

MÔŽEME POZOROVAŤ KOZMICKÚ PLAZMU?

Túžba vidieť „neviditeľné“ už odnepamäti sprevádza človeka na jeho ceste za poznaním, keďže ľudské oko poskytuje len obmedzené informácie o svete, ktorý nás obklopuje. Rozšírenie rozsahu vlnových dĺžok od rádiových vln po gama žiarenie umožnilo astronómom objaviť mnoho vesmírnych objektov, v medicíne zasa röntgenové a gama žiarenie, pozitronová emisia, ultrazvuk a jadrová magnetická rezonancia zobrazujú vnútorné orgány. Zobrazovacie techniky (*imaging*) prenikli aj do kozmickej fyziky, ktorá sa zaoberá vzťahmi Zem – Slnko.

Tu popri slnečnom žiarení významnú úlohu má aj slnečný vietor, ktorý okolo Zeme vytvára komplexný plazmový objekt – *magnetosféru*. Historicky ju ako prvý sonda-val satelit Explorer-1 (1958), k posledným patria štyri satelity misie Cluster európskej kozmickej agentúry ESA (2000) a dva čínsko-európske satelity misie Dvojhviezda (2004). Na satelite TC-2 Dvojhviezdy je inštalovaný aj detektor energetických neutrálnych atómov NUADU (*Neutral Atom Detection Unit*), na vývoji ktorého sa podieľal aj Ústav experimentálnej fyziky SAV v Košiciach (<http://space.saske.sk>).

ČASTICE V MAGNETICKOM POLI

Nabité energetické častice podliehajú v dipólovom magnetickom poli Zeme silovému pôsobeniu, ktoré ich núti vykonávať špirálový pohyb okolo siločiar. Stúpanie tejto špirály je najväčšie na rovníku a zmenšuje sa smerom k pólu až po tzv. zrkadlový bod, kde sa častica odráza a putuje do protihľadného zrkadlového bodu. Takto je v zemskom magnetickom poli uväznené množstvo

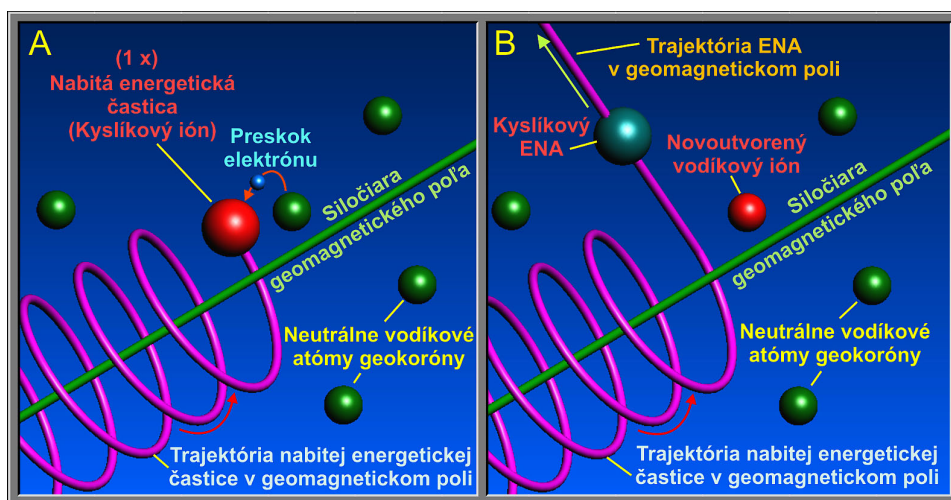
častíc, ktoré tvoria tzv. radiačné pásy. Gradient pola núti častice vykonávať aj driftový pohyb, ktorý posúva kladné ióny z východu na západ a záporné elektróny zo západu na východ. Driftové premiestňovanie elektrického náboja súbežne s magnetickým rovníkom vytvára tzv. prstencový prúd. Ten je zodpovedný za rozvoj magnetických búrok, keďže vytvára magnetické pole pôsobiace proti geomagnetickému poli. Ak pri zvýšení slneč-



