

Je sluneční aktivita spojená s variacemi momentu hybnosti Slunce?

*P. Kalenda, Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR Praha,
pkalenda @irsm.cas.cz*

J. Málek, Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR Praha, malek @irsm.cas.cz

Abstrakt

„Časové změny rychlosti rotace Slunce jsou způsobeny gravitačními silami planet. Rychlost rotace Slunce může ovlivňovat sluneční aktivitu.“ Pokud bychom prokázali tuto spojitost, mohli bychom předpovídat sluneční aktivitu z postavení planet, jak se o to pokoušela v minulosti řada autorů.

Sluneční soustava představuje s vysokou přesností izolovaný systém, jehož celkový moment hybnosti je v čase konstantní. Pokusili jsme se určit změnu rotačního momentu hybnosti Slunce tak, že jsme spočetli všechny ostatní příspěvky k celkovému momentu hybnosti. Z eferid planet (JPL NASA) bylo nejprve spočteno těžiště Sluneční soustavy. Vůči tomuto těžišti byl spočten časový průběh momentů hybností všech planet, největších planetek a orbitální moment hybnosti Slunce. Bylo ukázáno, že součet těchto momentů není konstantní a tyto změny jsou větší než je chyba měření. To lze vysvětlit buď existencí dalších dosud neznámých těles ve Sluneční soustavě nebo změnou rotačního momentu Slunce. Pokud bychom chtěli vysvětlit celou změnu pouze změnou rotačního momentu Slunce, dostali bychom nereálně velké změny rychlosti rotace. Změnu však nelze plně vysvětlit ani neznámými planetami obíhajícími kolem Slunce ve velké vzdálenosti, protože tyto planety mají příliš dlouhé oběžné doby a nemohou kompenzovat změny s periodami několika let až desítek let. Bylo však ukázáno, že lze nalézt řešení kombinací obou těchto efektů.

Byly uváženy dvě hypotetické planety, které kompenzují dlouhodobé změny momentu hybnosti. Zbytek považujeme za změnu rotačního momentu hybnosti Slunce. Ukazuje se, že takto vypočtené změny rotačního momentu Slunce korelují se Sluneční aktivitou.

Abstract

The explanation of the basis of gravitational influence of planets on solar activity could be variations of spin rotational momentum of the Sun transformed from orbital momentum of planets.

The relations between positions of planets and changes of spin momentum of the Sun were deduced. The result is: If the solar activity depends on changes of spin momentum of the Sun, the Sun is a gravitational compass, which shows the position of the mass center of the Solar system.

The position of the mass center of the Solar system was evaluated from ephemerides of planets (JPL NASA). The orbital momentums of planets and the Sun were then evaluated. It was shown that such sum of orbital momentum is not constant, but it has a prevailing period of about 11.82 years. Such changes of orbital momentum cannot be transformed into spin momentum of the Sun due to its high value. It was shown that we are able to optimize the position of the mass center of the Solar system (adding undiscovered mass) in such way that the changes of orbital momentum of all the Solar system are comparable with observed changes of spin momentum of the Sun. Jupiter and Saturn have the biggest uncompensated rests of orbital momentum in this case.

The numerical model of solar activity was built. In this model there are only a few parameters like the starting position of the mass center and its average angular velocity, the starting position of Jupiter (depending on the position of mass center), and a starting position of Saturn and Neptune and their interference period.

1. ÚVOD

Vazbou sluneční aktivity na polohy planet nebo barycentra Sluneční soustavy se zabývala řada autorů (Jose 1965, Landscheidt 1983, 1986, 1988, 1999, Charvátová 1988, 1990, 1997, 2000, Charvátová and Střeščík 2004). Jose (1965) ukázal, že v prvním přiblížení jsou změny sluneční aktivity podobné změnám momentu hybnosti Slunce ve 22-letém Haleho cyklu (Hale and Nicholson 1925) když vezme do úvahy přepólování sudých a lichých cyklů. Landscheidt (1999) ukázal, že 178,8-letá společná perioda planet Sluneční soustavy představuje synchronizační bod časování maxim a minim 11-letých Schwabeho cyklů, ačkoli příspěvek orbitálního momentu Slunce dosahuje pouze 25% celkového úhlového momentu. Větší část rotačního momentu Slunce je tvořena spinovým momentem, který se také mění, jak ukázal Clark et al. (1979) ve shodě se změnou aktivity Slunce. Charvátová (2000), Charvátová and Střeščík (2004) ukázali, že stejné periody, které jsou pozorovány ve změně uspořádání trajektorie Slunce okolo těžiště velkých planet, jsou pozorovány i ve sluneční aktivitě. Přestože DeJager and Versteegh (2005) propočítali, že jak slapové síly, tak gravitační síly, působící na změny rotačních momentů Slunce by měly být zanedbatelné a variabilita sluneční aktivity by měla být plně modelována a vysvětlena slunečním dynamem (Weiss and Tobias 2000), pokusili jsme se verifikovat Joseho hypotézu, že sluneční aktivita je řízena polohami planet a souvisí se změnami momentu hybnosti Slunce.

