

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Zoltán Vörös

Tranzientné nárazové vlny v heliosfére a vzťahy Slnko - Zem

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 35 (1990), No. 2, 76--84,85

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/139266>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1990

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



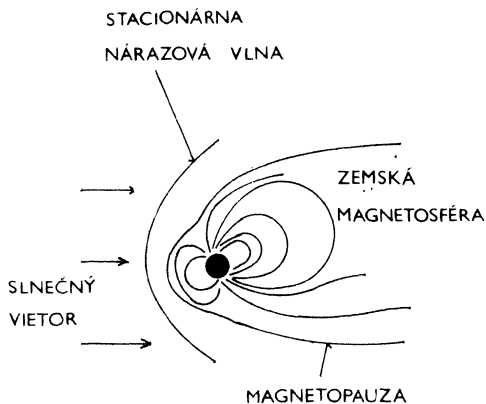
This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

Tranzientné nárazové vlny v heliosfére a vzťahy Slnko – Zem

Zoltán Vörös, Hurbanovo

1. Úvod

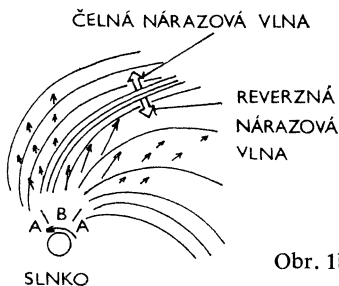
V ostatnom období podstatne vzrástol záujem fyzikov a technikov pracujúcich v oblasti výskumu laboratórnej plazmy, jadrovej energetiky, astrofyziky a fyziky vysokoenergetických procesov o tzv. nárazové vlny. Všetky druhy silných, veľkorozmerových nárazových vln, ktoré sa vyskytujú vo vnútri slnečnej sústavy, sú generované buď stálou expanziou slnečnej koróny pokojného Slnka, alebo explóziami v aktívnych oblastiach na Slnku.



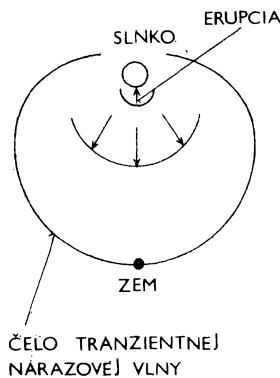
Obr. 1. Schematické znázornenie rôznych druhov nárazových vln v slnečnej sústave
a – Stacionárne nárazové vlny
b – Korotujúce nárazové vlny
c – Tranzientné nárazové vlny (koronálne a medziplanetárne)

Obr. 1a.

A - POMALÝ SLNEČNÝ VIETOR
B - RÝCHLY SLNEČNÝ VIETOR



Obr. 1b.



Obr. 1c.

RNDr. ZOLTÁN VÖRÖS (1959) je pracovníkem Geomagnetického observatoria Geofyzikálního ústavu SAV (947 01 Hurbanovo).

Stacionárne nárazové vlny vznikajú interakciou superalfvénovského toku plazmy pokojného slnečného vetra a veľkorozmerovej prekážky – planéty alebo kométy. V prípade Zeme (obr. 1a) sa nárazová vlna vytvára vo vzdialenosti 12–15 zemských polomerov. Geomagnetosféra je na dennej strane stlačená (jej hrúbka je ~ 10 zemských polomerov) a na nočnej strane sú magnetické siločiarly unášané na veľké vzdialenosti (\sim na 1000 zemských polomerov) a vytvárajú tzv. magnetosferický chvost. Magnetosféru od stacionárnej nárazovej vlny oddeľuje turbulentná prechodová oblasť, z ktorej slnečná plazma sa môže priamo dostávať do magnetosféry a vyvolať zložitú postupnosť fyzikálnych procesov napr. geomagnetické poruchy rôznej intenzity.

Sústava korotujúcich (čelných a reverzných) nárazových vln (obr. 1b) je výsledkom interakcie rekurentných vysokorýchlostných prúdov (vytekajúcich z izolovaných oblastí Slnka s rýchlosťami $400\text{--}800\text{ km s}^{-1}$ vo vzdialenosti 1 AU) s pomalšími plazmovými štruktúrami v medziplanetárnom priestore, kde vysoká elektrická vodivosť zabraňuje vzájomnému ich prenikaniu. Takáto sústava sa pohybuje v medziplanetárnom priestore smerom od Slnka. Vysokorýchlostné prúdy slnečného vetra sa bežne pozorujú aj v prípade pokojného Slnka, a to ako rekurentná postupnosť.