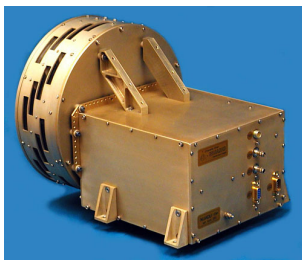
Pohyb nabitých energetickej častice v magnetickom poli Zeme

nej aktivity prenikne do magnetosféry množstvo energetických častíc, nárast prstencového prúdu spôsobí pokles geomagnetického poľa, čo je signál začínajúcej magnetickej búrky. Jej intenzita je úmerná energii prstencového prúdu. Praktickým ukazovateľom je tzv. Dst index (*Disturbance Storm Time index*), ktorý udáva pokles intenzity magnetického poľa na povrchu Zeme. Pri búrke dochádza k značnému nárastu prstencového prúdu v priebe-

hu niekoľkých hodín. Návrat do normálneho stavu trvá viac dní, pričom sa energia prstencového prúdu znižuje interakciami jeho častíc s exosférou a vysypávaním častíc do atmosféry, najmä v polárnych oblastiach. Pri masívnej injekcii častíc mnohé z nich majú zrkadlové body až v atmosfére, sprievodné poruchy magnetického poľa však môžu posunúť do atmosféry aj častice zachytené dávnejšie. Zvýšená radiácia v polárnych oblastiach si niekedy vyžiada



Generovanie ENA v magnetosfére



Detektor energetických neutrálnych atómov NUADU

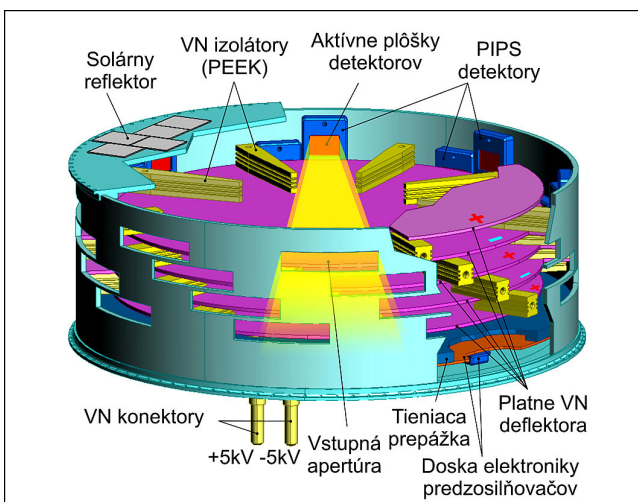
odklon lietadiel, ohrozené sú posádky kozmických lodí aj prístroje satelitov. Zmeny geomagnetického poľa indukujú poruchové napätia a prúdy v energetických sústavách (výpadky energie), diaľkových potrubíach (elektrokorózia), preukázateľný je aj vplyv na zdravie citlivých jedincov. Mimoriadne silná býva aj polárna žiara, ktorá je dôsledkom excitácie atmosférických atómov energetickými časticami.

SONDOVANIE MAGNETOSFÉRY

Súčasná znalosti o štruktúre a dynamike magnetosféry pochádzajú najmä z časticových, magnetických a vlnových meraní satelitmi priamo na mieste (*in situ*), čiže len v bodoch ležiacich na ich orbitách. Takéto „jednorozmerné“ vzorky však na štúdium časovo-priestorovej dynamiky nestačia. Výraznou pomocou je synchronizované meranie viacerými satelitmi a novšia technika detekcie energetických neutrálnych atómov, ktorá umožňuje panoramaticky sledovať rozsiahle oblasti magnetosféry. Energetické neutrálné atómy (ENA) vznikajú z nabitých energetických častíc (iónov) nábojovou

výmenou s neutrálnymi vodíkovými atómami *geokoróny*. Ak totiž nabitá častica preletí blízko pri neutrálnom atóme, môže mu odobrať elektrón, čím sa z nej stane ENA. Elektrón je veľmi ľahkým „pasažierom“, ktorý kinetickú energiu a hybnosť tejto častice takmer nezmení. Zásadná zmena však nastáva v tom, že od okamihu neutralizácie na ňu prestáva pôsobiť magnetické pole, takže ďalej už

častice odklonené, neutrálné atómy, na ktoré elektrické pole nepôsobí, prechádzajú priamo na detektory. Zorné polia detektorov sú vymedzené vstupnými apertúrami a vysokonapäťovými izolátormi tak, aby pokryli elevačný uhol 180° od severného po južný ekliptikálny pól, keďže os rotácie satelitu je kolmá na rovinu ekliptiky. Uhlové rozlíšenie v azimutálnom smere zabezpečuje



Senzorový systém prístroja

letí do hĺbky vesmíru úplne priamočiaro ako lúč svetla. Paralela so svetlom nie je náhodná: tak ako môžeme z diaľky pozorovať objekty vysielajúce fotóny, môže „oko“ citlivé na ENA z diaľky pozorovať plazmu.

