

Sektorová struktura slunečního magnetického pole a vývoj aktivních oblastí.

*V. Bumba, Astronomický ústav Akademie věd České republiky,
observatoř Ondřejov, Česká republika, bumba @asu.cas.cz
M. Klvaňa, Astronomický ústav Akademie věd České republiky,
observatoř Ondřejov, Česká republika, mklvana @asu.cas.cz*

Abstrakt

V létě roku 1991 sluneční globální magnetické pole reprezentovalo téměř dokonalý dipol, který se během tohoto a první poloviny následujícího roku 1992 změnil v kvadrupol.

V minulosti jsme pozorovali a studovali poměrně podrobně vývoj několika komplexů aktivity a jejich aktivních oblastí, které se vyvinuly v maximálních fázích vývoje jednotlivých dílčích struktur tohoto pole - hlavních a vedlejších aktivních délek. Nyní se zajímáme také o vztah jejich lokálních magnetických a rychlostních polí k poli globálnímu. V souvislosti s předchozím studiem pravidelností ve vývoji sluneční aktivity se snažíme najít i charakteristické známky vývoje globálního magnetického pole ve vztahu k aktivním délkám. Zajímá nás následný rozpad tohoto globálního pole do jednotlivých sektorů. Jejich evoluce se pak odráží ve vzniku lokálních aktivit, zasahujících v dané oblasti heliografických délek celou sluneční atmosféru i heliosféru.

Kromě toho se snažíme nalézt charakteristickou konfiguraci magnetických polí v obdobích a místech maximálních a minimálních aktivit.

1. ÚVOD

V poslední době se ve sluneční fyzice nakupila už poměrně dlouhá řada systematicky prováděných magnetických i jiných měření, získávaných moderními přístroji, takže stojí za to zpracovávat tato data různými statistickými metodami a hledat pravidelnosti, zejména určitou periodicitu, v jejich časovém výskytu nebo prostorovém rozložení. Málokdo se ale zabývá dynamikou vývoje těchto pravidelností, sledováním jejich časového i prostorového vývoje, protože to je podstatně pracnější, a pozorovací data nejsou pro taková zpracování přímo připravena. Snažíme se proto tímto způsobem sluneční aktivitu studovat.

Při tom nám jde také i o nalezení vazeb mezi globálním a lokálními magnetickými, rychlostními poli a aktivitou. Zatím jsme se podrobně zabývali velkými, komplexními, rychle se rozvíjejícími aktivními oblastmi, představujícími většinou maximální fázi vývoje komplexu aktivity (Bumba et al., 1993, 1995, 1996a, b). Pro tyto práce jsme vycházeli z vlastních pozorování zejména fotoelektrickým magnetografem, z pozorování Heliiofyzikální observatoře v Debrecínu a používali jsme data ze Solar-Geophysical Data prompt reports z NOAA.

Nyní bychom chtěli podrobněji studovat časový vývoj globálního rozložení slunečního magnetického

pole a současně i lokálních aktivit, zatím v kratším časovém úseku dvou let 1991 a 1992, jejichž dílčí aktivitou jsme se zatím nejvíce zabývali. Chtěli bychom k tomu využít i dosud publikovaných řad magnetických dat z observatoří Kitt Peak, Wilcoxovy observatoře a družice SOHO.

2. CELKOVÉ MAGNETICKÉ POLE BĚHEM LET 1991 A 1992

Rozložení pozadového i lokálních magnetických polí a aktivity se v druhé polovině tohoto časového období rychle a podstatně změnilo. Během léta a podzimu roku 1991 byl charakter tohoto rozložení bipolární, ale v roce 1992 už existovaly tři aktivní délky (to znamená prakticky šest unipolárních sektorů), jejichž aktivita kulminovala téměř současně během několika málo letních slunečních otoček.

