

Pravidelnosti v rozložení sluneční aktivity a možné jejich příčiny

Václav Bumba, Astronomický ústav Akademie věd České republiky, observatoř Ondřejov, Česká republika, bumba@asu.cas.cz

Miroslav Klvaňa, Astronomický ústav Akademie věd České republiky, observatoř Ondřejov, Česká republika, mklvana@asu.cas.cz

Abstrakt:

Studovali jsme synoptické mapy rozložení magnetického pole Slunce z Wilcoxovy observatoře, rozdělené do čtyř šířkových pásem: rovníkového ($\pm 20^\circ$) i vyšších šířek $\pm(20^\circ - 40^\circ)$, $\pm(40^\circ - 60^\circ)$. Mapy, které jsou k dispozici, zahrnují období od května 1976 až do července 2006, tedy o málo více než 400 Carringtonových otoček, t. j. od otočky č. 1641 do č. 2045.

Tyto mapové řady ukazují nejen pravidelnosti v délkovém rozložení pozadového magnetického pole Slunce, nýbrž i přítomnost aktivních délek a jejich stabilní posun v heliografické délce, v závislosti na šířkovém pásmu. Časový posun polí i těchto posloupností v heliografické délce je totožný s hodnotami rotace některých projevů sluneční aktivity, nalezenými v poslední době řadou autorů, na př. 26.8, 28.2, 27.14 dne. A překrývání jednotlivých vlivů různé v různých časových obdobích vysvětluje rozptyl statisticky určených hodnot rotace.

Kromě toho tyto časové posuny v délce a poloha pravidelností v rozložení polí úzce korelují s časovou posloupností průmětů heliografických délek konjunkcí a opozic některých planetárních dvojic do posloupností Carringtonovských map. V rovníkovém pásmu je touto dvojicí planet, která hraje hlavní úlohu, setkávání Merkura a Země, ve vyšších šířkách Venuše a Jupitera. Jemná struktura délkového rozložení polí ukazuje i přítomnost období s vlivem dvojice Merkur - Jupiter, a možná i dalších. Patrné jsou také souvislosti průmětů konjunkcí a opozic Země a Venuše se změnou převahy polí jedné nebo druhé polarity.

1. ÚVOD

V poslední době se objevila řada článků ukazujících na existenci různých krátkodobých periodicit ve sluneční aktivitě. Zabývám se studiem pravidelností v projevech sluneční činnosti celý život, od kvinty /1941/. Publikoval jsem mnoho prací řešících dílčí otázky této problematiky. V tomto článku se pokouším o syntézu starších vědomostí svých i publikovaných jinými autory s výsledky své práce za posledních několik let. V této době jsem se zabýval studiem pravidelností na křivkách denních ploch slunečních skvrn /Greenwich/ v cyklech s nízkou intenzitou aktivity a zkoumáním pravidelností na synoptických mapách slunečních magnetických polí, získaných s menším rozlišením /Stanford, Wilcox Observatory/, a to jak v čase, tak i na slunečním povrchu. Jde vlastně o pokračování diskuse načaté zhruba před čtyřiceti léty /během mého pobytu v Pasadeně v roce 1964/ s J. Wilcoxem, R. Howardem a H. Zirinem.

2. PRAVIDELNOSTI V CHODU DENNÍCH HODNOT PLOCHY SKVRN.

V této části práce jsme studovali změny chodu křivek denních ploch slunečních skvrn umístěných odděleně pro severní a jižní polokouli nad sebou, v cyklech Nos. 13 až 16, a části No. 17, tj. v období let 1890 až 1937. Toto období bylo zvoleno proto, že v něm vývoj center aktivity minimálně interferuje. Protože jsme o některých těchto výsledcích referovali na 16. semináři v roce 2002, uvedu krátce jen výsledky důležité pro srovnání s ostatními pravidelnostmi.