Z KONŠTRUKCIE PRÍSTROJA

NUADU registruje ENA pomocou šestnástich polovodičových detektorov. Tie sa do kozmu „pozerajú“ cez úzku štrbinu, medzi stenami ktorej je napätie 10 kV. Zatiaľ čo sú nabit

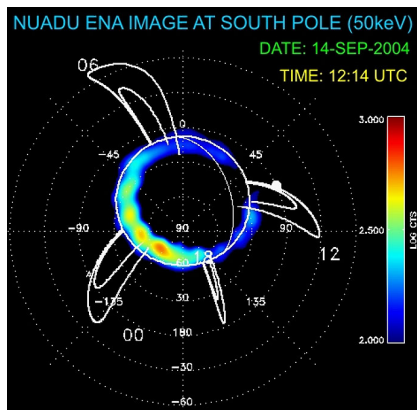
rotácia satelitu. NUADU počas každej obrátky vzorkuje 128-krát, takže celú nebeskú sféru zachytí do 2 048 pixelov. Priestorovú orientáciu snímky zabezpečuje synchronizácia so slnečným senzorom. Na exponovanie slabého toku ENA je prístroj schopný integrovať až 32 otáčok satelitu do jednej snímky. Konštrukčne sa prístroj skladá zo senzorovej hlavy, ktorá vyčnieva z plášte satelitu a bloku elektroniky, ktorý je inštalovaný vnútri. Tieto dve

časti sú teplotne oddelené. Nízkú pracovnú teplotu senzorovej hlavy (-15 °C) zabezpečuje solárny reflektor, ktorý odráža 90 % slnečného žiarenia a zároveň účinne vyžaruje teplo do kozmického pozadia.

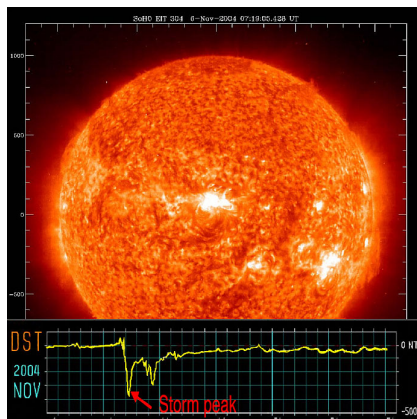
ČAKANIE NA MAGNETICKÚ BÚRKU

NUADU vyniesla na polárnu orbitu čínska raketa Dlhý Pochod 2C v júli 2004. Aj keď šance na magnetické búrky v zostupnej fáze 11-ročného slnečného cyklu sú nižšie, v novembri sa Slnko nečakane rozbúrilo a vyslalo k Zemi deväť mohutných koronálnych výronov, čím vyvolalo silnú magnetickú búrku s Dst indexom -373 nanotesla. Vznášajúce fyzikálne dáta zaznamenalo 60 vedeckých prístrojov flotily Cluster – Dvojhviezda vrátane imagera NUADU, ktorý poskytol zreteľné ENA snímky vývoja prstencového prúdu. Tie zachytil aj americký satelit IMAGE, čím došlo k historicky prvému snímkovaniu prstencového prúdu dvoma ENA imagermi z rôznych uhlov. Vďaka kooperácii medzi projektmi sa dáta týchto dvoch imagerov paralelne spracovávajú, takže animované 3D-zobrazenia prstencového prúdu by už mali byť čoskoro na svete. Na „stereo“ ENA-snímky sa do kozmu chystajú dva americké satelity projektu TWINS, rovnaký zámer má aj čínsky projekt Kua-Fu. Význam a úspechy misie Cluster a Dvojhviezda viedli k nedávnomu schváleniu ich predĺženia v ESA a čínskej kozmickej agentúre CNSA.

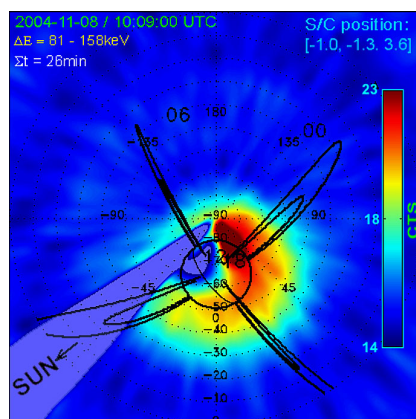
■ JÁN BALÁŽ



ENA emitované zo zrkadlových bodov nad Antarktídou



Mimoriadne rozbúrené Slnko a Dst index v novembri 2004



Prstencový prúd zaznamenaný NUADU počas magnetickej búrky 8. 11. 2004