Ve druhé kapitole se pokusíme ukázat, že dodnes nejsou známa všechna větší tělesa ve Sluneční a že Slunce obíhá okolo jiného bodu, než je těžiště známých planet a těles.

Ve třetí kapitole se pokusíme odhadnout rozložení dosud neznámých hmot ve Sluneční soustavě a odhadnout jejich hmotnost a momenty, určující barycentrum celé soustavy.

Ve čtvrté kapitole teoreticky odvodíme, že pokud sluneční aktivitu určuje změna orbitálního momentu Slunce, pak se Slunce chová jako gravitační kompas a ze sluneční aktivity by bylo možno odvodit směr k barycentru celé Sluneční soustavy.

V páté kapitole ukážeme na datech sluneční aktivity (Wolfových číslech), že je lze modelovat na základě gravitačního kompasu a spočteme střední periodu Slunce okolo barycentra. Ukážeme taky, jak jsou vidět pohyby známých i neznámých těles ve sluneční aktivitě.

V šesté kapitole se pokusíme nastínit hypotézu o slapovém tření, jako možném mechanismu přenosu částí orbitálních momentů na rotační moment Slunce, který řídí sluneční aktivitu.

2. ZACHOVÁNÍ MOMENTU HYBNOSTI IZOLOVANÉ SOUSTAVY

Sluneční soustava představuje s velkou přesností izolovaný mechanický systém, ve kterém platí zákon

zachování vektoru momentu hybnosti L . Při výpočtu celkového L je nutno pracovat v inerciální souřadné soustavě. Pokud odhlédneme od oběhu Sluneční soustavy okolo středu Galaxie, tak s dostatečnou přesností můžeme pracovat v soustavě jejímž počátkem je těžiště celé Sluneční soustavy tzv. barycentrum. Osy x a y leží v rovině ekliptiky, osa x míří do jarního bodu, osa z je kolmá na ekliptiku. V této souřadné soustavě je celkový moment hybnosti dán součtem orbitálních a rotačních momentů všech těles. V Tabulce č.1 jsou odhady středních momentů hybnosti planet a Slunce (citace). Střední velikost orbitálního momentu hybnosti tělesa o hmotnosti M je spočtena ze střední vzdálenosti R a oběžné doby T kolem barycentra

$$L^O = MR^2 \frac{2\pi}{T} \quad /1/$$

Vektory L^O všech planet i Slunce jsou orientovány přibližně kolmo na rovinu ekliptiky.

Velikosti rotačního momentu tělesa (spin momentum) L^S s momentem setrvačnosti J je spočtena z vlastní doby rotace t jednotlivých těles

$$L^S = J \frac{2\pi}{t}, \quad /2/$$

kde J je moment setrvačnosti tělesa. Rotační momenty L^S jsou orientovány stejně jako osy rotace těles do různých směrů.

Problém je s odhadem rotačního momentu Slunce L_S^S , kde hraje velký vliv diferenciální rotace, proto je třeba údaj uvedený v tabulce považovat pouze za hrubý odhad. Vidíme, že největší část momentu hybnosti je tvořeno orbitálními momenty velkých planet, Jupitera, Saturnu, Uranu a Neptunu. Mnohem menší část představují orbitální momenty ostatních planet Merkuru, Venuše, Země a Marsu. Ještě menší část je soustředěna v rotačním a orbitálním momentu hybnosti Slunce L_S^S a L_S^O , které sice obsahuje více než 99,9% hmotnosti celé Sluneční soustavy, ale soustřeďuje jen 2,5% celého rotačního momentu soustavy. Zcela zanedbatelná část L je tvořena spinovými rotačními momenty planet.

Zcela jiné rozložení mezi jednotlivá tělesa však mají časové změny momentu hybnosti, které byly spočteny od roku 1750 do současnosti (Tab.1).

Pokud tedy předpokládáme, že Sluneční soustava představuje izolovaný systém a nepůsobí na ni žádné vnější síly, pak by mělo platit, že součet všech rotačních momentů je v každém okamžiku konstantní. Momenty všech planet a Slunce jsme počítali na základě vztahu

$$\underline{L} = \underline{r} \times m \underline{v}, \quad /3/$$

z efemerid planet, publikovaných NASA na stránkách (<http://ssd.jpl.nasa.gov/cgi-bin/eph>). Orbitální momenty planet jsme počítali od roku 1749 do roku 2100 s krokem 10 dní z efemerid barycenter planet a jejich satelitů, vztažených k pozorovateli ve středu Slunce. Období od roku 1749 bylo vybráno z toho důvodu, že od tohoto roku jsou k dispozici měsíční resp. denní Wolfova čísla sluneční aktivity.

Tab. 1 Základní parametry Slunce a planet s měsíci.