Tranzientné nárazové vlny (obr. 1c) sú spojené s aktívnymi oblasťami na povrchu a v atmosfére Slnka a hlavne so slnečnými erupciami, protuberanciami a výronmi hmoty. Rýchlo rozpínajúca sa erupčná hmota ($500\text{--}2000\text{ km s}^{-1}$) stláča plazmu pomalšieho slnečného vetra a obyčajne na prednom okraji stlačenej plazmovej vrstvy sa formuje čelo bezzrážkovej nárazovej vlny, ktoré za vhodných podmienok putuje do medziplanetárneho priestoru; vo vzdialenosti 1 AU ju pozorujeme ako nárazovú vlnu vyvolávajúcu geomagnetické búrky.

2. Slnečné erupcie z hľadiska fyziky vzťahov Slnko—Zem

Slnečné erupcie sú najdramatickejším a najenergetickejším prejavom krátkodobej slnečnej aktivity, ktoré majú veľmi rozsiahle efekty v slnečnej sústave. Celková energia uvoľnená počas jednej silnej erupcie môže dosiahnuť hodnotu $\sim 10^{25}$ J, pričom teplota koróny vzrastie na 10^7 K. Maximálna energia pozorovaných častíc dosahuje hodnoty niekoľko MeV, pri mohutných erupciách 1–20 GeV. Produkuje sa krátkodobé elektromagnetické žiarenie v širokom rozsahu vlnových dĺžok, od gama žiarenia ($\lambda \sim 2 \cdot 10^{-13}$ m), častejšie od tvrdého röntgenového žiarenia ($\lambda \sim 10^{-11}$ m) do kilometrových rádiových vln ($\lambda \sim 10^4$ m). Elektromagnetické žiarenie a energetické častice erupcií, ako aj rôzne výrony plazmového materiálu a nárazové vlny pri vhodných geometrických a energetických podmienkach môžu dosiahnuť oblasť Zeme a vyprodukovať širokú paletu efektov, ako napr. geomagnetické búrky, náhle ionosferické poruchy, protónové spršky, polárne žiare atď. V tab. I vidíme typické hodnoty vyžiarenej energie charakteristickej pre jednotlivé deje v prípade silných a slabých erupcií, ako aj očakávané magnetosferické a ionosferické poruchy. Je vidieť, že koronálne výrony plazmovej hmoty a s nimi často spojené nárazové vlny sú najenergetickejšie dynamické útvary počas slnečných erupcií, a preto očakávame, že budú najviac geoefektívne. To je príčinou zvýšeného záujmu geofyzikov o medziplanetárne nárazové vlny.

Tab. I. Energetika slnečných erupcií a zodpovedajúce magnetosferické a ionosferické efekty

SPÔSOB UVOĽŇOVANIA SA ENERGIE	ERUPCIA		MAGNETOSFERICKÁ ALEBO IONOSFERICKÁ PORUCHA
	SILNÁ E [J]	SLABÁ E [J]	
ŽIARENIE			
gama	$(3 \div 5) \cdot 10^{18}$	—	} Rýchle ionosferické poruchy, geomagnetické háčiky
tvrdé rtg	$(3 \div 5) \cdot 10^{19}$	$(3 \div 5) \cdot 10^{17}$	
mäkké rtg	$\sim 10^{24}$	$\sim 10^{22}$	
UV	$(3 \div 5) \cdot 10^{24}$	$(3 \div 5) \cdot 10^{22}$	
v čiare H_{α}	$\sim 10^{23}$	$\sim 10^{19}$	
optické spojité	$2 \cdot 10^{23}$	$\sim 10^{23}$	
radio	$\sim 10^{17}$	$\sim 10^{15}$	
ENERGETICKÉ ČASTICE			
elektróny > 20 [keV]	$\sim 10^{22}$	$\sim 10^{20}$	} Magnetosferické a ionosferické poruchy
> 40 [keV]	$4 \cdot 10^{19}$	$3 \cdot 10^{18}$	
protóny > 10 [MeV]	$2 \cdot 10^{24}$	—	
slnečné kozmické žiarenie $1 \div 30$ [MeV]	$3 \cdot 10^{24}$	—	
KORONÁLNE TRANZIENTY A PLAZMOVÉ OBLAKY	$\sim 10^{25}$?	Geomagnetické búrky
NÁRAZOVÉ VLNY	$\sim 10^{25}$	10^{23}	Náhly začiatok geom. búrky
SPOLU	$(1 \div 3) \cdot 10^{25}$	$(1 \div 3) \cdot 10^{23}$	

Sledovať a vysvetliť javy spojené so vznikom a evolúciou bezzrážkových nárazových vln nie je ľahké z viacerých dôvodov. Zatiaľ nie je dostatočne známe, aké sú špecifické vlastnosti slnečných erupcií, ktoré sú zodpovedné za medziplanetárne nárazové vlny. Koronálne a medziplanetárne prostredie, ktorým sa šíria tieto diskontinuity, nie je ani za pokojných podmienok zďaleka homogénne a izotropné. Značná časť javov je spojená s efektom mohutnej erupcie v tom zmysle, že energetickejšie explózie sú doprevádzané pestrejšou paletou sekundárnych efektov. Najst medzi nimi kauzálne vzťahy je veľmi ťažké, hlavne v období maximálnej slnečnej aktivity. Pomocou observačnej techniky z povrchu Zeme a na palubách kozmických sond získavame väčšinou informácie len z okolia roviny ekliptiky.

