

O modulácii kozmického žiarenia slnečnou aktivitou

M. Rybanský a K. Kudela, Ústav experimentálnej fyziky SAV, Košice

Abstrakt.

Je známe, že medzi úrovňou slnečnej aktivity a kozmického žiarenia existuje vysoká záporná korelácia. V príspevku je analyzovaný charakter tejto korelácie počas ostatných piatich cyklov slnečnej aktivity (1953 – 2007). Obyčajne sa vzťah medzi týmito veličinami demonštruje pomocou ročných priemerných hodnôt. Použili sme denné hodnoty a porovnanie sme robili metódou krížovej korelácie. Pre charakterizovanie slnečnej aktivity sme použili koronálny index (CI), Wolfove číslo (W) a rádiové žiarenie Slnka na 2800 MHz (Ir). Najlepšia korelácia je s CI ($r \approx -0,8$), pričom minimum úrovne kozmického žiarenia nastáva neskôr po maxime CI , pri posune o určitý počet dní. Tento posun je rozdielny pre nepárne cykly slnečnej aktivity (19., 21. a 23.; 300 – 500 dní) a pre párne cykly slnečnej aktivity (20. a 22. 0 – 100 dní).

Posun pre Ir je približne o 30 dní a pre W približne o 50 dní väčší. Pre vývoj aktívnej oblasti na Slnku sa podľa toho dá usudzovať, že prebieha od koróny k fotosfére. V závere sa diskutuje o možných interpretáciách dosiahnutých výsledkov.

ÚVOD

Kozmické žiarenie je vlastne prúd častíc rôznych energií vo vesmírnom priestore. Musíme ich rozdeliť na primárne a sekundárne. Primárne častice nepreniknú cez atmosféru na povrch Zeme, zaniknú, alebo lepšie povedané, pretransformujú sa pri zrážkach s jadrami atómov atmosféry na sekundárne častice, ktoré môžeme merať na povrchu Zeme.

Primárnu zložku podľa hmotnosti tvoria z 84% jadra vodíka (teda protóny), 14% jadra helia, 1% jadra ostatných prvkov a 1% elektróny a pozitrony. Energie častíc sú v rozsahu $10^6 - 10^{20}$ eV. Podstatná časť primárneho kozmického žiarenia, ktorá prispieva k početnosti neutrónových monitorov je v oblasti 1 - 10 GeV. Cez 1 m^2 vo voľnom priestore prechádza za sekundu okolo 10^4 takýchto častíc. Častice majú neznámy pôvod. V literatúre sa uvádza, že tie, ktoré majú najvyššie energie, pochádzajú pravdepodobne z výbuchu nov a supernov, či už z našej, alebo iných galaxií. Nepodarilo sa nájsť žiadny význačný smer ich príchodu, preto sa predpokladá, že z každého smeru prichádza rovnaký počet, t.j. primárne kozmické žiarenie je izotropné. Predpokladá sa tiež, že primárne častice galaktického pôvodu majú konštantný tok a energetické rozdelenie.

Slnko je tiež zdrojom časticového žiarenia, avšak veľmi premenného ako v početnosti, tak aj v energiách. Je tiež zdrojom neutrónov, ktoré sa vzhľadom na ich 11,7 minútový polčas rozpadu v primárnom

galaktickom žiarení nevyskytujú. Rozpínajúca sa koróna – slnečný vietor, spolu s elektromagnetickými poliami tvorí potom heliosféru, ktorá sa prestiera až po medzihviezdny priestor. O priestorovej štruktúre a variáciách fyzikálnych parametrov heliosféry vieme pomerne málo. Všetky naše experimentálne poznatky v tomto obrovskom priestore pochádzajú iba z niekoľkých kozmických sond, menovite : PIONEER, VOYAGER a ULYSSES.

Primárna častica s určitou energiou, ktorá prichádza k Zemi, musí teda prejsť cez priestor heliosféry, ďalej geomagnetické pole vychýli dráhu častice k magnetickým pólom, podľa jej energie; čím väčšia energia, tým menšia odchýlka; ďalej prechádza cez radiačné (Van Allenove) pásy v magnetosfére Zeme a cez určitý priestor zemskej atmosféry. Tam sa v zrážkach s jadrami atómov atmosféry transformuje na rôzne častice – protóny, neutróny, α -častice, elektróny, pozitrony, mezóny μ , π a γ -žarenia rôznych energií. Treba ešte poznamenať, že atmosferický prah, t.j. minimálna energia protónov kozmického žiarenia, ktorá dáva merateľnú odozvu na zemskom povrchu je okolo 400 MeV. Ak má primárna častica energiu väčšiu ako 10^{13} eV, potom vyprodukuje okolo 10^9 častíc sekundárneho žiarenia. Podrobnejšie o týchto problémoch pojednávajú Pernegr a iní (1953), Dubinský a Kudela (1984), Kitchin (1998).