Těleso	Střední vzdálenost R (AU)	Hmotnost M (M_Z)	Střední doba oběhu T (rok)	Střední doba rotace t (den)	Moment setrvačnosti J ($M_Z \cdot \text{AU}^2$)	Střední orbit. m. L^O ($M_Z \cdot \text{AU}^2 \cdot \Omega_Z$)	Střední rotační m. L^S ($M_Z \cdot \text{AU}^2 \cdot \Omega_Z$)	Maximální odchylka orbit. m. ΔL^O ($M_Z \cdot \text{AU}^2 \cdot \Omega_Z$)	Maximální odchylka rotač. m. ΔL^S ($M_Z \cdot \text{AU}^2 \cdot \Omega_Z$)
Slunce	0,00228	343327	12,575	25,4-29	2,214322964	0,891741	188,1165772	5,927637	1,9
Merkur	0,318	0,055	0,243	58,65	0,000000045	0,191433	0,0000000	0,008160	0
Venuše	0,723	0,815	0,615	243	0,000003980	4,290476	0,0000000	0,059098	0
Země	1,000	1,012	1,000	1,00	0,000005966	6,327495	0,0000013	0,062085	0
Mars	1,452	0,107	1,884	1,0154	0,000000215	0,828068	0,0000000	0,005461	0
Jupiter	5,173	317,866	11,868	0,3958	0,181193525	4547,12	0,1049456	7,922467	0
Saturn	9,043	95,175	29,432	0,4225	0,046105129	1842,69	0,0250306	1,909369	0
Uran	19,830	14,537	83,747	0,4370	0,001271684	399,87	0,0006673	0,113119	0
Neptun	29,986	17,149	163,721	0,6450	0,001406627	590,94	0,0005002	0,048304	0
soustava						7393,14	188,2477225	4,086494	1,9

V prvním kroku jsme předpokládali, že neznámá hmota v pásu asteroidů mezi Marsem a Jupiterem je osově symetricky rozložená, stejně tak jako hmota Kupierova pásu a hmota Oortova oblaku. Tato hmota proto nemůže ovlivnit polohu těžiště, kterou jsme proto spočítali z poloh známých planet včetně Pluta a jejich satelitů a planetky 2003UB313.

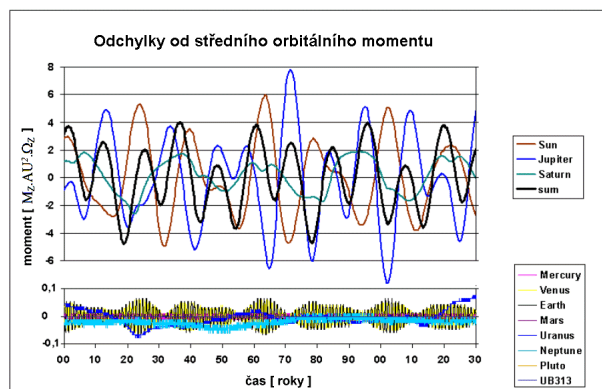
Na obrázku č.1 jsou vyneseny časové průběhy změn orbitálních momentů obřích planet, Slunce a celého systému. Pro známá tělesa je patrné, že největší změny momentů jsou u Jupitera, Saturnu a Slunce, ale změna momentu celé soustavy je s nimi srovnatelná.

3. HMOTY VE SLUNEČNÍ SOUSTAVĚ

Protože předpokládáme, že zákon zachování celkového rotačního momentu platí, sledovali jsme, zda jsme schopni nalézt takové hmoty a jejich polohu, aby platilo, že celkový rotační moment Sluneční soustavy je konstantní, tedy $dL/dt=0$. V prvním přiblížení jsme zanedbali možnou transformaci části změny orbitálního rotačního momentu Slunce do jeho spinového rotačního momentu, jak předpokládal Landscheidt (1999), protože podle odhadu by měla být řádově menší, než jsou vzájemné transformace orbitálních momentů mezi Sluncem a planetami navzájem. Minimalizovali jsme proto funkci změny celkového orbitálního rotačního momentu $\Sigma(dL_i/dt) = \min$ tak, že jsme do Sluneční soustavy dosadili další tělesa (nebo společné těžiště více těles) a následně optimalizovali parametry jejich polohy a velikosti hmotnosti.

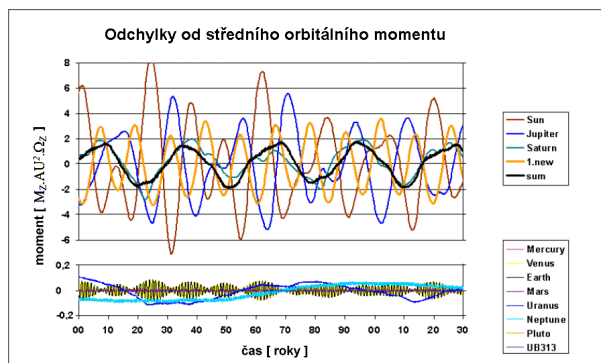
Jako hledané parametry neznámých těles byly uvažovány pouze jejich hmotnost, počáteční poloha k 1.1.1749 a jejich orbitální perioda. Poloměr kruhové orbity jsme vypočítali na základě 3.Keplerova zákona z orbitální periody.