Napriek týmto ťažkostiam sa dosiahli značné úspechy. Z hľadiska slnečno-zemskej fyziky sa hľadajú odpovede na niektoré otázky, ktoré môžeme formulovať takto:

- Aké sú počiatočné fyzikálne podmienky generovania nárazových vln a vlastnosti geoeftívnych erupčných oblastí?
- Aká je štruktúra a intenzita medziplanetárneho magnetického poľa, aké sú fyzikálne vlastnosti slnečného vetra, cez ktorý sa šíria spomínané poruchy?
- Kedy začína zodpovedajúca geomagnetická alebo ionosferická porucha?
- Od čoho závisí intenzita a trvanie geomagnetickej búrky?

3. Mechanizmus vzniku a šírenia koronálnych nárazových vln

Doteraz väčšina popisov erupčných mechanizmov je skôr heuristického alebo semi-quantitatívneho charakteru [1]. Napriek tomu z fyzikálneho hľadiska možno v princípe rozdeliť všetky väčšie erupčné procesy na tri časové intervaly [2]:

V začiatočnej, pomerne dlhej fáze (s trvaním niekoľko hodín) sa zmení topológia magnetických siločiar vo vrchnej chromosfére a vnútornej koróne napr. v dôsledku pohybu podfotosférického plazmového materiálu. Magnetické polia opačnej polarity sa navzájom stláčajú a vytvorí sa tzv. prúdová vrstva, v ktorej sa v dôsledku vysokej vodivosti slnečnej plazmy nahromadí magnetická energia. Počas tohto kváziustáleného stavu pomalé zmeny magnetického poľa ešte negenerujú koronálne nárazové vlny (KNV).

V druhej fáze – fáza vzplanutia (s trvaním 1–60 s) – plazmová nestabilita (napr. tepelná alebo turbulentná) v prúdovej vrstve spôsobuje vzrast magnetickej difúzie, v dôsledku čoho dôjde „k anihilácii poľa“, t. j. k náhlej premene magnetickej energie na kinetickú a tepelnú energiu. Elektróny urýchlené elektrickým poľom prúdovej vrstvy môžu vyprodukovať mikrovlnové rádiové žiarenie (gyrosynchrotrónové), ďalej emisiu tvrdého röntgenového žiarenia (brzdné žiarenie), ktoré potom môžu vyvolať náhle ionosferické poruchy v atmosfére Zeme, ktoré sa na magnetogramoch objavia ako geomagnetické háčiky. Vo fáze vzplanutia erupcie môže dôjsť ku vzniku KNV viacerými spôsobmi. Jedna z možných alternatív je impulzívna rekonexia magnetických siločiar v prúdovej vrstve [3], ďalšia náhle ohrievanie chromosferických vrstiev urýchlenými netermálnymi elektrónami [4].

V tretej tepelnej fáze erupcie (s trvaním niekoľko hodín, je úmerné trvaníu mäkkého X-žiarenia) kontinuálne prebiehajúca magnetická rekonexia ohrieva koronálne oblasti na vysokú teplotu, preto často podľa terminológie teórie podobnosti KNV nemá charakter čistej explozívnej vlny (blast wave), ale skôr poháňanej (driven wave), ktorá je charakterizovaná zväčšovaním hustoty, rýchlosti toku a teploty po jej prechode. V tejto fáze pravdepodobnosť vzniku ďalšej KNV je zanedbateľná.

Z uvedeného modelu vyplýva, že explózia prúdovej vrstvy vo fáze vzplanutia erupcie je hlavnou príčinou náhleho uvoľňovania energie a vzniku KNV, pričom topológia magnetického poľa má zásadný význam.

Bolo by žiadúce natoľko poznať špecifické vlastnosti slnečných erupcií, aby sme hneď po ich výskyte mohli predpovedať, či geomagnetická búrka je pravdepodobná, alebo nie. Vzhľadom na to, že merania „in situ“ v chromosfére alebo v koróne nemôžeme vykonať, musíme prostredníctvom iných, sekundárnych fyzikálnych procesov zaregistrovaných

v medziplanetárnom priestore alebo na povrchu Zeme získať potrebné informácie. Takéto sekundárne zdroje informácií sú už spomenuté zložky elektromagnetického žiarenia a prúdy vysokoenergetických častíc.