Nejlepší představu o globálním magnetickém poli dají mapy „source surface field“ ze Stanfordu, které vlastně poskytují obraz silně integrovaného fotosférického magnetického pole. Sledujeme-li jeho vývoj v uvedeném časovém intervalu, vidíme, že až do 1852. Carringtonovy otočky je každá polovina Slunce (ve směru rotace) prakticky unipolární a hlavní hranice polarit je blízka poledníku 180°. Přitom východní kladná „polokoule“ je až do 1844. otočky o něco

rozsáhlejší. Tato asymetrie se pak mění ve prospěch západní polokoule, mající zápornou polaritu. Druhá „sekundární“ hranice osciluje kolem poledníku 0° . Počínaje 1850. otočkou vstupuje do hry rozdílná úloha severní a jižní polokoule. To prakticky vymění polaritu obou polokoulí východní a západní, zvýší asymetrii a zdůrazní vliv polokoule jižní v aktivní zóně kolem rovníku, a tím i vliv záporné polarity.

Je třeba mít na paměti, že takové změny globálního magnetického pole silně ovlivňují heliosféru, jak potvrzují i měření magnetického pole Slunce jako hvězdy.

Pokud se podíváme na rozložení aktivních délek vytvářených magnetickým polem kolem rovníku, sestrojených ze synoptických map publikovaných Wilcoxovou observatoří, vidíme podstatně složitější rozložení polí. V tomto případě je výše uvedená bipolarita velmi málo zřetelná. Pozorujeme dva až čtyři proudy aktivních délek se středním posunem asi o 5° na otočku směrem k rostoucím heliografickým délkám. Hlavní aktivní délka je totožná s hlavní hranicí globálního pole a sekundární délka se sekundární jeho hranicí. Kromě toho je možno pozorovat další dvě vedlejší délky, které se odštěpují a opět spojují s hlavními dvěma délkami.

Velmi komplexní obraz získáme sestrojením série synoptických map rozložení slunečních skvrn v pásu okolo slunečního rovníku. Tam se zdá být posun k rostoucím heliografickým délkám od otočky k otočce ještě větší (asi 10° /otočka).

Proto jsme sledovali časový vývoj aktivity a magnetických polí na synoptických mapách rozložení magnetických polí v každé otočce uvedeného časového intervalu a eventuálně ho porovnávali s denním rozložením polí i aktivních oblastí.

3. CHARAKTERISTICÉ ZNAKY VÝVOJE MAGNETICKÝCH POLÍ A AKTIVITY OD OTOČKY K OTOČCE

Jestliže se podíváme na průběh sluneční činnosti v podobě křivky relativních čísel během dvou sledovaných let vidíme, že zhruba do února roku 1992 dosahovala aktivita až k denním hodnotám okolo 250, pak se ale citelně zmenšila, pouze dvakrát přesáhla hodnotu 150, většinou však oscilovala kolem hodnoty 100. Podíváme-li se na synoptické mapy zobrazující rozložení magnetického toku (NSO Kitt Peak) nebo poněkud integrovaných hodnot intenzit pole, naměřených na Wilcoxově observatoři, vidíme, že fotosférická magnetická pole, respektive jejich hranice, tvoří na těchto mapách charakteristické konfigurace, mající jako základní tvar parabolu, tvarovanou působením diferenciální rotace během řady slunečních otoček, se zdůrazněnou jižní nebo severní větví, v závislosti na polaritě pole, unášeného k vyšším heliografickým šířkám.

Tvar tohoto útvaru, tak silně ovlivněný diferenciální rotací, hovoří o jejím dlouhodobém působení, a tedy i o

vlastním stáří útvaru a tím i magnetického pole. Obě polarity pole, které ho tvoří, by měly být komplementární, měly by být vzájemně asymetricky rozložené kolem rovníku, se zmíněným protažením chvostové polarity ve vyšších šířkách, díky střídání vedoucí a chvostové polarity na severní a jižní polokouli.

