

Energetické častice v kozme a kozmické počasie. Slovenský príspevok k štúdiu efektov október – november 2003.

*K. Kudela, Ústav experimentálnej fyziky SAV, Košice, kkudela@kosice.upjs.sk
M. Slivka, Ústav experimentálnej fyziky SAV, Košice, slivka@kosice.upjs.sk*

Abstrakt

Časový interval zahrňujúci koniec októbra a november 2003 sa vyznačoval zvýšenou slnečnou, medziplanetárnou a geomagnetickou aktivitou, spojenou so silnými efektami kozmického počasia. V práci prezentujeme prehľad meraní energetických kozmických častíc pomocou spoločného prístroja ÚEF SAV v Košiciach a Moskovskej Univerzity na družici CORONAS-F a tiež kozmického žiarenia meraného na vysokohorskom neutrónovom monitore na Lomnickom Štíte, spolu s charakteristikami slnečného vetra a medziplanetárneho magnetického poľa. V skúmanom období boli pozorované extrémne zvýšenia tokov energetických nabitých častíc ako v kozmickom priestore tak aj vo vnútri magnetosféry Zeme, a tiež slnečného gama žiarenia veľmi vysokých energií a neutrónov.

1. ÚVOD

Slnečná aktivita, odrážajúca fyzikálny stav medziplanetárneho prostredia (3D rozdelenie a časové zmeny plazmy slnečného vetra a medziplanetárneho magnetického poľa (MMP) vmrazeného do slnečného vetra) sa v čase po 23. októbri 2003 význačne zmenila. Redistribúcia medziplanetárneho magnetického poľa a následovne aj poľa geomagnetického významne ovplyvnila toky energetických nabitých častíc v medziplanetárnom priestore a vo vnútri magnetosféry.

Krátko uvedieme niektoré merania energetických kozmických častíc s experimentálnou spoluúčasťou ÚEF SAV v Košiciach v tomto období. Podrobnejšie je o sumarizovaných udalostiach pojednané v prácach uvedených v časti literatúra.

2. SLNEČNÝ VIETOR A MMP

Erupcie koronálnej látky (CME – coronal mass ejection), vyvolávajú množstvo rôznych fyzikálnych efektov v medziplanetárnom priestore. V dôsledku interakcie CME s magnetosférou Zeme, hlavne v čase južnej orientácie MMP, dochádza k vzniku geomagnetických búrok.

Na družici ACE bola v druhej polovine 299 dňa roku 2003 (26. október) pozorovaná veľmi vysoká rýchlosť slnečného vetra. Rýchlosť, ktorej stredná hodnota je okolo 400 km/s sa v tomto časovom intervale zvýšila nad hodnoty >800 km/s, čo spôsobilo problémy s jej meraním. Aj počas 304 dňa roku 2003 (31. október) sa

objavili časové úseky v ktorých rýchlosť slnečného vetra dokonca prevyšovala hodnotu 1200 km/s. K podobným dramatickým zmenám došlo aj v teplote a hustote plazmy slnečného vetra v blízkosti Zeme. Zmeny, ku ktorým došlo v novembri neboli také dramatické, hoci ich veľkosť bola tiež veľmi veľká. V časovom intervale od 29. do 31. októbra 2003, vyznačujúcom sa južnou orientáciou MMP bola pozorovaná séria troch po sebe idúcich geomagnetických porúch. Minimálna hodnota Dst indexu $Dst = -400$ nT bola pozorovaná v čase okolo poľnoci z 30. na 31. októbra 2003. Takéto poklesy sú pozorované len niekoľkokrát počas jedného slnečného cyklu. Druhá geomagnetická búrka bola registrovaná večer 20. novembra 2003 a vyznačovala sa poklesom $Dst = -450$ nT.

3. ZMENY KOZMICKÉHO ŽIARENIA

Silné geomagnetické búrky sú obyčajne spojené s veľkými poklesmi intenzity primárneho kozmického žiarenia. Je to spojené s existenciou oblasti bez kozmického žiarenia za rázovou vlnou (tzv. cosmic ray depleted region), ktorá vznikne na čele CME a ktorá sa vyznačuje rôznymi charakteristikami plazmy na oboch stranách tejto šíriacej sa nehomogenity. Nie všetky geomagnetické búrky sú doprevádzané Forbushovými poklesmi v kozmickom žiarení. Rôzne typy týchto javov sú diskutované v práci *Kudela a Brenkus, 2004*. Boli niektoré pokusy využiť zmeny anizotropie kozmického žiarenia na predpovedanie geomagnetickej aktivity.

Časový interval diskutovaný v tejto práci bol bohatý na anizotropiu kozmického žiarenia aj čase pred a počas geomagnetických búrok (*Kudela a Storini, 2004*).