Náhle velice krátkodobá zvýšení aktivity /trvajících jednu, nejvýše dvě otočky Slunce/ jsme nazvaly „impulsy sluneční aktivity“. Ukázali jsme, že v době s vyšší intenzitou aktivity se maxima plochy shlukují do skupin nebo balíků o pěti a více vrcholech, trvajících tedy pět a více otoček. Ty svým uspořádáním velmi připomínají spřažené oscilace: vrcholy postupně rostou do maxima a symetricky se pak zase zmenšují, nebo

první vrchol je nejvyšší a výška dalších se Celý cyklus je prakticky složen z 20 až 30 takových útvarů. Nejpodstatnější je to, že dlouhodobé úseky křivek ploch, často trvající mnohem déle než rok, vyznačující se charakteristickým řazením maxim i minim ploch, jejich velikostí, tvary, frekvencí i vzdálenostmi, se někdy opakují ve velmi podobném průběhu, po intervalu mnoha let, často i v jiném cyklu.

Kromě toho jsme určili nejfrekventovanější charakteristické hodnoty pro časové vzdálenosti maxim a minim, respektive časových délek balíků a dobou mezi jejich maximy na: 50, 70-85, 90-100, 110-125, 140-150, 175, 195 a 240 dní. Tyto hodnoty jsou prakticky stejné, jako periody, které se nejčastěji vyskytují u ostatních autorů. Tedy periodičnost aktivity v cyklu je většinou daná dobou trvání jednotlivých „balíků impulsů“, tedy aktivity jimi reprezentované.

3. PRAVIDELNOSTI V ČASOVÉM A PROSTOROVÉM ROZLOŽENÍ FOTOSFÉRICKÝCH MAGNETICKÝCH POLÍ

Pro toto studium jsme použili především synoptických map, které na Internetu dává k dispozici Wilcoxova observatoř ve Stanfordu. Tento soubor začíná mapou pro Carringtonovu otočku No. 1641 /květen 1976/ a zatím končí otočkou No. 2045 /červenec 2006/. Kromě toho bylo použito map observatoře z Kitt Peak, i Mt. Wilsonu.

3.1. Aktivní délky

Protože budu v dalším hovořit často o aktivních délkách, chtěl bych je uvést několika poznámkami. Po prvé jsem se s nimi seznámil v článku Švestky /1968/, i když on je tak nenazýval. Švestka při pokusu o dlouhodobou předpověď protonových erupcí ukázal, že 174 protonových erupcí v letech 1956 až 1965 vzniklo v aktivních oblastech komplexů aktivity, které na slunečním povrchu zůstávaly po mnoho měsíců, až roků. Při tom část těchto aktivních oblastí komplexu kratší dobu setrvala v téměř stejné heliografické délce. Současně však vznikaly nové aktivní oblasti posunuté v délce proti sluneční rotaci, které tak vytvářely dlouhé řady „aktivních délek“ nakloněných vůči Carringtonově síti souřadnic. Jakoby zdroj nové aktivity rotoval pomaleji. V diagramu délkového rozložení aktivních oblastí tak vyniká síť „aktivních délek“ rotujících každá jinou rychlostí, a ty se protínají. Rychlosti rotace ze Švestkových grafů /kreslených v Bartelově síti/ jsou blízko 27 a 28 dnů, na jižní polokouli 27.8 dnů.

V roce 1975 publikovali Svalgaard a Wilcox grafy rozložení polarit meziplanetárního magnetického pole za 16. až 20. cyklus. Ukázali, že sektory negativní polarit vytvářejí dlouhodobé řady, procházející celým materiálem. Hlavní z nich prochází centrálním poledníkem za 26.84, druhá za 27.14 a třetí za 29 dní. Mnohem později jsme s Hejnou sebrali práce různých autorů, které publikovaly grafy aktivních délek různých

exponenciálně zmenšuje.

projevů sluneční aktivity a graficky jsme je srovnali a přeložili přes sebe /Bumba, Hejna, 1991/. Prací bylo více než deset. Výsledkem byl souhrnný graf rozložení aktivních délek v posloupnosti Carringtonových rotací, k tomu se vrátím později. Dalším výsledkem byly mediální posice dvou aktivních délek, hlavní, rotující jednou za 26.84 dnů, a vedlejší, v materiálech slaběji zastoupené, s rotací 27.14 dnů.