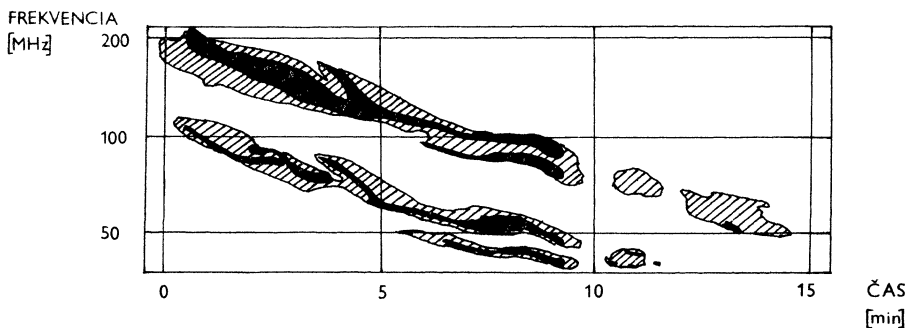
V rade prác bolo ukázané, že slnečné erupcie sprevádzané rádiovými vzplanutiami typu II a IV [5], [6] a dlhotrvajúcim mäkkým X-žiarením [7] veľmi dobre korelujú s medziplanetárnymi nárazovými vlnami, ktoré spôsobujú náhly začiatok geomagnetických búrok a Forbusových poklesov galaktického kozmického žiarenia [8].

Rádiové vzplanutia typu IV dávajú priame svedectvo o stacionárnych alebo pohybujúcich sa oblakoch plazmy ejektovaných slnečnou erupciou. Nestacionárne plazmové oblaky majú rýchlosť rádovo niekoľko 100 km s^{-1} a v poslednej fáze svojho vývoja sa vyznačujú veľkým stupňom polarizácie. To poukazuje na synchrotrónnu radiáciu relatívne nízkoenergetických elektrónov ($\sim 100 \text{ keV}$) a prítomnosť silného magnetického poľa ($\sim 3 \cdot 10^{-4} \text{ T}$) vo vzdialenosti (4–6) R_{\odot} od povrchu Slnka. Alternatívna možnosť je načrtnutá v práci [9], podľa ktorej mechanizmus vzplanutia typu IV súvisí s plazmovými osciláciami.

Je všeobecne prijatý názor, že rádiové vzplanutie typu II svedčí o prechode nárazovej vlny cez korónu [10], [11]. Na spektrografických záznamoch rádiové vzplanutia typu II sú charakterizované pomalým driftom frekvencie, ako to ukazuje obr. 2. Tento drift frekvencie sa vysvetľuje tým, že nárazová vlna sa pohybuje hore do koróny z hustejších vrstiev, pričom sa urýchľujú elektróny približne do 10 keV a generujú sa Langmuirove vlny. Podľa plazmovej hypotézy, v zodpovedajúcej výške slnečnej atmosféry sa pri prechode nárazového frontu emituje rádiové žiarenie typu II.

Zo známeho frekvenčného driftu $\partial f/\partial t$ a zvoleného modelu elektrónovej hustoty koróny $N(R)$ môžeme určiť rýchlosť KNV [12]

$$v_{\text{KNV}} \sim \frac{2}{f \cdot |\text{grad } N|} \cdot N \cdot \frac{\partial f}{\partial t} \quad [\text{km s}^{-1}]$$

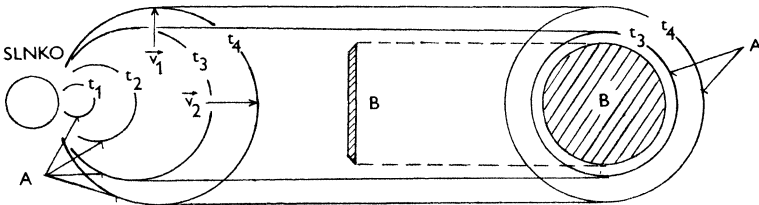


Obr. 2. Dynamické spektrum (frekvenčný drift) rádiového vzplanutia typu II — 21. nov. 1952 [12].

Zatiaľ neexistuje ucelený fyzikálny výklad mechanizmu generovania, ktorý by zahrňoval všetky experimentálne získané výsledky a charakteristiky rádiového vzplanutia typu II. Nevyriešeným problémom je napr. vplyv hustotnej štruktúry a lokálnych nehomogenít koróny na dynamiku šírenia KNV.

V súčasnosti objasnenie tohoto problému nadobudlo ešte väčší význam s objavom tzv. koronálnych tranzientnych úkazov (Coronal Mass Ejections), pretože sa zistilo, že tieto veľkorozmerové výrony plazmového materiálu často súvisia s erupciami, ale aj aktívnymi protuberanciami. Majú rozhodujúci vplyv na hustotu koronálneho plazmového materiálu, na energetiku a štruktúru koronálnych magnetických polí, a možno, že aj na samotnú spúšťiacu nestabilitu prúdovej vrstvy [13].

