

Krátkodobé pravidelnosti v časovém rozložení impulsů sluneční aktivity a jejich možná příčina

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*

A. Garcia, *Observatorio Astronomico, Universidad de Coimbra, Almas de Freire - Santa Clara, 3000 Coimbra, Portugal, adriana@mat.uc.pt*

Abstrakt.

Při studiu denních součtů ploch slunečních skvrn (odděleně pro jižní a severní polokouli) ve čtyřech cyklech s nízkou aktivitou (No. 13 - 16) jsme znovu viděli, že sluneční činnost je charakterizována izolovanými náhlými vzrůsty, které se často několikrát pravidelně opakují buď na jedné nebo i na obou polokoulích. Tyto "impulsy sluneční aktivity" jsou lépe vidět v obdobích nižší aktivity. Jejich serie ("balíky") se zdají být hlavními stavebními elementy cyklu. Ve fotosféře jsou reprezentovány tvorbou komplexů aktivity nebo jejich sériemi. Impulsy jsou často řazeny do charakteristických řad, které se po delší době opakují prakticky ve stejném tvaru.

Studium jejich počtu, trvání, frekvence, pravidelnosti v opakování jejich výskytu nás přivádí k hledání činitelů, které mohou vést k modulaci procesů vývoje sluneční aktivity, zejména pak k jejich pravidelnosti a opakovatelnosti. Docházíme k závěru, že se velmi pravděpodobně může jednat o rezonanční jevy, které by mohly souviset na příklad s častým setkáváním se slapových vln některých planet, či jinými příčinami.

1. ÚVOD.

Dlouhou dobu studujeme sluneční aktivitu, abychom se přiblížili řešení otázky co jí způsobuje a ovlivňuje. Pro tento účel v poslední době využíváme denní hodnoty plochy slunečních skvrn, vypočítané už před několika desítkami let z Greenwichských katalogů, a to zvláště pro severní a jižní polokouli pro čtyři cykly s nízkou hladinou aktivity: No. 13 až 17 (poslední je neúplný), tj. pro období 47 let (1890 - 1937).

2. "IMPULSY SLUNEČNÍ AKTIVITY" A JEJICH SHLUKY.

V roce 1948 vyšla jedna z dosud nejlepších knížek o sluneční činnosti: Eigenson, Gněvyšev, Ol' a Rubašev "Sluneční aktivita a její vlivy na Zemi", ve které Ol' podle Gněvyševa charakterizuje "impulsy sluneční aktivity" jako procesy zachvacující náhle určitou část sluneční atmosféry ve všech jejích vrstvách, které jsou na povrchu Slunce koncentrovány místně i časově a těsně spolu souvisí. Podíváme-li se na naše křivky průběhu plochy slunečních skvrn den ze dne, vidíme tyto "impulsy" na první pohled: křivka ploch rychle osciluje s velkými amplitudami a frekvencí blízkou 27 dnům. To svědčí nejen o pravidelnosti v rozdělení

slunečních skvrn nýbrž i o převažující koncentraci do určité heliografické délky. Během všech studovaných cyklů jsou tyto oscilace významně modulovány náhlými nápadnými vzrůsty plochy, často se znovu a znovu objevujícími, a to buď na jedné, nebo simultánně na obou polokoulích, nebo se objeví nejdříve na jedné, a pak s časovým posuvem okolo 13 dnů na druhé polokouli. Pro tyto náhlé vzrůsty používáme termín "impuls sluneční aktivity". Trvají jednu, nejvýše dvě sluneční otočky (kdy už mají podstatně nižší intenzitu) a jsou nejnápadnější v období nižší aktivity.

V době s vyšší aktivitou se maxima plochy shlukují do skupin nebo balíků o pěti až více vrcholech (trvajících 5 i více otoček), které svým uspořádáním velmi připomínají spřažené oscilace: jednotlivé vrcholy postupně rostou do maxima a symetricky se pak zase zmenšují, nebo první impuls je největší a výška dalších se zmenšuje exponenciálně. Celý cyklus je prakticky složen z takových útvarů často velmi pravidelných tvarů.