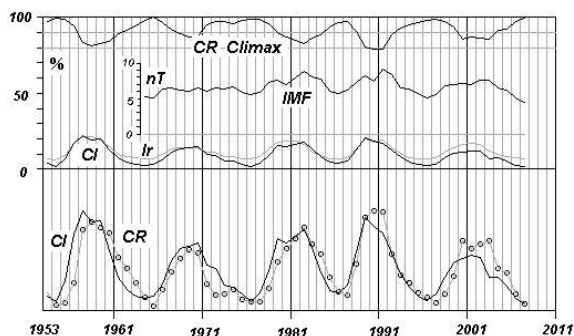
Variácie toku neutrónov meriame v neutrónových monitoroch a o výsledkoch týchto meraní budeme ďalej

hovoríť. Väčšina týchto neutrónov pochádza zo zrážok primárnych častíc s jadrami atómov atmosféry. Niekedy sa však pozorujú neutróny, ktoré pochádzajú zo slnečných erupcií. Vtedy hovoríme o jave GLE (Ground Level Event).

Podľa predpokladu, ktorý je opísaný vyššie, je tok primárneho kozmického žiarenia konštantný a jeho zmeny, registrované na zemskom povrchu sú spôsobené moduláciou v heliosfére, magnetosfére a atmosfére.

Modulácia kozmického žiarenia slnečnou aktivitou

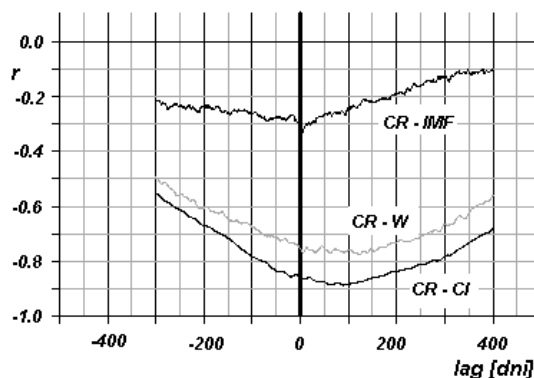
Charakter variácií kozmického žiarenia a slnečnej aktivity ilustruje obr. 1.



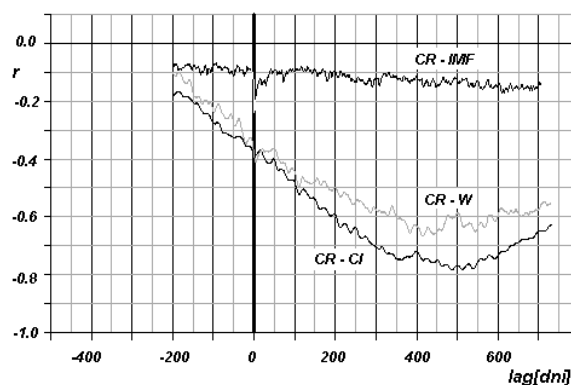
Obr. 1: Grafy priebehov ročných priemerov: a) úroveň neutrónového monitora Climax v %; b) veľkosť magnetickej indukcie $|B|$ v blízkosti Zeme - IMF; c) indexy slnečnej aktivity, CI – koronálny index (Rybanský et al, 2005) a I_r – rádiové žiarenie Slnka v pásme 2800 MHz; (škála platí iba pre CR, CI a I_r sú v relatívnych jednotkách). V dolnej časti je CR prekreslené v prevrátenej škále (krúžky) spolu s CI.

Antikorelácia úrovne (CR) a indexov slnečnej aktivity (CI; I_r), tak ako to znázorňuje horná časť obrázku 1, sa často používa na demonštráciu súvislosti medzi nimi. Pri prekreslení do spoločného priebehu (CI a CR opačne) v dolnej časti obr. 1 vidíme, že priebehy sú časovo posunuté. Vyskúšali sme aj koreláciu CR s rádiovým žiarením Slnka na 2800 MHz a Wolfovým číslom, avšak najlepšiu koreláciu vykazujú CI. Podrobnejší rozbor pomocou krížovej korelácie ukázal, že posun pre maximálnu koreláciu je rôzny pre párne a pre nepárne cykly slnečnej aktivity. Overenie takého tvrdenia vyžaduje dlhší pozorovací rad, ako máme k dispozícii (iba 2 párne cykly).

Zaujímavý je tiež fakt, že pre rádiové žiarenie a pre Wolfovo číslo vychádza tento posun približne o 30, resp. 50 dní väčší. Z toho možno usudzovať, že vývoj aktívnej oblasti začína v koróne a pokračuje do chromosféry a fotosféry. Pre ilustráciu sme na obr. 2 a 3 znázornili krížovo-korelačné funkcie pre 22. a 23. cyklus slnečnej aktivity. Najlepšiu zhodu s CI v 22. cykle ($r = -0,88$) dostaneme pri posune okolo 100 dní; v 23. cykle pri posune okolo 500 dní ($r = -0,78$). Pre denné hodnoty IMF sa najlepšia zhoda dosahuje po 1 – 2 dňoch, avšak korelácia je nízka.