Koronálne tranzienty sú rýchle ejeckcie zmagnetizovanej plazmy ($300\text{--}1200\text{ km s}^{-1}$) do slnečnej koróny, viditeľné v bielom svetle (obr. 3 na poslednej stránke kriedovej prílohy), o hmotnosti $\sim 2 \cdot 10^{13}\text{ kg}$ a celkovej energii až $\sim 10^{25}\text{ J}$ [14]. Vzhľadom na to, že charakteristická rýchlosť, ktorou sa šíria magnetohydrodynamické vlny v nižšej koróne (Alfvénova rýchlosť), je $400\text{--}500\text{ km s}^{-1}$, sa na čele rýchlych tranzientov ($>500\text{ km s}^{-1}$) môžu objaviť „piestom“ (tranzientom) poháňané nárazové vlny [15], [16]. Z tohto hľadiska je potrebné si premyslieť, čo je prvotnou príčinou generovania KNV, či slnečná erupcia, alebo koronálny tranzient [17]? Mnohí sa pokúsili tento problém riešiť priamym porovnaním zdrojov rádiového žiarenia typu II, teda nárazového frontu, s polohou koronálneho tranzientu [18]. Protichodnosť výsledkov však ukazuje na veľkú zložitosť problému. Tá časť koróny, ktorú môžeme fotografovať v bielom svetle pomocou koronografu umiestnených na rôznych družiciach (Skylab, P78-1, SMM), je veľmi obmedzená a často sa nekryje s miestom rádiového metrovej emisie typu II. Nepoznáme ani presnú geometrickú štruktúru koronálnych tranzientov (či sa podobajú na oblúky, alebo na bubliny?) a koronografy zaznamenávajú len ich priemet do roviny prístroja (obr. 4). Takto sa môže stať, že front nárazovej vlny sa objavuje tam (napr. na čele koronálneho tranzientu), kde v skutočnosti nie je. Podľa plazmovej hypotézy na lokalizáciu nárazového frontu pomocou rádiového emisie si potrebujeme zvoliť hustotný model koróny [19]. Vierohodnosť tohoto modelu je veľmi obmedzená vzhľadom na zvýšenú hustotu koróny počas koronálneho výronu plazmy. Na rozdiel od „školského prípadu“ (obr. 2) vzplanutia typu II, spojené s koronálnymi tranzientmi, sú komplexnejšie a intenzívnejšie, často zamaskované s metrovou emisiou typu IV [20], ktorého zdrojom sú najhustejšie časti koronálneho plazmového oblaku.



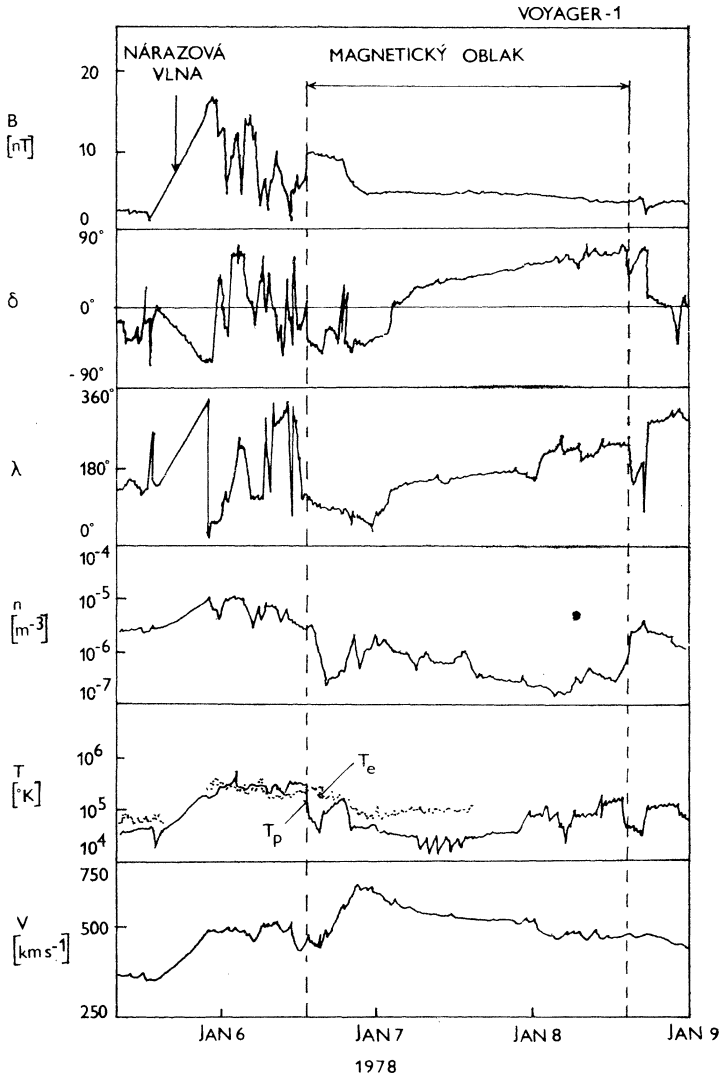
Obr. 4. Priemet koronálneho tranzientu do roviny prístroja koronografu