Vzhledem k tomu, že magnetické pole těchto útvarů představuje pole, které bylo na jedné straně vyprodukováno jednotlivými aktivními oblastmi, na druhé straně ovlivňuje vznik nového magnetického toku, je zajímavé sledovat vzájemný vztah parabol s rozložením, rekurencí a délkovými i šířkovými posuny oblastí. Už samotný tvar parabol naznačuje, že zdroj magnetických toků, které ji vytváří, musí působit dlouhodobě. Skutečně, ve sledovaném časovém období existují tři délkové intervaly, do kterých je tato aktivita koncentrována. Až do jara roku 1992 existuje jeden takový zdroj v blízkosti meridiánu 180° , aby se pak později poněkud posunul o 20° - 30° ke kratším heliografickým délkám. Tento zdroj je zřejmě spojen s hlavní hranicí polarit globálního magnetického pole a funguje nejdříve na obou polokoulích Slunce, později se soustředí více na polokouli jižní (viz na př. Bumba et al., 199.). Dalším místem koncentrace aktivity jsou meridiány blízké 50° na jedné straně a asi 320° na straně druhé. Také tyto zdroje je možno pozorovat na magnetických mapách prakticky po celé studované období, ovšem s délkovými posuny až o několik desítek stupňů, a měnící se, ale rekurentní aktivitou. Prvý zdroj je aktivnější nejdříve na severní polokouli, druhý na jižní.

Poměrně malé délkové i šířkové posuny aktivity (často oscilace mezi severní a jižní polokouli) od otočky k otočce, její kolísání a rekurence, dávají pak v časové posloupnosti jednotlivých otoček vznik složitěmu obrazu aktivních délek, jejich dlouhodobosti i větvení. Tedy v detailu poměrně chaotické časové i polohové chování se jednotlivých zdrojů se skládá, díky dlouhodobé životnosti, vzájemné interakci lokálních magnetických polí i jejich interakci s poli pozadovými, a díky zákonitostem v rozložení jejich polarit, v dlouhodobé pravidelné útvary v globálním měřítku, tvořící jednotlivé unipolární sektory, a v časovém sledu prakticky nepřetržité aktivní délky v zóně aktivity. Problémem ovšem zůstává existence pravidelnosti v časovém i prostorovém rozložení aktivity zdrojů magnetického toku.

4. PRAVIDELNOSTI V GLOBÁLNÍM ROZLOŽENÍ MAGNETICKÉHO TOKU

Na synoptických mapách magnetického toku můžeme sledovat rychlou změnu polarity magnetického pole v polárních oblastech. Během necelých deseti otoček (1838 - 1848) je severní záporná polarita nahrazena polaritou kladnou. Jižní velmi slabá záporná

polarita rychle zesílí a v 1844. otočce jsou patrné u jižního pólu jen nepatrné zbytky polarit opačné.