V souvislosti s výskytem velkých erupcí jsem studoval rozložení aktivních délek v posloupnosti synoptických magnetických map z observatoře Mt. Wilson. Na těchto mapách, kreslených zvlášť pro každou polaritu, hlavní délky, mají rotační dobu kolem 27 dnů a tvar dlouhých, v posloupnosti map mírně skloněných řad v každé polaritě. Vedlejší aktivní délky, rotující jednou za 28-29 dnů, jsou tvořeny posloupností maxim řad hlavních /viz např., Bumba, Sýkora, 1974; Bumba, 1975/. Rotační periody byly pouze odhadovány z posloupností map.

V poslední době Stenflo se společně /např., Knaack, Stenflo, 2005; Knaack et al., 2005/ publikovali rotační periody nalezené různými statistickými metodami při studiu fotosférického magnetického pole. Hodnoty, které našly jsou velmi podobné předchozím hodnotám: 28.2, 26.8 a 29, eventuálně 25.0 – 25.5 dnů.

3.2. Rozložení fotosférických magnetických polí

Je třeba říci, že naše výsledky mají předběžný charakter a potřebují další, mnohem hlubší, časově náročné studium, a to hlavně časového vývoje intensity a polarit polí v závislosti na vzdálenosti a fázi vývoje aktivní délky.

Pro lepší pochopení zákonitostí ve vzniku pravidelností a vývoje struktur magnetického pole v závislosti na čase a jejich poloze na slunečním disku, jsme rozdělili studované synoptické mapy celého disku v Carringtonových souřadnicích na čtyři šířkové pásy: $\pm 20^\circ$, $\pm 20^\circ - 40^\circ$, $\pm 40^\circ$ a $\pm 60^\circ$. Kromě toho je třeba říci, že studovaná pole, měřená s menším rozlišením, představují především pole pozadová, tj. pole slabší intensity, se zdůrazněním lokálních polí aktivních oblastí.

A/ Smontujeme-li do dlouhé časové posloupnosti mapy rovníkového pásu $\pm 20^\circ$ a opakujeme-li je dvakrát nebo třikrát tak, aby na sebe časově navazovaly, překvapí nás pravidelnost rozložení polí v heliografické délce /viz Obr. 1/. Na mapách časově na sebe navazujících vidíme dlouhé řady, tvořené jednotlivými polaritami, v průměru mírně skloněné, tedy rychleji rotující vůči Carringtonově rotaci, ale s bohatou strukturou dílčích řad, odkloněných mírně na obě strany hlavní rotace. Tento odklon zřejmě způsobuje chyby od střední hodnoty při statistickém zpracování. Hodnota rotační periody mírně skloněných řad je 26.8 dnů. S fází cyklu se charakter tohoto rozdělení nemění, mění se pouze hustota polí.



Obr.1: Třikrát za sebou opakující se mapy magnetického pole /vyplněna záporná polarita/ rovníkového pásu $\pm 20^\circ$ od Carringtonovy otočky No. 1641 930. 4. 1976/ do otočky No. 1800 /11. 4. 1988/. Horizontálně heliografická délka (třikrát 0-360 stupňů), vertikálně čas (zdola nahoru).



Obr.2: Třikrát za sebou opakující se okamžiky konjunkcí a oposic Merkura se Zemí, zakreslené v souřadnicovém systému z obr.1. Střední hodnota rotační periody mírně skloněných řad je v obou případech 26.8 dne.

Ovšem podíváme-li se podrobněji jak je to s časovým vývojem aktivity, vidíme stejný výsledek, který už uváděl Švestka /1968/: aktivita se vyvíjí postupně po délkových krocích. Její počátky vytvářejí přímku s periodou rotace 26.8 dnů. Vzniklá centra aktivity však zůstávají přibližně na stejné délce /je třeba brát do úvahy jejich plošný vývoj apod./. Jejich doba trvání je často delší než rok. V určitých časových úsecích je tedy možné v základní síti skloněných řad identifikovat i řady s menším sklonem, blízkým Carringtonově rotaci. Přesněji určená perioda jejich rotace dává hodnotu 27.14 dnů.