Po dosažení jednoho tělesa se změna celkového orbitálního momentu soustavy zmenšila na cca 1/2 původní hodnoty (viz obr. 2). Je zajímavé, že toto jedno těleso (těžiště) eliminovalo téměř úplně účinky změn dL/dt , vyvolané zejména působením Jupitera na ostatní planety a Slunce. Výsledný součet odchylek orbitálních momentů celé soustavy má téměř totožný průběh s odchylkami orbitálního momentu Saturna (viz obr. 2). Po dosažení druhého tělesa již nedošlo k dalšímu snížení reziduí.



Obr. 1 Změny orbitálních rotačních momentů planet, Slunce a Sluneční soustavy.

Dále jsme přepočítali efemeridy všech těles do inerciální soustavy s počátkem v barycentru celé soustavy. Nakonec jsme spočetli časové průběhy orbitálních momentů L^O pro všechna tělesa včetně Slunce a sečetli je dohromady. Zjistili jsme, že změny celkového orbitálního momentu L^O nejsou nulové a naopak jsou tak veliké, že je zcela nereálná jejich transformace do rotačního momentu Slunce L^S jak předpokládal Landscheidt (1999), aby platilo, že změny celkového momentu hybnosti celé Sluneční soustavy L budou nulové. V tomto případě by se musela perioda vlastní rotace Slunce měnit v rozmezí $\pm 2\%$, tedy $\pm 0,6$ dne. Z tohoto vyplývá, že buď neplatí zákon zachování rotačního momentu soustavy, nebo Sluneční soustava, jak ji dnes známe, není úplná.



Obr. 2 Změny orbitálních rotačních momentů planet, Slunce a Sluneční soustavy po zavedení 1. neznámé hmoty.

Numerickým modelováním rozložení nesymetrických hmot ve Sluneční soustavě jsme nebyli schopni eliminovat změny celkového orbitálního rotačního momentu Sluneční soustavy na minimum tak, aby platil zákon zachování rotačního momentu celé soustavy. Z tohoto vyplývá, že pokud má platit zákon zachování rotačního momentu izolované soustavy, což Sluneční soustava s velkou přesností splňuje, musí se část orbitálního momentu planet přeměňovat na spinový rotační moment Slunce. Protože bez zavedení nesymetrických hmot by se musela perioda vlastní rotace Slunce měnit v průběhu slunečního cyklu o přibližně 0,6 dne, budou se pravděpodobně ve Sluneční soustavě nacházet dosud neznámé, nesymetricky rozložené hmoty (viz tab 2), které přebírají části orbitálních momentů ostatních planet. Poté je možno uvažovat o změně vlastní periody rotace Slunce v rozmezí přibližně 0,27 dne, kterou je možno kompenzovat zbytkový rotační orbitální moment soustavy. Je možno uvažovat i řešení mezi oběma krajními variantami.

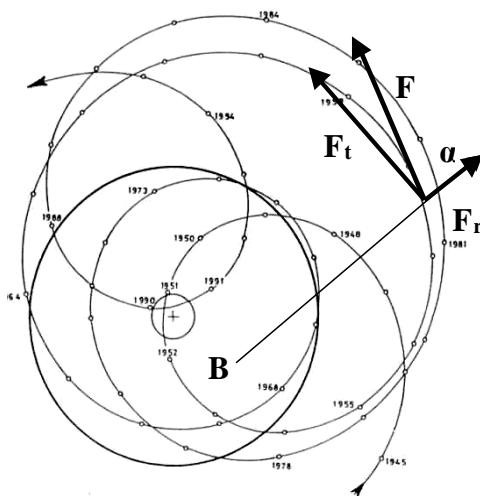
Kromě těchto hmot se ve Sluneční soustavě budou jistě nacházet dosud neznámé hmoty, avšak symetricky rozložené okolo barycentra, které však nemají žádný vliv na změnu celkového rotačního momentu právě proto, že nijak neovlivňují polohu barycentra na rozdíl od nesymetricky rozložených hmot, které sice svými přímými gravitačními účinky nepůsobí významně na změnu rotačního momentu velkých těles Sluneční soustavy, ale významně posunují polohu těžiště, okolo kterého všechna tělesa obíhají. Tím se v rovnici /3/ mění vektor \mathbf{r} , vůči kterému se vztahuje silový moment $m\mathbf{v}$, daný převážně působením obřích planet.

Tab. 2 Efemeridy neznámých hmot ve Sluneční soustavě.

	Hmotnost [mZemě]	Vzdálenost [AU]	Poč.úhel deg k 9.1.1749
těžiště neznámých hmot	2,3	1140	350

4. PROBLÉM TŘÍ TĚLES A GRAVITAČNÍ KOMPAS SLUNCE

Z rovnice /3/ vyplývá jeden důležitý poznatek. V soustavě tří a více těles všechna tělesa obíhají okolo barycentra celé soustavy a obecně vektor celkové působící gravitační síly \mathbf{F} na jakékoli těleso (uvažujme v našem případě Slunce) není totožný se směrem k barycentru celé soustavy, dochází ke změnám orbitálních momentů hybnosti každého z těles. Vektor \mathbf{F} si můžeme rozložit do dvou složek – radiální složky \mathbf{F}_r a tangenciální složky \mathbf{F}_t (viz obr.3).