Veľmi veľký Forbushov pokles bol pozorovaný 29. októbra 2003 s minimom okolo poludnia. Na stredoširokových staniách, merajúcich kozmické žiarenie, včítane Lomnického Štitu (údaje z tejto stanice ÚEF SAV sú prístupné na internete v reálnom čase včítane archivovaných dát, a to na serveri <http://neutronmonitor.ta3.sk>), boli zaznamenané poklesy vyššie ako 25%, čo bola najväčšia hodnota registrovaná počas posledných dvoch slnečných cyklov. V čase týchto poklesov boli namerané významné poklesy dávky ožiarenia posádok lietadiel počas letov v strednej a južnej Európe (*Spurný et al., 2004*).

Jasné zvýšenie tokov sekundárnych neutrónov zmeraných neutrónovým monitorom na Lomnickom Štíte 28. novembra 2003 je spojené so slnečnou erupciou a následným urýchlením protónov CME v medziplanetárnom prostredí. Pretože vertikálna odrezávacia rigidita Lomnického Štitu je 4 GV, vzrast (začiatok o 1115 UT, vzrast v maxime ~8 %, trvanie do 1130 UT) svedčí o efektívnom urýchľovaní protónov v CME v tomto prípade nad rigiditu 4 GV.

4. SLNEČNÉ GAMA ŽIARENIE

Dôležitosť meraní slnečného gama žiarenia bola zdôraznená už dávno. Zatiaľ čo vysokoenergetické elektróny produkujú difúzne, spojité energetické spektrá rentgenovského a gama žiarenia determinované ich energetickým spektrom (elektrónov urýchlených v slnečných erupciách), ióny zostatkovvej slnečnej atmosféry, urýchlené do vysokých energií, vytvárajú série čiar gama žiarenia v dôsledku excitácie okolitých jadier slnečného povrchu. Navyše čiary 0.511 MeV a 2.223 MeV vznikajú v dôsledku anihilácie pozitronu a v dôsledku neutrónového záchytu.

Od 21. augusta 2001 do súčasnosti pracuje na družici CORONAS-F prístroj SONG-M. Tento prístroj meria na družici s nízkou kruhovou polárnou dráhou (výška okolo 500 km, inklinácia asi 83°) toky a energetické spektrá gama žiarenia a neutrónov. Prístroj bol vyvinutý v spolupráci ÚEF SAV v Košiciach a Skobeltsynovho ústavu jadrovej fyziky Moskovskej štátnej univerzity. Opis prístroja a prvé skúsenosti s jeho meraním sú v práci *Kuznetsov et al., 2004c*.

Experimentálne merania slnečných neutrónov a gama žiarenia začali na ÚEF SAV v Košiciach už pred mnohými rokmi (prehľad výsledkov pozemných a družicových meraní slnečných vysoko energetických slnečných emisií v ÚEF SAV je v práci *Kudela, 2004*). Na rozdiel od predchádzajúcich meraní slnečného gama žiarenia, robených za účasti ÚEF SAV, pozorovania na družici CORONAS-F viedli k identifikácii niekoľko desiatok prípadov emisií tvrdého rentgenovského resp. gama žiarenia. I keď dráha družice CORONAS-F dáva určité ohraničenie pre pozorovanie vysoko energetických fotónov, najmenej v 13 slnečných erupciách v období august 2001 – december 2003 boli

pozorované emisie gama žiarenia s energiou nad 4 MeV. Medzi nimi najenergetickejšia (z hľadiska vzrastu nad úroveň šumov v kanáloch s najvyššou energiou) bola erupcia 25. augusta 2001. Tiež počas dvoch časových intervalov, diskutovaných v tejto práci, a to 28. októbra a 4. novembra 2003, bolo registrované prístrojom SONG-M gama žiarenie s energiami nad 60 MeV (*Kuznetsov et al., 2004b*) a v jednom z nich tiež slnečné neutróny. Ide o zriedkavé efekty vysokoenergetických neutrónových slnečných emisií.

5. RELATIVISTICKÉ ELEKTRÓNY VONKAJŠIEHO RADIÁČNEHO PÁSU

Radiačné pásy Zeme predstavujú oblasti zemskej magnetosféry, v ktorých sú zemským magnetickým poľom zachytené energetické elektróny a protóny. Rozdeľujeme ich na vnútorný radiačný pás s maximom v rovníkovej rovine vo vzdialenosti asi 1.5 R_E (zemských polomerov) a vonkajší radiačný pás, ktorého maximum je v magneticky kľudnom období vo vzdialenosti ~ 4 R_E . Variácie relativistických elektrónov v ňom veľmi úzko súvisia so slnečnou aktivitou. Počas zvýšenej slnečnej aktivity v čase slnečných erupcií dochádza k inicializácii geomagnetických búrok, počas ktorých dochádza k urýchľovaniu relativistických elektrónov vo vonkajšom radiačnom páse. Tento sa počas týchto búrok priblíži až na vzdialenosť ~2.5 R_E k Zemi, čo môže bezprostredne ovplyvniť život ľudí osobitne v blízkom kozme. Súvislosti medzi geomagnetickými búrkami a dynamikou relativistických elektrónov v radiačných pásoch Zeme je v centre pozornosti výskumu zemskej magnetosféry.