- A — front koronálneho tranzientu v atmosfére Slnka v čase t_1, t_2, t_3, t_4
- A' — priemet koronálneho tranzientu do roviny prístroja
- v_1 — nameraná radiálna rýchlosť
- v_2 — frontálna rýchlosť (vo všeobecnosti $|v_1| \neq |v_2|$)
- B — clona koronografu

4. Medziplanetárne nárazové vlny a porušenosť geomagnetického poľa

Vo všeobecnosti sa nedá určiť hranica, kedy a kde sa KNV zmení na medziplanetárnu nárazovú vlnu (MNV). KNV sú často poháňané, t. j. „kontrolované“ samotnou erupciou alebo plazmovým piestom, a preto v začiatkovej fáze svôjho vývoja môžu byť urýchľované [21], spomaľované [22], alebo môžu mať zhruba konštantnú rýchlosť danú frekvenčným driftom rádiového vzplanutia typu II [23].

Dynamika evolúcie MNV je daná počiatočnými podmienkami, t. j. parametrami KNV [24], ale aj interakciou so slnečným vetrom a medziplanetárnym magnetickým poľom



Obr. 5. Parametre slnečného vetra namerané kozmickou sondou Voyager-1 v slnečno-heliografickej sústave súradníc [26]

[5]. MNV podobne ako KNV sú registrovateľné na základe rádiovkej emisie typu II (<20 MHz), pričom detekčné zariadenie musí byť umiestnené mimo zemskej ionosféry [25].

Na základe meraní vykonaných v medziplanetárnom priestore môžeme konštatovať, že prechod MNV registrovaný prístrojmi na kozmických sondách, sa prejaví ako náhly skok v parametroch slnečného vetra a medziplanetárneho magnetického poľa (obr. 5) [26]. Takéto priame merania majú veľký význam, pretože predstavujú chýbajúci článok medzi slnečnou a zemskou aktivitou.

Z hľadiska predpovede náhlych začiatkov geomagnetických búrok je rýchlosť MNV dôležitým parametrom. Už prvé priame pozorovania MNV na kozmických sondách poukázali na to, že je nárazová vlna, počas jej šírenia sa od Slnka, silne spomaľovaná. Ukázalo sa, že spomaľovanie je úmerné druhej mocnine rýchlosti KNV [27]. Ďalej sa získala závislosť medzi priemernou rýchlosťou MNV (v súradnicovej sústave slnečného vetra) a energiou vyžiarenou v oblasti mäkkého X-žiarenia [28]. Bol odvodený aj regresný vzťah medzi rýchlosťou slnečného vetra (MNV – ako porucha v slnečnom vetre) a celkovou úrovňou geomagnetickej aktivity (ΣK_p index) [29], pričom sa ukazuje rozhodujúci význam južnej orientácie severo-južnej zložky medziplanetárneho magnetického poľa [30]. Autor práce [31] zistil závislosť medzi priemernými rýchlosťami MNV (na vzdialenosti Slnko – Zem) a amplitúdami geomagnetických búrok (H -zložky), obr. 6.

Z horeuvedených faktov jednoznačne vyplýva, že existuje kvalitatívny, ale aj kvantitatívny vzťah medzi parametrami slnečnej aktivity, KNV, MNV a porušenosťou zemského magnetického poľa. Na kvantitatívne vyjadrenie geomagnetickej porušenia sa zaviedol tzv. energetický parameter [32]:

$$\varepsilon = v_{sv} \cdot B^2 \cdot \sin^4 \frac{\Theta}{2} \cdot (7R_z)^2 ,$$

kde

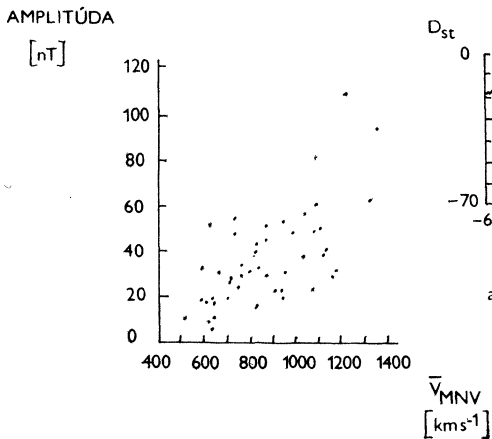
$$\Theta = \arctg \left| \frac{B_y}{B_z} \right| , \quad \text{pri } B_z > 0 , \quad \Theta = 180^\circ - \arctg \left| \frac{B_y}{B_z} \right| , \quad \text{pri } B_z < 0 ,$$