Domníváme se, že toto rozdělení je dáno dynamikou systému fotosférická plasma a magnetické pole, který se chová globálně, tj. přerozděluje se po celé délce slunečního obvodu. Kromě dynamiky toho systému to zřejmě svědčí i o rychlé interakci pozad'ového a lokálních polí a snaze po udržení rovnovážného stavu v systému.

Detaily rozdělení, zejména alternaci polarit pole je třeba prostudovat podrobněji.

B/ Smontujeme-li stejným způsobem pásy vyšších šířek od 20° do 40° odděleně pro obě polokoule, rozložení polí má podobný charakter, i když řady jednotlivých polarit jsou méně husté a mají opačný sklon, tj. rotují pomaleji, a to za 28.2 dní. Podstatné se nám jeví to, že řady na obou polokoulích začínají ve stejné heliografické délce, i když mohou mít opačnou polaritu.

C/ Poněkud jiný obraz dávají stejným způsobem smontované pásy, opět rovníkové, ale širší na obou polokoulích o 20° +/-40°. Posloupnost magnetických struktur na mapách vykazuje po většinu doby sklon, který osciluje kolem rotační periody 26.8 dnů. Na širších pásách je lépe vidět krokový postup začátku nové aktivity.

Pouze asi 20 až 30 otoček během začátku cyklu zřetelně vykazuje sklon daný vyšší heliografickou šířkou polí nového cyklu, tedy s rotační periodou 28.2 dnů. Na posloupnostech map nevidíme postupný přechod sklonu, který by byl dán postupnou změnou heliografické šířky se změnou diferenciální rotace.

3.3. Velké struktury pozad'ového pole

D/ Studujeme-li mapy s rozsahem šířek +/-60°, tedy prakticky celé mapy, vidíme, že pozad'ová i lokální magnetická pole vytvářejí periodicky velké kapkovité struktury, s ohonem ve vyšších šířkách, často delší než 180°. Při studiu dynamiky těchto struktur je třeba opět uvést několik dříve publikovaných výsledků.

Už na některých synoptických mapách Atlasu slunečního magnetického pole, /Howard et al., 1967/ z pozorování na observatoři Mt. Wilson vidíme velmi zajímavé rozdělení obou polarit pozad'ového pole: každá z polarit vytváří ohromnou kapkovitou strukturu s přední částí na jedné polokouli Slunce, a chvostem ve vyšších šířkách polokoule druhé. To souvisí s tím, že

jednou je polaritou vedoucí, podruhé chvostovou. Oba útvary o opačných polaritách se mohou vzájemně prostupovat a mohou být vůči sobě vzájemně posunuty. Nejlepší příkladem takové situace je mapa Carringtonovy otočky č. 1428 z června 1960. Ambrož /1973/ ukázal podobnou situaci pro otočky 1439/1440, tedy o 11 - 12 otoček později, když sledoval vývoj struktur odděleně pro obě polarit po maximu, či vlastně optimu vývoje. Je možno přivést řadu příkladů těchto globálních útvarů. Podstatné ovšem je, že jejich vnitřní struktura se odráží v rozdělení koróny, že těžiště jejich průniku bývá místem vzniku protonových erupcí. Pro případ, který uvádí Ambrož /1973/, hlava útvaru, tvořeného kladnou polaritou byla vytvořena starými poli a je při průchodu středem disku provázána velmi zvýšenou geomagnetickou aktivitou. Hlava negativní struktury přiléhající k hlavě kladného pole ze západu, je místem s mnoha novými aktivními oblastmi a erupcemi, jak jsme ukázali ve společné práci se Sýkorou /Bumba, Sýkora, 1974/.

Studium všech druhů synoptických map rozdělení slabého magnetického pole ukázalo existenci období, kdy vývoj výše popsaných útvarů je možno sledovat velmi dobře, jindy hůře. Periodicita jejich vývoje je 10–11, respektive 20 – 21 Carringtonových otoček, tedy okolo 1,6 roku. Ovšem sledování této periodicity, respektive změn těchto globálních magnetických struktur vyžaduje vypracování lepší metodiky studia.