Kromě toho jednotlivé impulsy, tj. náhle podstatně zvýšená maxima ploch i jejich shluky vytvářejí ve svém časovém řazení dlouhodobé charakteristické konfigurace (trvajících často více než rok), které se někdy opakují ve velmi podobném tvaru, tedy i ve svém časovém řazení, a to po intervalu mnoha let nebo i v

různých cyklech. Podobnou afinitu můžeme pozorovat už na průběhu měsíčních relativních čísel, časovém řazení jejich maxim během určité fáze cyklu, na příklad v cyklech No. 7 a 18, nebo na sestupných větvích cyklů No. 15 a 17.

Podíváme-li se na reálnou situaci na Slunci, která vyvolává maxima křivek plochy nebo jejich shluky, vidíme, že jednotlivé významné impulsy jsou většinou spojeny s vývojem izolované skupiny slunečních skvrn vyvíjející se kompletně na viditelném disku, a jen málokdy se vracějící v následné rotaci. Shluky pak představují vývoj jednoho nebo několika komplexů aktivity. Konkrétní příklady ukazují řadu zajímavostí takového vývoje, posunu těžiště aktivity jak v heliografické šířce, tak i délce, a pod.

3. FREKVENCE VZNIKU A ČASOVÉ VZDÁLENOSTI IMPULSŮ AKTIVITY.

Je zajímavé, že ani jedna křivka ploch slunečních skvrn, které studujeme, nevykazuje - jak bychom očekávali - postupně narůstající výrazné maximum cyklu. Většinou je maximum cyklu reprezentováno výrazným, náhle se objevivším impulsem s nejvyšší hodnotou plochy, doprovázeným podstatně menším maximem někdy v předcházející nebo následující otočce, nebo obklopeným ne dostatečně výrazně definovaným balíkem maxim.

Ve sledovaných křivkách ploch je možno najít na obou polokoulích během jedenáctiletého cyklu řadu výrazných impulsů, někdy téměř stejně výrazných jako hlavní maximum, a někdy - jak se zdá - dokonce tvořících serii. Jejich časové vzdálenosti ve dnech se zdají kupit kolem určitých stejných hodnot (na příklad okolo 300 dní), ale jejich počet je malý pro statistické závěry.

Statistickému zkoumání jsme zatím podrobili pouze vzájemné vzdálenosti sousedních maxim a minim křivek ploch, které jsme vyhledali trojnásobným použitím dvacetisedmidenního filtru. Tím jsme odstranili oscilace spojené se sluneční rotací, ale časové pozice maxim tím nebyly ovlivněny. Krátký počítačový program nám poskytl tabulky udávající pro každou studovanou křivku ploch pozici každého maxima nebo minima, jejich velikost, vzájemnou vzdálenost a tedy i počet. Stejnou proceduru jsme provedli i se součty denních ploch na severní a jižní polokouli a s denním relativním číslem.

Histogramy rozložení vzdáleností maxim a minim ukazují několik méně či více zvýrazněných hodnot, kolem kterých se tyto vzdálenosti kupí: 50, 70 - 85, 90 - 100 a 110 - 125 dní. Jestliže křivky maxim vyhladíme použitím patnáctidenního intervalu, jsou tyto hodnoty ještě výraznější a vyjevíme i maxima o ještě vyšších hodnotách vzájemných vzdáleností, a to kolem 140 - 150, 175 a 240 dní a 195 dní na křivkách vzdáleností minim.