Niektoré slnečné erupcie v opisovanom časovom intervale boli doprevádzané slnečným vetrom s vysokou rýchlosťou. V dôsledku interakcie slnečného vetra so zemskou magnetosférou vzniklo v tomto období niekoľko silných geomagnetických búrok, ktoré sú spájané s urýchľovaním energetických elektrónov vo vonkajšom radiačnom páse Zeme do relativistických energií. Skúmanie tokov relativistických elektrónov zmeraných počas troch extrémne silných magnetických búrok pomocou aparatury MKL na družici CORONAS-F v silne narušenom období október – november 2003 poskytlo niektoré nové informácie o chovaní sa týchto relativistických elektrónov v rôznych fázach jednotlivých magnetických búrok (*Kuznetsov et al., 2004a*). Ide hlavne o posun maxim tokov relativistických elektrónov vonkajšieho radiačného pásu z oblasti $L=4-5$ pred búrkou do oblasti $L \sim 3$. Počas druhej magnetickej búrky 30.10.2003 sa maximum vonkajšieho radiačného pásu posunulo až na veľmi nízku hodnotu $L \sim 2.3$. Zotavovacia fáza trvala niekoľko dní. Počas nej došlo k návratu polohy maxim tokov relativistických elektrónov na hodnoty pred magneticou búrkou. Zistené skutočnosti potvrdzujú, že dynamika relativistických elektrónov vo vonkajšom radiačnom páse Zeme je veľmi silne regulovaná slnečnou aktivitou.

6. ZÁVER

Obdobie október – november 2003 sa vyznačovalo silnou premenlivosťou kozmického žiarenia, energetických nabitých častíc v magnetosfére Zeme a extrémne vysokými emisiami neutrálnych slnečných častíc. Časť týchto pozorovaní, ktoré budú subjektom ďalšej fyzikálnej analýzy, bola získaná na základe družicových a pozemných meraní s účasťou ÚEF SAV v Košiciach.

Pod'akovanie.

Práca je podporovaná Grantovou agentúrou APVT, projekt 0259. Autori ďakujú J.Rojkovi, J.Balážovi a ďalším kolegom za ich práce na návrhu a konštrukcii prístroja SONG-M a kolegom z laboratória ÚEF SAV na Lomnickom Štíte za zabezpečenie nepretržitého merania neutrónovým monitorom.

LITERATÚRA

- Kudela, K.: 2004, "Solar neutron observations: contribution of IEP SAS to the study", v Cosmic Rays and Dark Matter, ed. Y. Muraki, Universal Academy Press, Inc., 93-102.
- Kudela, K., R. Brenkus: 2004, "Cosmic ray decreases and geomagnetic activity: list of events 1982-2002", J. Atmos. Sol. Terr. Physics, 66, 1121-1126.
- Kudela, K., M. Storini: 2004, "Possible tools for space weather issues from cosmic ray continuous records", paper D1.3/E2.4-0054-04, COSPAR2004, Paris, July 18.-25., 2004, submitted to Journal of Advances in Space Res.
- Kuznetsov, S.N., K. Kudela, V.G. Kurt, I.N. Myagkova, B. Yu. Yushkov: 2004a, "High energy neutral emissions from the Sun: indications by SONG/M on CORONAS/F", paper D2.5/E3.5-0064-04, COSPAR2004, Paris, July 18.-25., 2004, submitted to Journal of Advances in Space Res.
- Kuznetsov, S.N., K. Kudela, M.Slivka, L.L.Lazutin, E.A. Murav'eva, I.N. Myagkova, B. Yu. Yushkov: 2004b, "Dynamics of the Earth's Radiation Belts During October-November, 2003", International Symposium on Solar Extreme Events of 2003, July 12-14, 2004, Moscow, Russia, 50, submitted to Journal of Advances in Space Res.
- Kuznetsov, S.N., K. Kudela, I.N. Myagkova, A.N. Podorolsky, S.P. Ryumin, B.Yu. Yushkov: 2004c, "First experience with SONG-M measurements on board CORONAS F satellite", accepted, Indian J. Radio & Space Physics.
- Spurný, F., K. Kudela, T. Dachev: 2004, "Airplane radiation dose decrease during a strong Forbush decrease", Space Weather, American Geophysical Vol. 2, No. 5, S05001, 10.1029/2004SW000074.