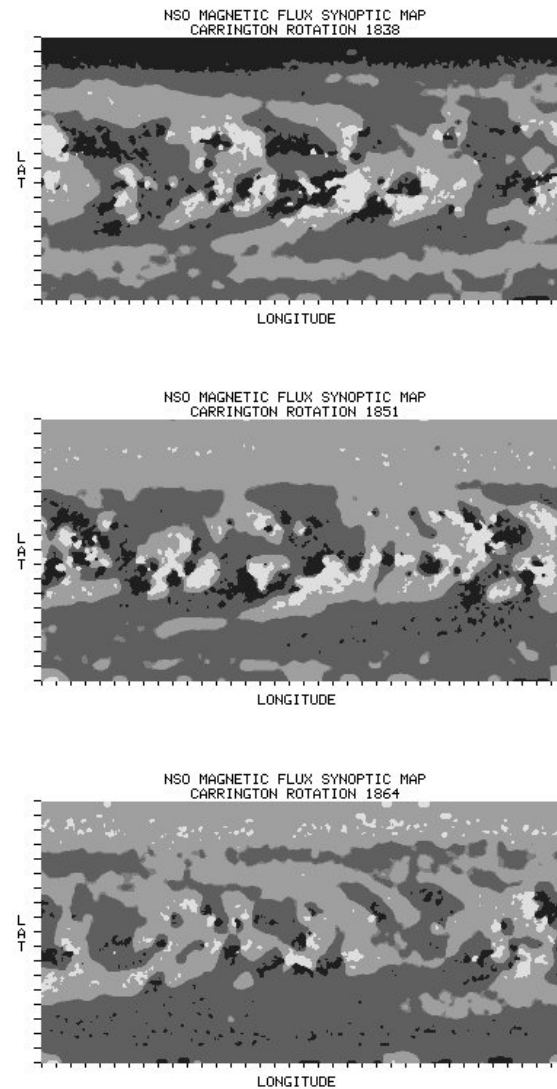
Složitější je popsat délkové rozložení magnetického toku. I když, jak bylo řečeno, v heliografické délce existují po dlouhou dobu tři ohniska aktivity nebo zdrojů toku nového, záleží zřejmě i na stáří, respektive na době působení jednotlivých zdrojů, většinou větších nebo menších komplexů aktivity, jak se magnetická pole uspořádají. Na začátku sledovaného intervalu máme na synoptické mapě jedné otočky (postupujeme-li s časem, tedy od 360° směrem k nižším délkám) parabolu kladné polarit (přesahuje poněkud do otočky předcházející), následovanou parabolou polarit záporné. To je proto, že v této oblasti těžiště aktivity leží na jižní polokouli Slunce, kde je tato polarita vedoucí. Pak následuje dvojice parabol se stejným pořadím polarit, vázaná na rozsáhlý zdroj kolem poledníku 180°, zasahující obě polokoule, a konečně mezi poledníky 20° až 160° se vytvořily méně vyvinuté paraboly, spojené s třetím zdrojem, s těžištěm aktivity na polokouli severní. Křídla všech parabol jsou silně ovlivněna rozložením polarit pole ve vysokých heliografických šířkách.

V době, kdy globální rozdělení magnetického pole Slunce je prakticky bipolární, přeorganizují se paraboly tak, že prakticky od 1844. otočky až k 1852. otočce v západní polovině Slunce (od poledníku 180° k vyšším hodnotám, přesahující do předcházející otočky) převládá polarita kladná v podobě obrovské paraboly, částečně obklopující (ve východní části Slunce) parabolu o polaritě záporné, méně výraznou, jakoby zasazenou do vnitřku paraboly kladné. S takovým rozdělením velkostrutálního magnetického pole jsme se už několikrát setkali (Bumba, 1982) a vždy tyto útvary byly spojeny s maximem vývojem mohutných komplexů aktivity. Je třeba si také uvědomit, že rovníkové části parabol o různé polaritě jsou totožné s jednotlivými unipolárními sektory slunečního magnetického pole a že hranice polarit magnetického pole, které jsou prakticky totožné s hranicemi sektorů jsou místy vzniku nové aktivity.

Po 1852. otočce se organizace globálního, tedy i pozadového pole stává méně pravidelnou, i když rozdělení polarit na kladnou část na západní polovině a více záporné polarit ve východní polovině Slunce převládá až do konce sledovaného časového intervalu. Zbytky kladné velké paraboly na západě a „vnitřní“ záporné paraboly východně od ní, můžeme stále najít. Ovšem rozpadají se na slaběji vyvinuté, dílčí paraboly obou polarit, spojené s třemi hlavními oblastmi aktivity.

Jak jsme už uvedli, během léta 1992 existovaly v rovníkové aktivní zóně tři hlavní oblasti vzniku slunečních skvrn: rozsáhlá, postupně vytvořená oblast s těžištěm na jižní polokouli kolem $L = 30^\circ$, která vyprodukovala NOAA 7220 a 7222 (v další otočce pak NOAA 7248 a 7251), a dvě na opačné, tedy severní, polokouli. Jedna kolem $L = 120^\circ$ a druhá kolem $L = 270^\circ$. První zformovala během svého maxima vývoje aktivní oblast NOAA 7216 a druhá oblast NOAA 7260.

