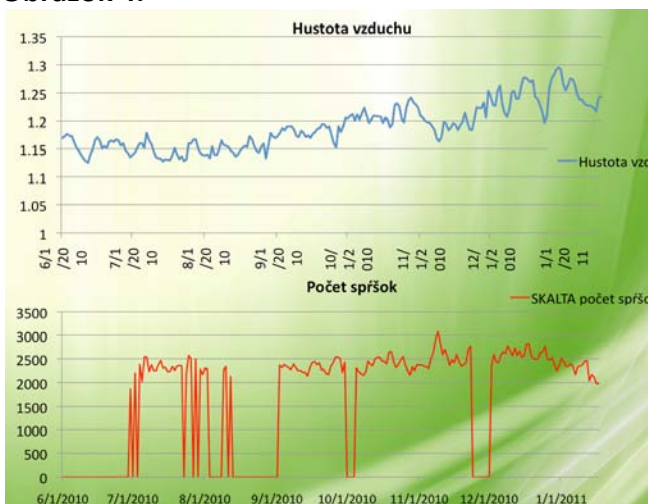
Druhú úlohu analyzovali vzájomným porovnaním troch závislostí: počtu prípadov, teploty vzduchu a hustoty vzduchu od času (s jednotkou času 24 hodín). Merania teploty vzduchu boli poskytnuté Hydrometeorologickým ústavom SAV v Košiciach a hodnoty hustoty vzduchu študenti vypočítali z meraní atmosférického tlaku a teploty.



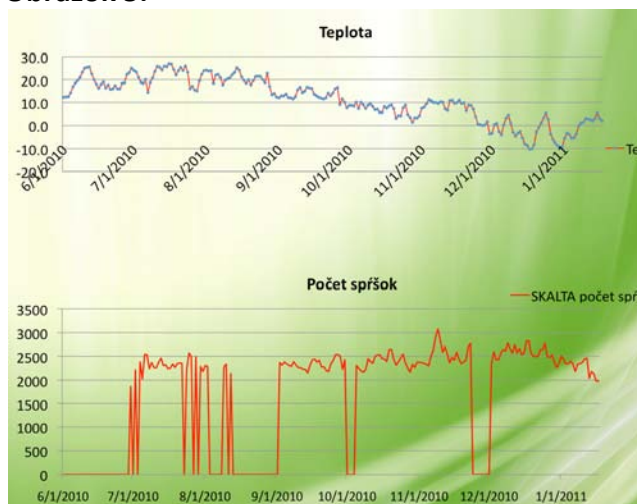
Obrázok 4.



Obrázok 5.



Obrázok 6.



Obrázok 7.

Študenti analyzovali experimentálne údaje a každá skupina si pripravila krátku prezentáciu o dosiahnutých výsledkoch a ich fyzikálnej interpretácii. Na konci dňa hovorcovia skupín predniesli svoje prezentácie. Po každej prezentácii prebehla krátka diskusia. Väčšina skupín správne interpretovala získané výsledky. V prvej úlohe nebol zistený vplyv Slnka na kozmické žiarenie detekované v experimente SKALTA, takže jeho zdroj je mimo Slnčnej sústavy (**obrázky 4,5**) a náplňou diskusie boli najmä neistoty merania. V druhej úlohe študenti nezistili žiadnu koreláciu medzi teplotou

a počtom prípadov, kým medzi počtom prípadov a hustotou vzduchu našli nepriamu úmernosť, takže atmosféra pôsobí ako obrovský kalorimeter, kde jeho absorpčná schopnosť pre nabité častice je úzko prepojená s jeho hustotou (**obrázky 6,7**). Od viacerých študentov sme získali veľmi pozitívne ohlasy na celú akciu.

V auguste 2011 bol tento projekt znovu realizovaný pre 40 zahraničných a našich študentov stredných škôl z Belgicka, Fínska, Talianska, Španielska a Slovenska v rámci medzinárodného projektu „Let’s discover the mysteries“ v Škole v prírode v Kysaku. Jednodňový projekt MC z kozmického žiarenia bol nasledujúci deň doplnený ďalšími aktivitami. Študenti sa venovali terminológii, kde základné pojmy zavedené v úvodnej prednáške spracovali do vlastných, stručných prezentácií, posterov, dramatizácií. Nasledovali prezentácie národných skupín o výskume kozmického žiarenia v krajine ich pôvodu, ktoré si pripravili ešte pred príchodom na Slovensko. Ohlasy boli aj v tomto prípade veľmi pozitívne.