R_z – polomer Zeme ,

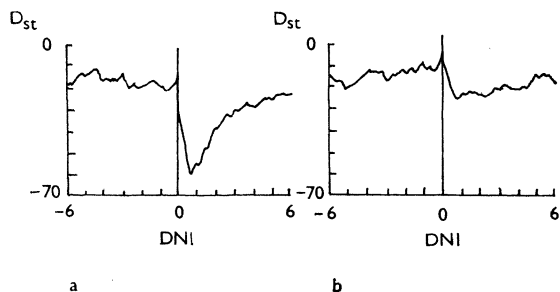
v_{sv} – rýchlosť slnečného vetra ,

B_y, B_z – zložky medziplanetárneho magnetického poľa .

Tento parameter však neobsahuje všetky z hľadiska geoaktivity zaujímavé charakteristiky slnečného vetra, medziplanetárnych porúch a MNV. Na to, aby sme si to uvedomili, stačí sa nám vrátiť k obr. 5 [26]. Kozmická sonda Voyager-1 zaregistrovala prechod frontu MNV koncom 5. januára 1978, keď sa skokovite zmenili hodnoty intenzity B , smeru (δ, λ) magnetického poľa, hustoty n , elektrónovej T_e , protónovej teploty T_p a rýchlosti v . Hneď po nárazovom fronte nasledovala silne turbulentná oblasť a potom časť označená ako magnetický oblak, čo pravdepodobne bol pozostatok koronálneho plazmového piestu (koronálny tranzient?; magnetický plazmový oblak zodpovedajúci rádiovému žiareniu typu IV?) v medziplanetárnom priestore. Na základe meraní vykonaných pomocou kozmických sond Helios 1, 2; Voyager 1, 2 v práci [26] sa zistilo, že vo vnútri magnetického oblaku rýchlosť plazmového materiálu bola vyššia, hustota a teplota bola nižšia ako zodpovedajúce hodnoty okolitého neporušeného slnečného



Obr. 6. Závislosť amplitúdy náhleho počiatku geomagnetickej búrky od priemernej rýchlosti medziplanetárnej nárazovej vlny [7]



Obr. 7. Závislosť amplitúdy geomagnetických indexov D_{st} od výskytu He^{++} po fronte nárazových vln, získaná metódou superpozície epoch [33].

- a — 43 nárazových vln so zvýšeným výskytom He^{++}
- b — 48 nárazových vln bez zvýšeného výskytu He^{++}

vetra. Vzhľadom na veľkú hodnotu vnútorného magnetického tlaku ($1/4\pi B^2$) sa oblak vo vzdialenosti 2 AU ešte stále rozširoval, mal radiálny rozmer $\sim 0,5$ AU a azimutálny $> 30^\circ$. Navyše sa ešte zistilo, že podobné plazmové oblaky so zvýšeným výskytom He^{++} (pomer $\text{He}^{++}/\text{H} \geq 8$) sú spojené so silnejšími nárazovými vlnami a indukujú mohutnejšie geomagnetické poruchy (obr. 7a, b) [33].

Opísať interakciu zemskej magnetosféry s MNV a veľkorozmerovým magnetickým oblakom so zložitou štruktúrou vnútorného magnetického poľa a ďalších parametrov je veľmi ťažké [34]. Korelácia týchto parametrov s rôznymi indexami geomagnetickej aktivity je odlišná, čo znamená, že nie všetky parametre MNV a za nimi nasledujúce plazmové útvary sú rovnako geoaktívne.

Tieto výsledky však jednoznačne ukazujú, že v systéme Slnko – medziplanetárny priestor – Zem sa prenos energie viaže na parametre porušeného slnečného vetra, a to nielen na kinetické, ale aj magnetické a chemické (napr. zvýšený výskyt He^{++}).

Z geofyzikálneho aspektu je zvlášť pozoruhodné, že magnetosferická aktivita sa kontroluje predovšetkým energiou slnečného vetra, ktorá je vnášaná do magnetosféry a nielen jej vnútornými charakteristikami, ako sa dlhší čas predpokladalo [35].

5. Záver

V tomto článku je podaný stručný prehľad o niektorých aktuálnych problémoch kinetiky slnečných tranzientnych koronálnych a medziplanetárnych nárazových vln. Pochopenie vlastností ich šírenia v slnečnej koróne a medziplanetárnom prostredí sa ukazuje ako účinný prostriedok na predpovedanie náhleho začiatku a intenzity geomagnetických búrok.