Obr. 2: Krížovo-korelačná funkcia z denných hodnôt CR, CI, W (Wolfove číslo) a IMF pre obdobie 22. cyklu slnečnej aktivity (1987 – 1997).



Obr. 3: Krížovo-korelačná funkcia z denných hodnôt CR, CI, W (Wolfove číslo) a IMF pre obdobie 23. cyklu slnečnej aktivity (1997 – 2007).

ZÁVERY

Všeobecne je prijatý názor, že príčinou vzťahu medzi slnečnou aktivitou a kozmickým žiarením sú variácie *medziplanetárneho magnetickeho poľa* v okolí Zeme (na obr. 1: IMF), ktoré je vynášané od Slnka *slnečným vetrom*. Mirošničenko (1987) okrem iného píše „... v minime sa znižuje výskyt nehomogenít poľa, ktoré slúžia ako centrá rozptylu pre galaktické častice. V dôsledku toho rozptyľovacia schopnosť IMF slabne a kozmické lúče sa ľahšie dostávajú dovnútra slnečnej sústavy. Pri vzraste slnečnej aktivity sa výskyt nehomogenít IMF značne zvyšuje. Nehomogenity sa pohybujú spolu so slnečným vetrom od Slnka a vďaka nim sa vo väčšej miere „vychylujú“ kozmické lúče za hranice obežnej dráhy Zeme, v dôsledku čoho sa ich intenzita na Zemi znižuje.“

Tento názor je založený na teórii Parkera (1958, 1965). Výsledky krížovej korelácie ukazujú, že ak je to tak, potom oblasti nehomogenít musia byť nakopané pomerne ďaleko od Zeme (pri strednej rýchlosti slnečného vetra cca 350 km/s by to bolo okolo 2 AU, t.j. až za dráhou Urana).

Dalo by sa uvažovať aj tak, ako postupujeme pri každom rádioaktívnom žiarení:

$$(1) \quad \Delta I = -\kappa I_0 \Delta m,$$

ΔI je pokles pôvodnej intenzity I_0 po prejení materiálu hrúbky Δm , pričom v koeficiente absorpcie κ sú zahrnuté všetky procesy, ktoré znižujú výsledný tok častíc kozmického žiarenia, bez ich podrobného rozboru. Tak postupujeme napr. pri barometrickej korekcii neutrónového monitoru na Lomnickom štíte. Podľa dlhodobých pozorovaní bolo zistené, že pri zvýšení tlaku o 1 hPa, t.j. pri zväčšení hmoty, cez ktorú častice prechádzajú o $10,19 \text{ kg/m}^2$ sa zníži intenzita o 0,717%.

Podobný postup by sa dal použiť aj pri modulácii v heliosfére, potrebovali by sme však podstatne viac informácii o variáciách hmoty heliosféry. Odhaduje sa, že celá hmota heliosféry cez ktorú primárna častica prechádza je okolo 50 kg/m^2 . Podľa meraní sondách SOHO, ACE a WIND sa nepreukázali zmeny v toku protónov synchronne so slnečným cyklom. Podľa fotometrických analýz pozorovaní koróny pri úplných zatmeniach Slnka sa jej hmotnosť v cykle mení v pomere najmenej 1:2. Ak sa táto zmena neprejavuje v slnečnom vetre, potom je zrejme prebytok hmoty

koróny v maxime uzavretý a nezúčastňuje sa na rozpínaní do priestoru heliosféry.

Veľkou neznámou sú tiež variácie hmoty v radiačných pásoch magnetosféry Zeme, o ktorých budeme vedieť viac po realizácii plánovaných projektov v najbližších rokoch.

PodĎakovanie

Práca vznikla v rámci projektu APVV-51-053805 s podporou Agentúry na podporu vedy a výskumu a grantovej agentúry VEGA, grantový projekt 2/7063/27.

LITERATÚRA

- Dubinský J., Kudela K.:1984, *Kozmické žiarenie*, VEDA, Bratislava
Kitchin, C.R.:1998, *Astrophysical Techniques*, Adam Hilger Ltd., Bristol
Mirošničenko L.I.: *Slnečná aktivita a Zem*, Vydavateľstvo SAV, Bratislava
Parker E.N.: 1958, *Astrophys. J.* **128**, 664
Parker E.N.: 1965, *Planet. Space Sci.*, **13**, 9
Pernegr J., Petržilka V. a Tomášková L.: 1953, *Kozmické záření*, Nakl. ČSAV, Praha
Rybanský M., Rušin, V., Minarovjeh M., Klocok L a Cliver E.W.: 2005, *Journal of Geoph. Res.*, **110**, A11146.