4. KORELACE NEJLÉPE DEFINOVANÝCH BALÍKŮ MAXIM S JINÝMI PODOBNÝMI ÚTVARY BĚHEM CYKLU.

Jak už jsme zdůraznili, naše křivky denních ploch na obou polokoulích ukazují, že jedenáctiletý cykl je vlastně složen z balíků maxim o různých tvarech (s různým průběhem) a s různými časovými trváními, které se nad to mohou ještě vzájemně seskupovat do útvarů vyššího řádu, zahrnujících dva i více balíků o kratším trvání. Abychom toto tvrzení dokázali, určili jsme v každém cyklu pro křivky ploch (vyhlazené trojnásobnou aplikací filtru 27 dní) několik typických balíků (2 až 6), t.j. několik shluků maxim s charakteristickým tvarem průběhu o různé délce trvání (od 90 do 300 dní), a to jak pro plochy na severní a jižní polokouli, tak i pro jejich součet a pro křivku denních relativních čísel, a ty jsme korelovali s průběhem křivky pro celý cykl. Ukázalo se, že pro většinu námi korelovaných balíků průměrný koeficient korelace dosahuje hodnot od 75%, většinou však 80% až 92%.

Počet balíků kolísá většinou mezi 10 až 30 a vzdálenosti jejich maxim a minim se opět kupí kolem určitých hodnot, a to 90 - 100, 120 - 130, 150, 180 - 210, a 300 dní.

Problémem v určování vzdáleností maxim a minim z korelačních křivek je někdy fakt, že i tyto křivky vykazují určitou hierarchii jednotlivých balíků podle délky trvání tím, že některý déle trvajících balík naznačuje, že je složen z krátkodobějších útvarů.

5. SHRUTÍ DOSAŽENÝCH POZNATKŮ O KRÁTKODOBÝCH PRAVIDELNOSTECH V ČASOVÉM ROZLOŽENÍ SLUNEČNÍ AKTIVITY V MÁLO AKTIVNÍCH CYKLECH.

Studované křivky denních ploch slunečních skvrn i denních relativních čísel v období 1890 až 1937 ukazují, že sluneční aktivita probíhá v jedenáctiletých cyklech s nízkou aktivitou velmi pravidelně, zejména pak, že v ní existují velmi dlouhé úseky s často velmi pravidelným rozložením výskytu slunečních skvrn, opakujícím se ve stejné posloupnosti rozložení průběhu hodnot ploch slunečních skvrn, a tedy i vývoje aktivních oblastí, produkujících tyto skvrny. Jakoby byla sluneční činnost modulována cyklickými procesy, opakujícími se s několika pevně danými periodami, podstatně kratšími nežli je jedenáct let. Při tom tyto periody jakoby spolu určitým hierarchickým způsobem souvisely.

Svědčí o tom nejen určité kvantování period rozložení maxim a minim skvrnotvorné činnosti, existence shluků maxim ploch v podobě silně připomínající "spřažené oscilace", pravidelně rozložených v čase během jedenáctiletého cyklu a mající velmi symetrické tvary, někdy s exponenciálním průběhem amplitudy. I fakt, že tyto shluky maxim tvoří články jedenáctiletého cyklu, že jsou spolu určitým způsobem vázány, že se jejich konfigurace v trvání až dvou let může opakovat i několikrát během studovaných 47 let, to všechno se zdá svědčit o tom, že je sluneční

činnost ovlivňována, nebo modulována procesy či ději, které se poměrně často a v určité časové posloupnosti opakují.

6. POKUS O VYSVĚTLENÍ VZNIKU NALEZENÝCH PRAVIDELNOSTÍ.

Nejdříve je třeba říci, že problém pravidelností v časovém vývoji sluneční aktivity kratších nežli je jedenáctiletá perioda byl studován mnohokrát, většinou však na ustředněných relativních číslech. Náš přístup a použití denních hodnot ploch s přesnější vypovídající hodnotou, zdůrazňující charakteristické znaky rekurence tvarů v morfologii křivek ploch, podtrhuje tyto neobvykle pravidelnosti ve vývoji aktivity, a to pomocí veličiny fyzikálně čistější. V roce 1983 opublikovala Prokudina (1983) rozbor "fluktuací" sluneční aktivity také na základě ploch slunečních skvm, dokonce v devíti cyklech, a to No. 12 až 20, průměrovaných také na Carringtonovu otočku. Tyto fluktuace představují jakýsi integrál našich denních hodnot. Její histogram četnosti časových intervalů v rozdělení "fluktuací" po časové ose v počtu slunečních otoček, tedy s časovým rozlišením jedné sluneční otočky, má dvě maxima hlavní: kolem 5 a 7 otoček (tj. kolem 135 a 190 dní), a tři vedlejší, postupně se zmenšující: okolo 10, 12 a 15 otoček (tedy přibližně 270, 325 a 410 dní).