Obrázok 8

Letná škola v prírode – „Nezmáme kozmické žiarenie“



Obrázok 9

„Let’s discover the mysteries“ – medzinárodný projekt

Záver

Dlhoročný výskum kozmického žiarenia na Slovensku je veľmi úspešný. V súčasnosti sa rozvíja na viacerých inštitútoch a uberá sa viacerými smermi. Oddelenie kozmickej fyziky na Ústave experimentálnej fyziky v Košiciach študuje kozmické žiarenie, slnečný vietor a zemskú magnetosféru a podieľa sa na výrobe nových zariadení pre výskum planetárnych procesov v rámci budúcich vesmírnych misií. Výskum zahŕňa analýzu pozemných aj družicových meraní, simuláciu kozmofyzikálnych procesov v heliosfére a magnetosfére Zeme a prípravu nových kozmických experimentov. Doteraz sa Oddelenie zúčastnilo na vývoji experimentálnych vedeckých aparátúr, ktoré boli umiestnené na 14 družiciach, dvoch kozmických sondách a dvoch suborbitálnych raketách. V súčasnosti v rámci medzinárodnej spolupráce pracuje na teleskope JEM-EUSO, ktorý bude v blízkej budúcnosti nainštalovaný na Medzinárodnej vesmírnej stanici ISS. Teleskop sa zameria na ultrafialové žiarenie vznikajúce pri interakcii kozmických častíc s atmosférou Zeme.

Strategickým cieľom projektu Európskeho fondu rozvoja prostredníctvom Operačného programu Výskum a vývoj a to na základe Zmluvy o poskytnutí nenávratného finančného príspevku č. 18/2009/2.1/OPVaV, kód ITMS 262201200009, názov projektu: "Centrum kozmických výskumov: vplyv kozmického počasia" a projektmi Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky je dobudovanie Centra kozmických výskumov ako základu pre koncentráciu inštitúcií orientujúcich sa na výskum kozmogénnych vplyvov na Zem a technologickú spoločnosť.

Úspech oboch akcií nás povzbudil do ďalších aktivít v tejto oblasti. Jedna cesta, ako vzbudiť u študentov záujem o fyziku a prírodné vedy, vedie cez pre nich najviac atraktívne témy, akými sú vesmír, kozmológia, kozmické žiarenie, CERN, urýchľovače, rádioaktivita. Sú to pojmy často spomína-

né v masovokomunikačných prostriedkoch pri rôznych významných udalostiach. Stredoškóoláci, ak vôbec, tak sa s týmito pojмами na vyučovacích hodinách fyziky stretávajú až vo vyšších ročníkoch, kedy sú už jednoznačne rozhodnutí o smere svojho vysokoškóolského štúdia. V snahe osloviť čím väčšiu skupinu študentov, ponúkame naše projekty všetkým stredoškóolákom [12], aj tým v nižších ročníkoch, aby sme vyvolali záujem o prírodné a technické vedy. Hlavné podujatie (ako napríklad medzinárodné MC) dopĺňame ďalšími komplementárnymi aktivitami. Pomocou metódy komplementárných aktivít je možné sprístupniť popularizačné a vzdelávacie informácie väčšiemu počtu prijímateľov informácií a zároveň im umožniť vybrať si mieru obtiažnosti podľa vlastného rozhodnutia. Naším najbližším plánom je vytvoriť dištančný kurz, ktorého náplňou budú moduly o vesmíre, jeho vývoji, kozmickom žiarení, kozmickom počasí [13].

Podákovanie

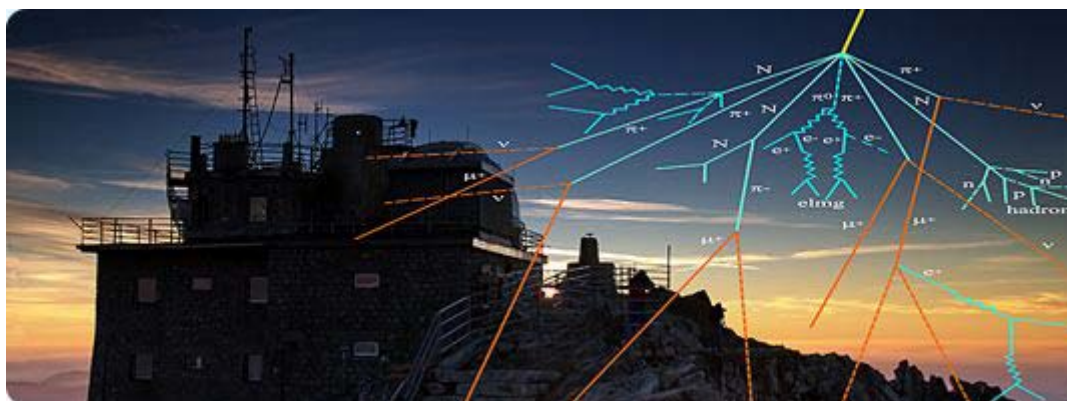
Projekt SKALTA je financovaný z prostriedkov Európskeho fondu regionálneho rozvoja prostredníctvom Operačného programu Výskum a vývoj a to na základe Zmluvy o poskytnutí nenávratného finančného príspevku č. 018/2009/2.1/OPVaV, kód ITMS 262201200009, názov projektu: "Centrum kozmických výskumov: vplyv kozmického počasia", prostredníctvom Agentúry Ministerstva školstva SR pre štrukturálne fondy EÚ a vlastných zdrojov verejného obstarávateľa. Zvlášť by sme sa chceli poďakovať Grantovej agentúre APVV: projekt LPP-0059-09 "Odhalenie tajov mikrosveta prostredníctvom analýzy experimentálnych údajov" a projektu mládežníckej výmeny „Let's discover the mysteries", ktorý je podporovaný z prostriedkov grantového programu Mládež v akcii (2007 - 2013).