4. POKUS O VYSVĚTLENÍ POZOROVANÝCH PRAVIDELNOSTÍ – SETKÁVÁNÍ PLANET

Opět je třeba vrátit se ke starým výsledkům. V prehistorii našeho slunečního bádání existovalo období, kdy Link s tehdy ještě studenty, především Kopeckým a Majerem, statisticky studovali tzv. „planetární vlivy“. V řadě prací, publikovaných začátkem padesátých let v prvních ročnících BAC, ukázali, že zejména konjunkce a oposice Venuše se Zemí ovlivňuje relativní číslo sluneční aktivity /Kopecký et al., 1952/. Zajímali se i o vliv setkávání Země s Merkurem a Jupiterem, ale tam výsledky nebyly tak jednoznačné.

V roce 1972 Ambrož ve své kandidátské disertaci /Ambrož, 1972/ ukázal, že v cykle č. 19 /1955 – 1965/ s dosud nejvyšší pozorovanou aktivitou /relativní číslo/, je tato aktivita soustředěna na slunečním povrchu do dvou aktivních délek, které korelují, respektive jsou rovnoběžné s časovou posloupností poloh maxim slapových pulsů 6 planet /do Saturna včetně/ v heliografických Carringtonových souřadnicích. Ambrož průběh těchto poloh určil pro delší časové období, a to pro roky 1940 až 1969. Průběh je možné aproximovat dvěma přímkami, které mají rotační periodu okolo 27.17 dnů.

Ve světě se vlivy planet na sluneční aktivitu už více než sto let zabývala řada autorů. Domnívám se

však, že zmíněné Linkovy a Ambrožovy výsledky jsou dosud nejpřesvědčivější, zejména proto, že jsou vyvozeny z dlouhých datových řad.

Před několika léty /Bumba et al., 2002; Bumba, 2003/ jsme použili souhrnný graf aktivních délek složený z výsledků mnoha autorů /Bumba, Hejna, 1991/, o kterém už byla řeč, ke srovnání s časovými posloupnostmi míst, do kterých se na sluneční povrch promítají konjunkce párů planet Merkur – Země, Venuše – Země a Merkur a Venuše. Směr hlavních aktivních délek je nejen prakticky rovnoběžný s posloupnostmi konjunkcí Merkur – Země, ale poměrně velká část délek je s nimi totožná. Vedlejší aktivní délky s větším sklonem jsou rovnoběžné a částečně totožné s posloupnostmi míst setkání Venuše – Země /Bumba et al., 2003; Bumba, 2003/. Ještě lépe souhlasí směry hlavních aktivních délek s průběhem pozadových magnetických polí pro období Carringtonových otoček Nos. 1500 – 1800, t. j. v časovém intervalu let 1965 – 1988, a to pro obě oddělené polarity pole /Bumba, 2003/.

Na základě těchto výsledků se Klvaňa a Švanda a teoreticky s Krivcovem /Klvaňa et al., 2004, 2005/ pokusili najít náznaky gravitačních slapů na slunečním povrchu v rozložení rychlostních polí, měřených družicí SOHO. Výsledek však byl negativní.

Jak tedy spojit nalezené časové i prostorové pravidelnosti v rozdělení fotosférických magnetických polí s „planetárními vlivy“? Hlavní směr určený sklonem délkového rozložení magnetických polí v posloupnosti rovníkových částí Carringtonových map koinciduje se směrem průmětů konjunkcí i opozic planetárního páru Merkur – Země do těchto map a má rotační periodu 26.8 dne /viz Obr. 2/. Hlavní směr sklonů v rozložení magnetických polí vyšších šířek $\pm 20^\circ - 40^\circ$ koinciduje se sklonem průmětů konjunkcí a opozic Venuše s Jupiterem a rotací 28.2 dnů. Směr, ve kterém se při svém vývoji nepatrně posunují v délce komplexy aktivity s rotací 27.14 dne, odpovídá směru průmětů konjunkcí a opozic Merkuru s Jupiterem.

Periodicita změn globálních struktur pozadového pole 11 – 12 otoček je poloviční fází setkávání Země s Venuší. Nedávno se objevila práce /Skrjabin et al., 2005/, která ukazuje variace parametrů slunečního větru s periodou 399 dnů, tedy periodou setkávání Jupitera se Zemí.