Před nedávnem se objevila práce krakovských radioastronomů (Zieba et al., 2001), ve které jsou podrobně studovány frekvence periodicit v průběhu denních hodnot radiového toku na sedmi frekvencích, denního relativního čísla a stanfordských denních hodnot průměrného magnetického pole, a to během posledního minima aktivity a začátkem 23. cyklu (1996 - 1999). Kromě kratších frekvencí spojených s rotací Slunce, našli autoři periodicity s frekvencemi v době minima/vzestupné fáze s hodnotami ve dnech: 75/77, 92/91, 103/112, 130/126, 150/151, /181 a 218/221.

Srovnáme-li námi obdržené vzdálenosti maxim a minim s hodnotami vzdáleností "fluktuací" Prokudiny a těmito periodicitami, vidíme, že se opět kupí kolem určitých hodnot, které "straší" sluneční fyziky snad už sto let, protože jsou blízké hodnotám period vzájemných konjunkcí vždy dvou z těchto planet: Merkura, Venuše, Země a Jupitera, jak už ukázala mimo jiných právě Prokudina (1983).

"Planetární vlivy" jsou "ideologickým" postrachem astronomů, obávajících se astrologů a možné desinterpretace svých výsledků. Bylo učiněno mnoho pokusů o potvrzení slapových vlivů planet na sluneční atmosféru, většinou prací však byly zavrženy, protože maximální amplitudy eventuální přílivové vlny ve fotosféře nepřevyšují 2 mm. Ovšem planety se pohybují velmi pravidelně a na příklad střední hodnoty dob mezi konjunkcemi některých dvojic planet se mají k sobě v poměru celých čísel: Konjunkce Merkura se Zemí se odehraje 5x za dobu mezi konjunkcí Venuše se Zemí. Za stejnou dobu se 4x setkají v konjunkci Merkur s Venuší. Za dobu mezi konjunkcemi Venuše a Jupitera se dvakrát setkají Merkur a Země. Protože přílivové

slapy jsou od sebe vzdáleny zhruba o 180°, může mít význam i fakt, že za dobu než se setká Země s Venuší, setkají se Merkur a Jupiter 6.5x a Venuše s Jupiterem 2.5x. Dále se na příklad tabulková doba siderické rotace Slunce vejde 4.5x do doby mezi konjunkcemi Merkura se Zemí, 3.5x mezi konjunkcemi Merkura a Jupitera a 23x mezi konjunkcemi Venuše se Zemí. Vzhledem k diferenciální rotaci pro některé šířkové pásy aktivity mohou nastat i další podobné případy. Domníváme se proto, že otázkou možného vzniku rezonance slapových vlivů planet a sluneční aktivity je nutné dále se zabývat.

V souvislosti s výše řečeným je ještě třeba připomenout, že v padesátých letech Link se svými mladými spolupracovníky (Link et al., 1948; Kopecký et al., 1952) na velkých řadách dat statisticky zjistili, že především konjunkce Venuše se Zemí mají určitý vliv na průběh aktivity, reprezentované relativním číslem. Začátkem sedmdesátých let Ambrož (1972) nejen ukázal trvalou existenci dvou aktivních délek během celého průběhu 19. cyklu, to je cyklu s nejvyšší hladinou aktivity v minulém století, nýbrž demonstroval i souhlas mezi rozložením minim aktivity a polohou přímky planetárního vlivu. Vypočítal totiž úhrnnou slapovou sílu šesti planet: Merkura, Venuše, Země, Marsu, Jupitera a Saturna, a její rozložení na slunečním povrchu v Carringtonovské heliografické soustavě, a to pro celý devatenáctý cykl dokázal, že slapové pulsy v poměrně krátkém období několika otoček působí prakticky na totéž místo slunečního povrchu ve stejném smyslu. Tento výsledek se stal i vodítkem v naší další práci.