Obr. 3 Trajektorie středu Slunce vůči barycentru (podle Jose, 1965).

Protože radiální složka \mathbf{F}_r působí ve směru k barycentru, její vektorový součin s průvodičem k barycentru bude nulový. Tato složka tedy nepůsobí na změnu orbitálního rotačního momentu Slunce. Proto v případě 2 těles nebude žádné z obou těles měnit svůj orbitální rotační moment \mathbf{L} a budou podle 2.Keplerova zákona obíhat po eliptických drahách.

To ovšem neplatí u tří a více těles. V tomto případě bude vždy (až na konečný počet okamžiků za jednu orbitální periodu) existovat tangenciální složka gravitačních sil okolních těles \mathbf{F}_t , která bude měnit orbitální rotační moment každého z těles a ty si budou mezi sebou reverzibilně transformovat své rotační momenty. Trajektorie těles v takové soustavě nebudou elipsy a ani obecně uzavřené křivky.

Pokud budeme předpokládat ve shodě s Jose (1965), Clark et al. (1979), Blizard (1982) nebo Landscheidt (1999), že část změny orbitálního rotačního momentu Slunce se bude transformovat do jeho spinového rotačního momentu, pak tuto část můžeme popsat vztahem

$$dL_S^S/dt = Q dF/dt \sin \alpha, \quad /4/$$

kde Q je faktor účinnosti transformace orbitálního na spinový rotační moment, \mathbf{F} je velikost výsledného vektoru gravitačních sil všech planet a α je úhel mezi

vektorem F a průvodičem k barycentru r . Z tohoto vztahu vyplývá, že pokud by sluneční aktivita W byla závislá na velikosti změny spinového rotačního momentu Slunce podle vztahu

$$W = K \text{ abs}(dL_S^S / dt), \quad /5/$$

pak by bylo možno určit směr k barycentru α a Slunce by představovalo svou aktivitou gravitační kompas. Protože v průběhu jedné otočky Slunce okolo barycentra by došlo k minimálně dvěma polohám, ve kterých jsou tangenciální složky síly F_t nulové a ke dvěma polohám, ve kterých jsou tangenciální složky síly F_t maximální (i když s opačnými znaménky), pozorovali bychom dvě maxima sluneční aktivity v průběhu tohoto jednoho oběhu. Současně bychom pozorovali v jedné polovině oběhu zrychlování spinu Slunce a ve druhé polovině oběhu jeho zpomalování. Opět diferenciální rotace Slunce by vykazovala 2 maxima – jedno kladné a jedno záporné. Tento důsledek by potvrdil předpoklad Jose (1965), který reverzoval polarity sluneční aktivity podle čísla cyklu (kladné cykly opačně než záporné) a teprve takovou sluneční aktivitu srovnával se změnou orbitálního rotačního momentu a vyvracel by připomínku DeJager and Versteegh (2005), že není důvodu takto činit.

Diferenciální rotace Slunce by se však nakládala na vlastní rotaci Slunce a proto projevy v sudých a lichých (resp. kladných a záporných) slunečních cyklech podle Schwabeho (1843) by byly rozdílné jak co do délky, tak co do amplitudy.

Protože gravitační vliv planet na Slunce je převážně dán vlivy Jupitera, je možno v prvním přiblížení říci, že pokud by Slunce bylo oním gravitačním kompasem, pak bychom měli pozorovat maxima sluneční aktivity v době, kdy průvodič Jupitera ze Slunce by byl přibližně kolmý na průvodič k barycentru. Ve změně směru k barycentru by měly být pozorovatelné zejména projevy Jupitera a dále i Neptuna, který sice má zanedbatelné gravitační působení vůči Jupiteru, zato však významně ovlivňuje polohu barycentra, protože má současně velkou hmotnost a velkou poloosu orbity a jeho moment mr je velký a srovnatelný s Jupiterem. Ve změnách úhlu α bychom měli pozorovat i směr k těžišti dosud neznámých hmot a jeho změnu (střední úhlovou rychlost těžiště).

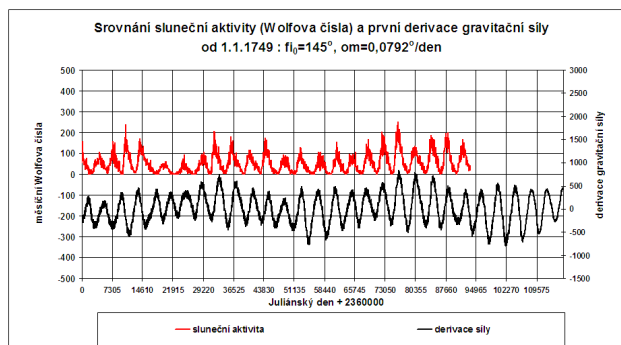
5. SLUNEČNÍ AKTIVITA A JEJÍ MODELOVÁNÍ

Protože neznáme přesně polohy dosud neznámých těles ve Sluneční soustavě a jsme schopni pouze odhadnout střední úhlovou rychlost jejich těžiště případně několika těžišť, můžeme v prvním přiblížení považovat střední úhlovou rychlost neznámých hmot v období od 1.1.1749 do 1.1.2100 za konstantní a sledovat, jak se bude měnit střední úhlová rychlost celé Sluneční soustavy v tomto období.