A fyzika? Už výsledky ukazující opakování dlouhých úseků křivek chodu denních hodnot ploch slunečních skvrn se stejným časovým i amplitudovým rozložením chodu ukazují na možnou souvislost s planetární soustavou, protože jedině tam se pravidelně opakují určité konfigurace planet. Tato soustava se v průběhu věků vyladila do rovnovážného stavu s maximální hodnotou entropie, kterému někteří autoři říkají „harmonie sfér“. V této gravitační „harmonii sfér“ doba oběhů řady planetárních párů je v poměru celých čísel a může tedy docházet k resonancím, kdy setkávání eventuálních gravitačních slapů jednotlivých planet „buší“ s malým časovým odstupem do téměř stejných heliografických délek na slunečním povrchu. I

„spřažené oscilace balíků impulsů“, nebo jejich exponenciální růst tuto představu podporují. Jak ale ukazují i další výsledky, v procesu hraje zřejmě roli také magnetické pole. Diochází zde zřejmě k nějaké zpětné vazbě planet, či heliosféry se Sluncem. Ale k nalezení fyzikální podoby procesu působení je třeba zpracovat ještě velké množství dat.

Že tento problém nabývá na důležitosti ukazuje i nedávno vyšlá práce Shkolnika a druhých /Shkolnik et al., 2005/, zabývající se vlivem velkých planet /stejných nebo větších než Jupiter/ na mateřské hvězdy. V tomto případě se autoři domnívají, že jsou to planetární magnetická pole, která indukují aktivitu na hvězdném povrchu. Kdyby se ukázalo, že naše spojování sluneční aktivity s vlivem planet je správné, bylo by možné hledat planetární systémy u Slunci podobných hvězd sledováním periodičnosti jejich aktivity.

Poděkování

Tato práce byla realizována díky účinné podpoře grantového projektu GAČR 205/04/2129 a výzkumného záměru AVOZ 1003 0501.

LITERATURA:

- Ambrož P., 1972, Kandidát. Disertač. Práce AsÚ ČSAV Ondřejov
Ambrož P., 1973, Bull. Astron. Inst. Czechosl. 24, 80
Bumba V., 1976, Bull. Astron. Inst. Czechosl. 27, 74
Bumba V., 2003, Proc. ISCS 2003 Symposium „Solar Variability as an Input to the Earth's Environment“, Tatranská Lomnica, Slovakia, 23 – 28 June 2003, ESA SP-535, Sept. 2003, 3
Bumba V., Hejna L., 1991, Bull. Astron. Inst. Czechosl. 42, 76
Bumba V., Klvaňa M., Garcia A., 2002, Proc. 10th. European Solar Physics Meeting „Solar Variability“ From Core to Outer Frontiers“ Prague, Czech Republic, 9 – 14 Sept. 2002, ESA SP-506, Dec 2002, 837
Howard R., Bumba V., Smith S. F., 1967, Atlas of Solar Magnetic Fields, Carnegie Inst. Of Washington, Publ. 626, Washington
Klvaňa M., Švanda M., Bumba V., 2005, Hvar Obs. Bull. 29, 89
Klvaňa M., Švanda M., Krivtsov A., Bumba V., 2004, Hvar Obs. Bull. 28, 157
Knaack R., Stenflo J. O., 2005, A&A 438, 349
Knaack R., Stenflo J. O., Berdyugina S. V., 2005, A&A 438, 1067
Kopecký M., Mayer P., Borovičková V., 1952, Bull. Astron. Inst. Czechosl. 3, 38
Krivtsov A., Klvaňa M., Bumba V., 2003 Proc. ISCS 2003 Symposium „Solar Variability as an Input to the Earth's Environment“, Tatranská Lomnica, Slovakia, 23 – 28 June 2003, ESA SP-535, Sept. 2003, 121
Shkolnik E., Walker G. A. H., Bohlender D. A., Gu P.-G., Kurster M., 2005, ApJ 622, 1075
Skrjabin N. G., Timofeev V. E., Misoshnicenko L. I., Samsonov S. N., 2005, Pis'ma v Astron. Zhurnal 31, 931
Svalgaard L., Wilcox J. M., 1975, Solar Phys. 41, 461
Švestka Z., 1968, Solar Phys. 4, 18