Věnovali jsme pokusům o nalezení vzájemného vztahu planetárních slapových jevů a sluneční činnosti mnoho času, ale dokud jsme nenastoupili stejnou cestu jakou šel Ambrož, byly naše práce bez viditelného výsledku. Teprve spočítání a zobrazení místa konjunkcí a oposic jednotlivých dvojic planet do Carringtonovské sítě ukázalo možnou další cestu.

Dr. Vondrák nám spočítal tato data pro období let 1890-2000. Zkusili jsme nejdříve srovnání s aktivitou posledního desetiletí (1990 - 2000), které jsme před tím marně prováděli mnoha jinými způsoby. Ukázalo se, že skutečně jak konjunkce, tak i oposice šesti dvojic planet námi uvažovaných (Merkur-Venuše, Merkur-Země, Merkur-Jupiter, Venuše-Země, Venuše-Jupiter a Země-Jupiter) se během tohoto desetiletí koncentrují do čtyř intervalů heliografické délky. Při tom jednodušší je situace u konjunkcí, kde tyto intervaly leží kolem délek: 50°-60°, 150°-160°, 250° a 320°-330°, zatímco u oposic jsou druhý a čtvrtý interval zdvojené. Podobně je tomu prakticky během každého jedenáctiletého cyklu, ovšem s vzájemně posunutými polohami intervalů. Podíváme-li se na oddělené grafy jednotlivých dvojic, vidíme složitost situace i nutnost dalšího podrobného studia, protože pro statistické srovnání s délkovým rozložením sluneční činnosti je ještě třeba mnoho práce se zpracováním jejích dat.

K prvnímu srovnání rozložení konjunkcí dvojic planet v Carringtonovském systému a rozložení aktivity v témže systému na slunečním povrchu jsme použili

svých dávno publikovaných výsledků, týkajících se aktivních délek. V roce 1991 jsme publikovali práci (Bumba, Hejna, 1991), ve které jsme shrnuli do jednoho grafu řadu do té doby uveřejněných rozložení koncentrace sluneční činnosti v nízkých heliografických šířkách do aktivních délek, a to od 8 různých autorů (včetně Baie, 1988, Dodson, Hedeman, 1968, i svých), a sestrojili jsme graf přímek rozložení dob slunečních rotací, které z průběhu těchto aktivních délek vycházely. Data se týkala období 52 let (1935 až 1987), neboli asi 780 slunečních otoček, či 5 jedenáctiletých cyklů.

V našem sumárním grafu se vyskytovaly dva typy aktivních délek: prvá, v hlavním směru, která vyznačuje posun aktivních oblastí v ekvatoreálním pásu Slunce ($\pm 20^\circ$) z otočky na otočku a mívá hlavní a vedlejší komponentu zhruba o 180° posunutou. Je viditelná po většinu času a posunuje se ve směru rostoucí délky, tedy k západu, rotuje proto rychleji nežli je Carringtonovská rotace, a to rychlostí kolem 26.86 dne za otočku. Označovali jsme ji písmenem A. Druhý typ délky, viditelný na sumárním grafu, má jiný sklon, je hůře definovatelný, protože propojuje prakticky maxima aktivity jednotlivých úseků předchozího typu aktivní délky. Posunuje se ve směru rostoucí délky, rotuje tedy pomaleji, kolem 27.14 dne za otočku. Označovali jsme tento typ písmenem B. Mimořádně existenci těchto délek v rozložení meziplanetárního magnetického pole jako hlavní náklony hranicí sektorů tohoto pole dokázali Svalgaard a Wilcox (1975) pro období let 1926 až 1973, to je pro dobu 47 roků.