Pre ďalší rozvoj fyziky nárazových vln, ale aj fyziky vzťahov Slnko – Zem je dôležité sa v budúcnosti zamerať na dôsledné sledovanie rýchlych zmien vlastností plazmy a mag-

netického poľa v aktívnych oblastiach Slnka, v medziplanetárnom priestore (aj mimo roviny ekliptiky) a na hranici magnetosféry Zeme. Meranie a analýza týchto rýchlych zmien by nám umožnili získať ďalšie cenné informácie o mechanizme vzniku koronálnych a okolozemských nárazových vln, ako aj o štruktúre magnetosféry Zeme a nielen jej.

POĎAKOVANIE

Ďakujem RNDr. Bohuslavu Lukáčovi, Csc., zo SÚAA Hurbanovo za rad pripomienok, ktorými prispel k zlepšeniu tejto práce.

Literatúra

- [1] KŘIVSKÝ, L.: Solar proton flares and their prediction, ČSAV, Astr. Inst. N. 52, (1977), Prague.
- [2] SOMOV, B. V., SPEKTOR, A. R.: Space Sci. Rev. 32 (1982), 27.
- [3] SYROVATSKII, S. I.: Bull. Acad. Sci. USSR; Phys. Ser; 43 (1979), 695.
- [4] SOMOV, B. V., SYROVATSKII, S. I.: IAU Symp. 91 (1979), 487.
- [5] HUNDHAUSEN, A. J.: *Coronal Expansion and Solar Wind*. Springer, (1972), New York.
- [6] PINTÉR, Š.: BAC 23 (1972), 69.
- [7] CANE, H. V.: J. Geophys. Res. 90 (1985), 191.
- [8] PINTÉR, Š.: Nuovo Cimento 7 (1984), 223.
- [9] DULK, G. A. et al.: Solar Physics 49 (1976), 369.
- [10] WILD, J. P. et al.: Ann. Rev. Astr. and Astrophys. 1 (1963), 291.
- [11] WILD, J. P., SMERD, S. F.: Ann. Rev. Astr. and Astrophys. 10 (1972), 159.
- [12] ŽELEZNIKOV, V. V.: *Radioizlučenie Solnca i Planet*. Nauka (1964), Moskva.
- [13] SIMNETT, G. M., HARRISON, R. A.: Solar Physics 99 (1985), 291.
- [14] WAGNER, W. J.: Ann. Rev. Astrophys. 22 (1984), 267.
- [15] GOSLING, J. T. et al.: Solar Physics 48 (1976), 389.
- [16] MAXWELL, A., DRYER, M.: Space Sci. Rev. 32 (1982), 11.
- [17] KAHLER, S. W. et al.: J. Geophys. Res. 90 (1985), 177.
- [18] ROBINSON, R. D.: SOLAR Physics 95 (1985), 343.
- [19] DRYER, M., MAXWELL, A.: Astrophys. J. 231 (1979), 945.
- [20] ROBINSON, R. D.: Solar Physics 104 (1986), 33.
- [21] WOO, R. et al.: J. Geophys. Res. 90 (1985), 154.
- [22] KARLICKÝ, M. et al.: BAC 33 (1982), 72.
- [23] SMART, D. F., SHEA, M. A.: J. Geophys. Res. 90 (1985), 183.
- [24] PINTÉR, Š.: NATURE Phys. Sci. 243 (1973), 96.
- [25] MALITSON, H. H. et al.: Astrophys. J. 183 (1973), L 35.
- [26] BURLAGA, L. et al.: NASA TM 82086. Goddard SFC, (1981), Greenbelt.
- [27] LUBIMOV, G. P.: Astron. Tsirkuliar USSR 488 (1968), 4.
- [28] PINTÉR, Š., DRYER, M.: Astrophys. and Space Sci. 116 (1985), 51.
- [29] SNYDER, C. W. et al.: J. Geophys. Res. 68 (1963), 6361.
- [30] PRIGANCOVÁ, A.: Phys. Solariterr. 12 (1980), 19.
- [31] CANE, H. V., STONE, R. G.: Astrophys. J. 282 (1984), 339.
- [32] PERREAULT, P., AKASOFU, I. S.: Geophys. J. R. Astr. Soc. 54 (1978), 547.
- [33] BORRINI, G. et al.: J. Geophys. Res. 87 (1982), 4365.
- [34] GRIB, S. A.: Space Sci. Rev. 32 (1982), 43.
- [35] PRIGANCOVÁ, A.: *Zborník referátov zo 6. celoštát. slnečného seminára*. Adamov (1982), 212, SÚAA Hurbanovo.
- [36] SHEELEY, N. R. et al.: J. Geophys. Res. 90 (1985), 163.
- [37] BRUZEK, A. a kol.: *Ilustrovaný slovník termínov slnečnej a slnečno-zemskej fyziky (1983) SÚAA Hurbanovo*.