Když spočítáme střední oběžnou dobu Slunce okolo těžiště známých planet Sluneční soustavy, tak nám vyjde $T_r \approx 19.1$ roků (recent). Pokud do Sluneční soustavy dosadíme hmotu, zjištěnou pomocí

minimalizace změn rotačního orbitálního momentu L (viz kap.3), tak střední perioda celé Sluneční soustavy bude $T_u \approx 24,89$ roků.

Střední oběžnou dobu Slunce okolo těžiště soustavy můžeme také spočítat přímo ze sluneční aktivity za předpokladu, že je Slunce skutečně gravitačním kompasem, jak bylo ukázáno v kapitole 4. Protože gravitační síly všech známých planet jsou mnohem větší než gravitační síly dosud neobjevených těles (gravitace klesá s druhou mocninou vzdálenosti na rozdíl od posunu těžiště, které je úměrné vzdálenosti), jsme schopni spočítat s velkou přesností vektor gravitačních sil F . V prvním přiblížení pak můžeme střední úhlovou rychlost barycentra celé Sluneční soustavy považovat za konstantní a modelovat proxysluneční aktivitu podle vztahů /4/ a /5/ s tím, že budeme optimalizovat pouze 2 parametry průvodiče barycentra, tedy počáteční longitudu průvodiče φ_0 v čase t_0 a střední úhlovou rychlost ω_T tak, aby za celé sledované období od 1.1.1749 do 1.1.2006 byl stejný počet cyklů sluneční aktivity a modelované sluneční aktivity.



Obr. 4 Srovnání sluneční aktivity (Wolfova čísla) a změny orbitálního rotačního momentu Slunce pro $\varphi_0 = 145^\circ$ k 1.1.1749 a střední úhlovou rychlost $\omega_T = 0,0396^\circ/\text{den}$.

Při vlastním výpočtu jsme „nepřeklápěli“ Wolfova čísla sluneční aktivity, jak to udělal Jose (1965), ale zdvojnásobili jsme zdánlivou úhlovou rychlost ω , takže jsme dosáhli frekvenční shody teoretické křivky sluneční aktivity, počítané z derivací tangenciálních složek gravitačních sil planet, se sluneční aktivitou. Amplituda však bude v poměru jen jako obálka maximálních amplitud.

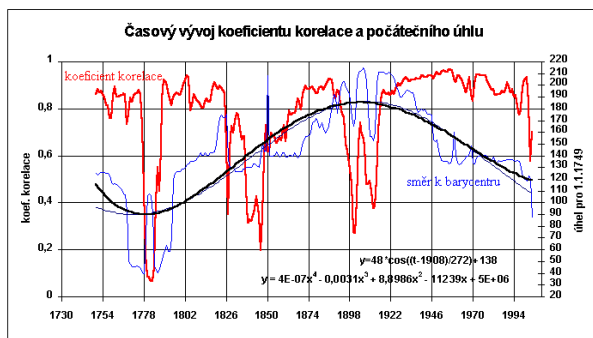
Získané výsledky jsou na obr. 4. Je dobře patrné, že pro střední periodu $T_u = 24,88$ let je počet period sluneční aktivity shodný s teoretickým počtem period a s korelací větší než 0,56 za období od roku 1800 do roku 2006 si obě křivky odpovídají i amplitudově. Protože však ve skutečnosti není pohyb Slunce okolo barycentra rovnoměrný s jednou úhlovou rychlostí, je možno optimalizovat parametry φ_0 a střední úhlovou rychlost ω_T pro kratší úseky, pro které se pak koeficient korelace pohybuje nad hodnotami 0,9 ve větší části celého období od roku 1749 do roku 2006. Střední perioda $T_u = 24,88$ let odpovídá periodě, získané přímo ze změny rotačního orbitálního momentu celé Sluneční soustavy (viz kap. 3). Protože oba výpočty jsou na sobě

zcela nezávislé, je možno říci, že je tím potvrzena hypotéza, že Slunce je svou aktivitou gravitačním kompasem a současně jeho aktivita je závislá na časové derivaci rotačního orbitálního momentu, který je pravděpodobně částečně transformován do spinového rotačního momentu Slunce. Za numerické potvrzení této teze může být použito Wolfových čísel sluneční aktivity a z nich odvozených oprav středních směrů k barycentru. Pokud se v opravách středních směrů bude vyskytovat jen vliv Jupitera na barycentrum, pak tento výpočet může být náhodnou shodou okolností a časovou korelací dvou dějů bez jejich příčinné souvislosti. Pokud se ve srovnání teoretické sluneční aktivity se skutečnou projeví vliv Neptuna, který jak víme má velký vliv na těžiště Sluneční soustavy ($\approx 13\%$), nebo tam dokonce uvidíme pomalý posun těžiště vůči ostatním známým planetám, pak je dokázáno, že referenční směr je skutečně směr k těžišti a je obsažen v datech o sluneční aktivitě, protože v teoretických hodnotách proxysluneční aktivity z gravitačních vlivů obsažen není (neznámé hmoty), resp zanedbatelně (Neptun $\approx 0,1\%$).