Z grafů průběhu konjunkcí jednotlivých planet na povrchu Slunce v Carringtonovském systému pro stejné období 52 let, které zahrnuje sumární graf aktivních délek vyplývá, že prakticky stejný sklon jako typ délek označovaný písmenem B, mají místa na Slunci, kam se promítají konjunkce Merkura a Země, včetně toho, že se shlukují podobně jako pozorované aktivní délky typu A, s podobnými časovými intervaly mezi shluky. Průběhu aktivních délek typu B podobně odpovídá rozložení projekcí konjunkčních bodů Venuše se Zemí, a shluky konjunkčních bodů Merkura s Venuší, které mají jiný, pomalejší sklon, ale zhruba jednou za 22 roků se shlukují do pásů se sklonem okolo 27.18 dne za otočku.

Stejný výsledek dostaneme, srovnáme-li graf přímek slunečních rotací dříve publikovaný s průběhem konjunkčních bodů uvedených tří planet na povrchu Slunce.

Průběh konjunkčních bodů těchto tří Slunci nejbližších planet s Jupiterem je složitější, i když na křivkách konjunkcí Jupitera s Merkurtem a s Venuší lze najít úseky, které mají směr bližší délkám typu B, t. j. s pomalejší rotací a na křivky konjunkcí Jupitera se Zemí mají úseky s rotací o něco málo pomalejší než je Carringtonova rotace.