Vývoj obou aktivních oblastí jsme už popsali (Bumba et al., 1996b, 1997a, b).



Obr.1 Synoptické mapy magnetického toku z NSO v lednových otočkách v letech 1991, 1992 a 1993. Záporná polarita je tmavší. Jsou dobře vidět tři délková těžiště aktivity a dlouhodobé trvání i opakovatelnost jednotlivých velkých struktur vytvořených poli stejné polaritě.

5. DISKUSE VÝSLEDKŮ

Nejdůležitější při formování pravidelných struktur globálního pozadového magnetického pole je tedy počet a intenzita zdrojů magnetického toku a doba jejich trvání a jejich rozložení ve fotosféře. Tím je dáno i střídání vedoucích a chvostových polarit na severní a jižní polokouli. To pak má vliv na tvar vznikající struktury, stejně jako diferenciální rotace a působení dalších rychlostních polí, migrace pole, eventuálně interakce mladých i starých polí. To jsou

vlivy, o kterých je možno teoreticky i na základě pozorování uvažovat, eventuálně je modelovat. Ovšem určení pravidelností v prostorovém rozložení a v časovém výskytu aktivity, v jejich rekurenci, to jsou problémy, pro jejichž řešení nám zatím základní znalosti schází.

Nejpravidelnějšího rozdělení pozadového, respektive globálního magnetického pole je dosahováno zřejmě v dobách maxima vývoje největších a nejenergičtějších komplexů aktivity. Ze studia vývoje nejenergičtějších komplexů aktivity se zdá, že v raných stadiích vývoje (Bumba, 1996) impulsy aktivity přicházejí z hloubky konvektivní zóny. Činnost lokálního dynama, vyvolaná lokálními rychlostními poli, pravděpodobně zesílí počáteční magnetický tok přicházející z hloubky. Pak postupně aktivita ovlivní všechny hořejší vrstvy sluneční atmosféry ve stále rostoucím objemu. Ovšem, je třeba vzít do úvahy úzkou souvislost takových velkých impulsů sluneční aktivity s fází cyklu, délkovým a šířkovým, a hlavně časovým rozložením a kvantováním aktivity.

I rozložení zdrojů aktivity ve sledovaném časovém úseku, jejich poměrná místní stabilita i jejich rekurence ukazují na dlouhou životnost zdrojů, a tím snad i na jejich velkou hloubku. Vznik pravidelností v globálním rozložení pozadového pole, daný pravidelností v rozložení hlavních zdrojů magnetického toku, hovoří ve prospěch globální sounáležitosti všech zdrojů.

Zatím největším problémem, zdá se, zůstávají zákonitosti v časových i prostorových změnách každého ze zdrojů, v jejich pravidelnosti a opakovatelnosti. Jako by Slunce mělo svůj vlastní dlouhodobý program aktivity, který je ovlivňován, modulován nám zatím neznámými faktory, účinkujícími v kratších časových intervalech, ale pravidelně a s různými intenzitami.

Poděkování

Tato práce vznikla za účinné podpory Grantové agentury České republiky prostřednictvím grantového projektu GAČR 205/04/2129 a Výzkumného záměru AVČR K2043105.

LITERATURA

- Bumba V. :1982, Space Sci. Reviews 32, 229
- Bumba V. :1996, Solar Phys. 169, 303
- Bumba V., Klvaňa M., Kálmán B., and Gyori L.: 1993, A&A 276, 193
- Bumba V., Klvaňa M., and Kálmán B.: 1995, A&A Suppl. 109, 355
- Bumba V., Klvaňa M., Kálmán B.: 1996a, A&A Suppl. 117, 291
- Bumba V., Klvaňa M., Kálmán B.: 1996b, A&A Suppl. 118, 3