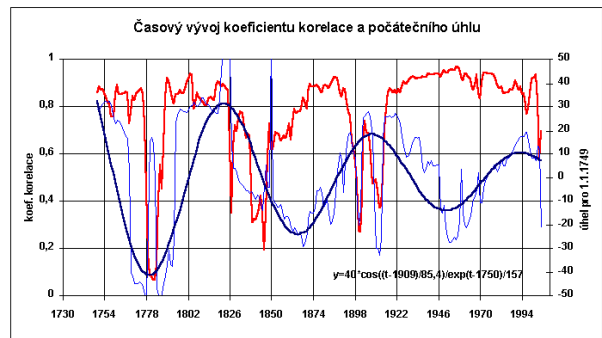
Základní perioda cca 272 let na obrázku č.5a představuje synodickou periodu mezi Jupiterem a dvojnásobnou střední úhlovou rychlostí ω , danou vztahem

$$1/T_S = (1/T_J - 1/T_T), \quad /6/$$

Pokud je $T_J = 11,87$ a $T_T = 12,41$, pak $T_S = 272$ let. Po odečtení dlouhodobého vlivu Jupitera na polohu těžiště Sluneční soustavy (viz obr. 5b), tedy periody 272 let, se jako základní ukazuje perioda 85,4 let, tedy přibližně polovina siderické periody Neptuna (163,7 let) nebo přibližně perioda Uranu (83,7 let) nebo synodická perioda těžiště známých planet (19,1 let) vůči těžišti celé soustavy, dosazené jako střední směr k barycentru ($T_B = 24,8$ let; $T_S = 83,1$ let) nebo nejpřesněji synodická perioda Neptuna vůči společné periodě známých planet Jose (1965) ($T_O = 178,7$; $T_S = 85,46$ let). Tím je důkaz proveden, že v datech sluneční aktivity jsou obsaženy údaje o polohách Neptuna a Uranu, které by měly být při výpočtu jejich gravitačních vlivů zanedbatelné oproti Jupiteru nebo i Venuši a Zemi.



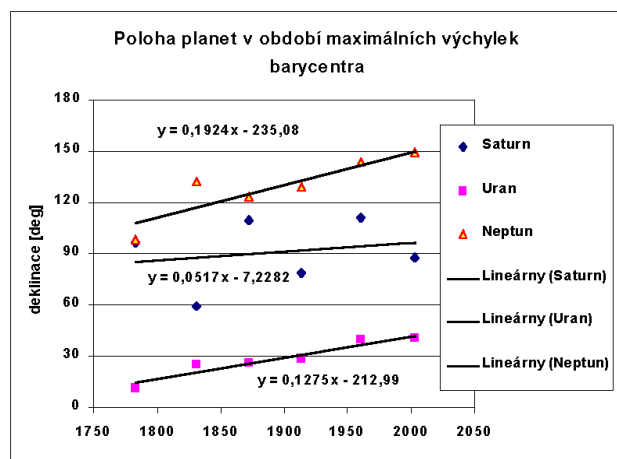
Obr. 5a Odchylky směru k těžišti od středního směru pro konstantní $\omega_T = 0,0396^\circ/\text{den}$ a koeficienty korelace mezi teoretickou proxysluneční aktivitou a Wolfovými čísly.



Obr. 5b Odchylky směru k těžišti od středního směru po odečtení vlivu Jupitera (perioda 272 let).

Jako přívažek můžeme uvést, že perioda přibližně 80 - 85 let je známá z klimatologie jako Gleisbergův cyklus (Gleissberg 1945). Z naší analýzy vyplývá, že tato perioda je dána zejména vlivem Neptuna a Uranu a jejich postavením vůči Jupiteru a Saturnu.

Pokud výchylky směru k barycentru udávají zejména Jupiter a Neptun, pak v časech extrémů musí zaujímat vždy specifickou pozici vůči směru k barycentru. Pokud ve Sluneční soustavě existují dosud neznámé hmoty, pak se tento směr bude měnit v čase s přibližně konstantní rychlostí. Pokud takové planety neexistují, pak směr k barycentru celé Sluneční soustavy bude dán zejména polohou Jupitera nebo se bude od této polohy nevýznamně a statisticky náhodně lišit. Pokud si polohy planet vyneseme v časech extrémů do grafu (viz obr.6), vidíme, že nejsou vůbec náhodné a vůči jarnímu bodu se posunují přibližně o 30° za 200 let. Přesněji směr, vůči kterému vykazují známé planety maximální výchylky má v období od roku 1749 do roku 2006 střední oběžnou dobu cca 2700 - 2800 let.