V práci Bumba, Hejna (1990) jsme uveřejnili aktivní délky, které vytváří pozadové magnetické pole pro období Carringtonových otoček No. 1500 až No. 1820. Dva grafy znázorňující aktivní délky vytvářené na slunečním povrchu pozadovým polem obou polarit ukazují prakticky pouze jeden sklon, a to sklon délky typu A. Jsou tedy rovnoběžné s průběhem konjunkčních bodů Merkura se Zemí na slunečním povrchu.

7. ZÁVĚR.

Domníváme se, že uvedené předběžné výsledky nabádají v pokračování ve zkoumání vzájemných vztahů mezi sluneční činností a eventuálním působením planetárních vlivů, protože mnohem více otázek kladou nežli zodpovídají.

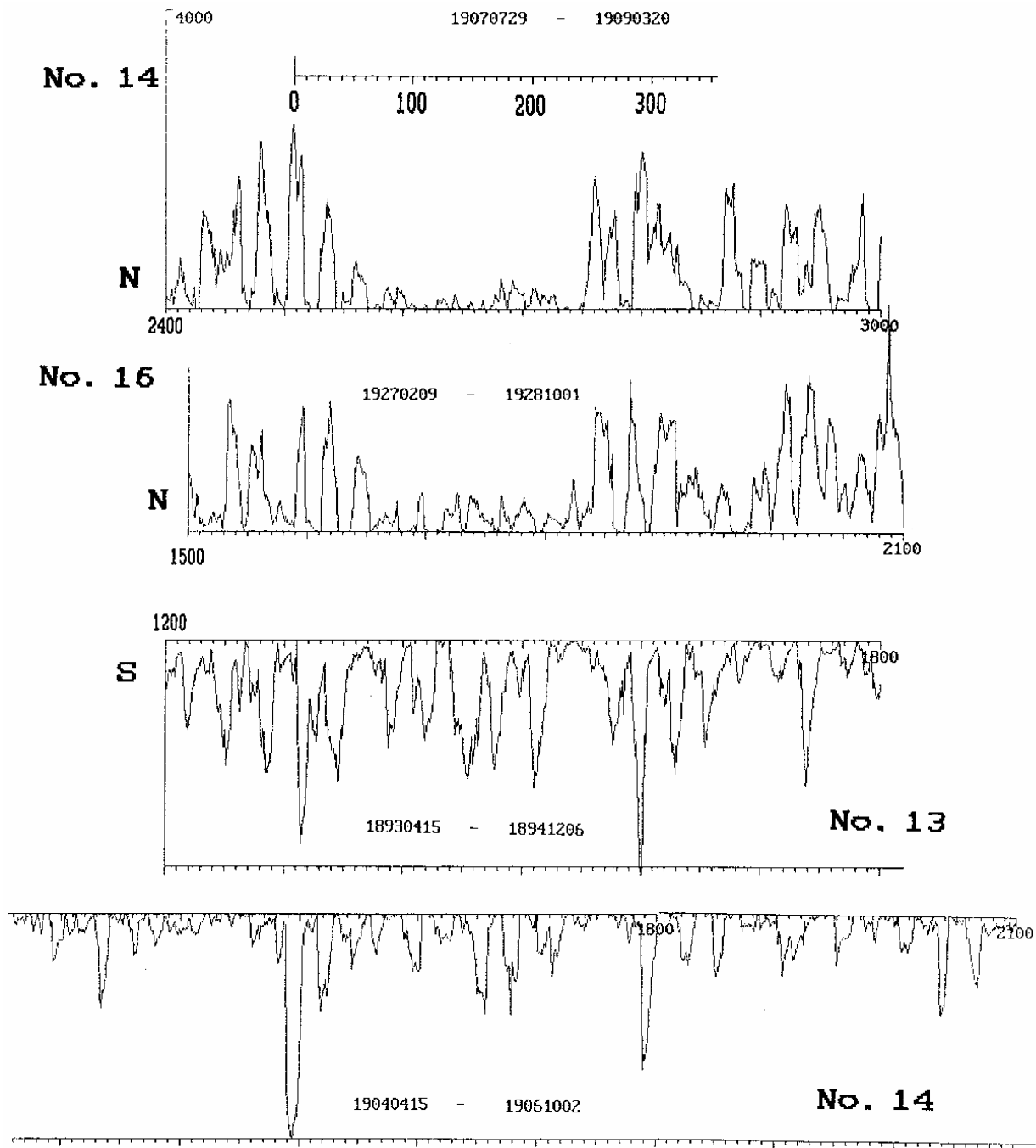
Z předběžných výsledků jsme zatím udělali závěr, že vzájemné konjunkce prvních tří planet se zdají odrážet v rozložení globálních charakteristik sluneční aktivity, zatím co jejich konjunkce s Jupiterem mají asi trochu jiný význam, spojený s jedenáctiletým oběhem Jupitera. S opozicemi je situace ještě mnohem složitější.