Literatúra

1. Perkins, D.H., 2009: Particle Astrophysics, Oxford University Press, ISBN: 978-0-19-954545-9, p.229-271.
2. Kudela, K., On Energetic Particles in Space, Acta Physica Slovaca 59, 2009, No 5, 537-652.
3. Kudela K., 2012: Variability of Low Energy Cosmic Rays Near Earth, EXPLORING THE SOLAR WIND, Edited by Marian Lazar, ISBN 978-953-51-0339-4, Croatia.
4. Kudela, K., Slivka, M., 2003: Energetické častice v kozme a kozmické počasie. Slovenský príspevok k štúdiu efektov október – november 2003, <http://stara.suh.sk/obs/slnsem/17css/energcast.pdf>.
5. Prigancová, A., Bieleková, M., K problematike kozmického počasia, <http://www.cbks.cz/sbornikkosice/priganco.pdf>.
6. Kudela, K., Variabilita kozmického žiarenia a kozmické počasie, <http://stara.suh.sk/obs/slnsem/16css/variab.pdf>.
7. K. Smolek, ALTA/CZELTA - a sparse very large air shower array: overview of the experiment and first results, Proceedings of the 31st ICRC, 2009, Lodž, Poland. CZELTA (CZEch Large-area Time coincidence Array): <http://www.utef.cvut.cz/czelta/czelta-cz>
8. W. Brouwer et al, The ALTA cosmic ray experiment electronics system, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 539 (2005) 595-605. ALTA (Alberta Large-area Time coincidence Array): <http://csr.phys.ualberta.ca/~alta/>
9. Bombara M., Dirner A., Kudela K. a kol.: Cosmic ray study in the SKALTA Experiment. Zborník príspevkov z 18. konferencie slovenských fyzikov, Univerzita M. Bela B. Bystřica, 6.9 - 9.9.2010, vyd. Košice: Slovenská fyzikálna spoločnosť, 2011, s.137 – 138, ISBN 978-80-970625-0-7.
10. Bombara M., Dirner A., Kudela K. a kol.: Cosmic ray study in the SKALTA experi-

ment(2), 17. konferencia slovenských a českých fyzikov, Fakulta elektrotechniky, Žilinská univerzita, Žilina, 5.-8.september 2011. Zborník konferenčných príspevkov, Equilibria 2012, Košice, ISBN 978-80-970625-4-5, EAN 9788097062545, str. 93-94.

11. Dirner A., Hlaváčová, J., Lehocká, S. a kol., Odkrývanie tajomstiev mikrokozmu, IV. odborná konferencia Quo Vadis vzdelávanie k vede a technike na stredných školách, Kongresové centrum Technopol, Bratislava 7. 11. 2011 – 9. 11. 2011, zborník konferenčných príspevkov, o.z. Mladí vedci Slovenska a CVTI SR, 2010, ISBN 978-80-970496-6-9, str. 84-89.
12. Space Weather and Europe - an Educational Tool with the Sun (SWEETS), <http://www.physik.uni-greifswald.de/sweets2007/>.
13. Kudela, K., Moduly dištančného vzdelávania - „Okná do modernej fyziky“, Kozmické žiarenie, Kozmické počasie.



Adresa autorov

RNDr. Alexander Dirner, CSc.

Ústav fyzikálnych vied, Prírodovedecká fakulta UPJŠ Košice

Jesenná 5, 040 01 Košice

doc. RNDr. Júlia Hlaváčová, CSc.

Katedra fyziky, Fakulta elektrotechniky a informatiky TU Košice

Park Komenského 2, 042 00 Košice

Email: Julia.Hlavacova@tuke.sk