Připomeňme ještě jednou, že mezi dvěma konjunkcemi Venuše a Země se Merkur potká se Zemí přesně pětkrát, a s Venuší čtyřikrát. Čili že každá pátá konjunkce Země s Merkurtem je zesílena setkáním s Venuší a každé čtvrté setkání Merkura s Venuší je zesíleno ještě setkáním se Zemí.

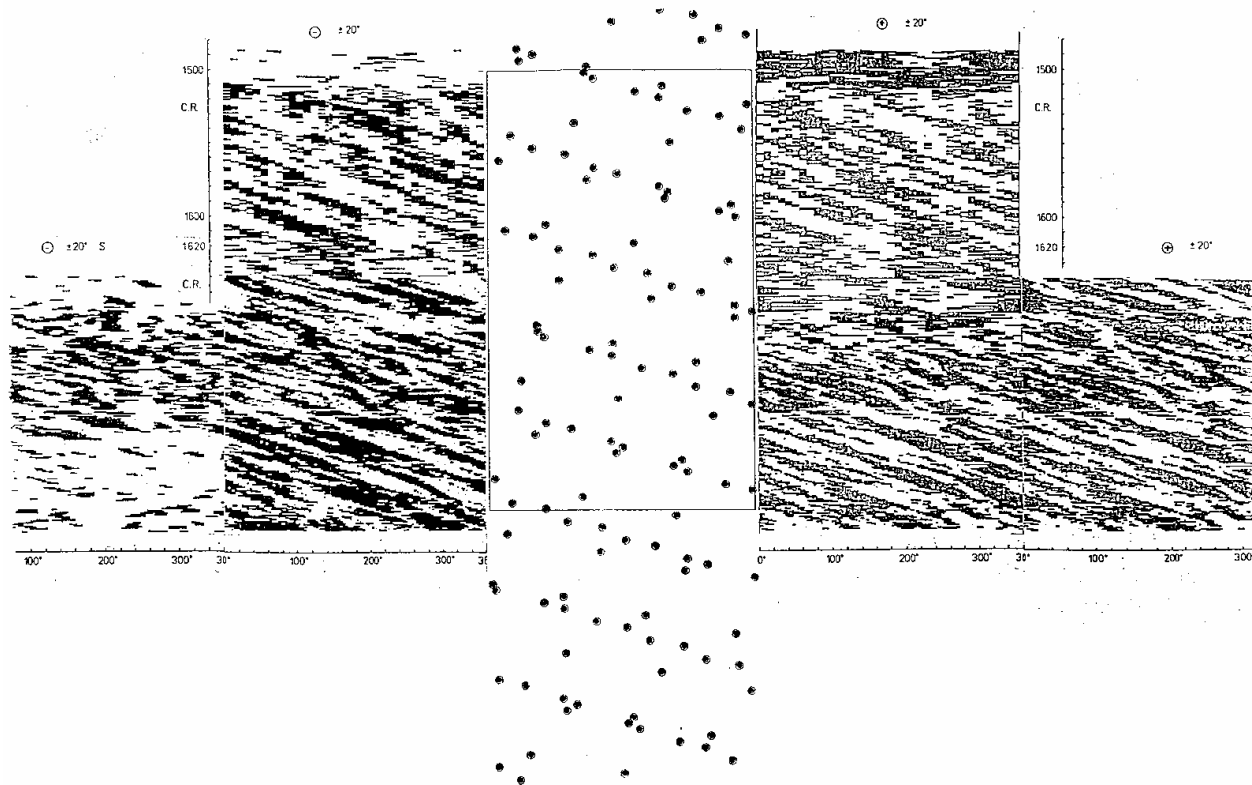
Pokud jde o fyziku, pokoušíme se současně hledat cestu zatím ve studiu možností vzniku rezonancí mezi "planetárními vlnami" a různými procesy, zejména pohyby na Slunci, jak je ukázáno v práci Krivcov et al., přednesené M. Klvaňou.

Poděkování

Čtli bychom poděkovat grantové agentuře České republiky za grant č. 205/01/0658, a Grantové agentuře Akademie věd České republiky za grant č. A3003903 a za klíčový projekt K1-003-601, díky kterým byla práce umožněna.



Obr. 1 První dva grafy v horní polovině: Velmi podobné uspořádání chodu denní plochy skvrn na severní polokouli během šesti set dnů nejdříve v letech 1907 až 1909 a pod tím v letech 1927 a 1928. Dva grafy v dolní části obrázku: chod denní plochy na jižní polokouli v období let 1893 a 1894 a pod tím v letech 1904 až 1906.



Obr. 2 Srovnání rozložení pozadových slunečních magnetických polí na slunečním povrchu v období Carringtonových otoček č. 1500 až 1820, tj. zhruba v období let 1965 až 1988, a chodu projekcí konjunkcí Merkura a Země na sluneční povrch. V levé části obrázku jsou magnetická pole záporné, v pravé části kladné polarity.

REFERENCE

- Ambrož P., 1972, Kandidát. disertač. práce, AsÚ ČSAV Ondřejov
 Bai T., 1988, *Astrophys. J.* 328, 860
 Bumba V., Hejna L., 1990, *Publ. Debrecen Obs.* 7, 92
 Bumba V., Hejna L., 1991, *Bull. Astronom. Inst. Czechosl.* 42, 76
 Dodson H. W., Hedeman E. R., 1975, *Solar. Phys.* 42, 121
 Prokudina V. S., 1983, *Trudy GAIŠ* LIII, 89,
 Kopecký M., Mayer P., Borovičková V., 1952, *Bull. Astronom. Inst. Czechosl.* 3, 38
 Link F., Kopecký M., 1948, *Bull. Astronom. Inst. Czechosl.* 1, 51
 Svalgaard L., Wilcox J. M., 1975, *Solar. Phys.* 41, 461
 Zieba S., Maslowski J., Michalec A., Kulak A., 2001, *A&A* 377,297