Obr. 6 Polohy planet v dobách maximálních výchylek směru k barycentru.

6. NÁSTIN TEORIE PŘEMĚNY FOREM ROTAČNÍCH MOMENTŮ PŘES SLAPOVÉ TŘENÍ

To, že se mění rychlost rotace Slunce v průběhu slunečního cyklu si všimli už Clark et al. (1979), kteří ukázali, že v roce 1957, kdy byla téměř třikrát vyšší sluneční aktivita než v roce 1884, rotace Slunce v zóně slunečních skvrn trvala téměř o půl dne déle než v roce 1884. Dnes s rozvojem helioseismologie P.Giles (1999) ukázal, že diferenciální rotace na tachoklině se ve vyšších šířkách výrazně změnila v roce 1998 oproti předchozím dvěma letům, což dal do souvislosti s výraznou změnou sluneční aktivity.

Blizard (1982) spočítal, že pokud by přešla celá změna orbitálního rotačního momentu Slunce do jeho spinového rotačního momentu, změnila by se rovníková úhlová rychlost o 5%. Náš propočet ukazuje, že se může rotační perioda Slunce měnit v rozmezí $\pm 2,2\%$ bez uvažování dosud neznámých asymetricky rozložených hmot a s jejich uvažováním v rozmezí $\pm 1\%$ ze střední rotační periody.

I kdyby jen část změny orbitálního rotačního pohybu Slunce přešla do jeho spinového rotačního momentu, tak jelikož má Slunce vrstevnatou strukturu s nejvýznamnější dělicí plochou – tachoklinou, která odděluje pevné jádro od plynného obalu a je situována ve vzdálenosti $r/R = 0.693$ od středu Slunce (Kosovichev 1996), tak by došlo ke změně diferenciální rotace na této ploše a ke vzniku turbulentních proudů. Přestože dosud neznáme přesný mechanismus vlivu změny diferenciální rychlosti na jaderné reakce, odehrávající se poblíž tachokliny, kam umísťují zdroj solárního dynamo jeho autoři (Weiss and Tobias 2000, Ossendrijver 2003, Bushby and Mason 2004), můžeme konstatovat, že tuto změnu diferenciální rotace svázanou se změnou aktivity Slunce popsala řada autorů (Clark et al. 1979, Gelfeikh et al. 2000, 2004). P.Rovithis odhadl, že variace siderické denní rotace v řádu 3% souvisí se sluneční aktivitou.

Jaké jsou tedy možnosti přenosu části orbitálního rotačního momentu na spinový?

Prvním možným mechanismem je přímé slapové působení, které umožňuje měnit poměr velikosti poloos trojosého elipsoidu, ke kterému můžeme v prvním přiblížení Slunce přirovnat. Pokud se poměr velikosti poloos blíží k jedné, pak dochází ke zmenšování momentu setrvačnosti elipsoidu, který se pak musí otáčet rychleji, aby si zachoval moment hybnosti. Při zvětšování slapových sil se poměr velikosti poloos zvětšuje a moment setrvačnosti elipsoidu narůstá, Slunce se „natahuje“ ve směru působící síly a jeho rotace klesá. Tento mechanismus však v žádném případě nevysvětluje přenos orbitálních rotačních momentů planet na spinový rotační moment Slunce, protože změny délek poloos přímým slapovým působením jsou pod měřicími možnostmi soudobé techniky v řádu milimetrů (Klvaňa et al. 2004).

Druhou možností je připustit, že hmoty jsou na Slunci rozloženy nesymetricky a při oběhu Slunce okolo

barycentra vznikají vlivem přímého gravitačního působení zejména Jupitera dvojice nesymetrických sil. V době, kdy je Jupiter „před“ barycentrem (ve smyslu rotace z pohledu ze Slunce), působí nenulová výslednice dvojice sil ve prospěch vlastní rotace Slunce přes slapové tření, které způsobuje turbulence zejména v okolí tachokliny, oddělující fyzikálně odlišná prostředí. Naopak, v době, kdy je Jupiter „za“ barycentrem, působí nenulová výslednice sil proti rotaci přes slapové tření. Takto může docházet ke změnám rotačního momentu Slunce přes slapové tření. Předpokládáme, že v žádném případě nebude v průběhu jedné poloviny synodického cyklu Jupitera-barycentra, tedy v průběhu přibližně 22 let zcela absorbován nedokompenzovaný zbytek orbitálních momentů planet. Současně předpokládáme, že největší účinnost tohoto mechanismu bude v první fázi změny orientace, kdy je relativně velký rozdíl mezi úhlovými rychlostmi a teoretickými úhlovými rychlostmi, vyplývajícími z nedokompenzovanosti orbitálních momentů. Tato nedokompenzovanost se bude ke konci poloviny cyklu, tedy v blízkosti 11 let od počátku Schwabeho cyklu postupně snižovat. Z toho by mohla vyplývat asymetrie slunečních cyklů a jejich překrývání, kdy na jedné části Slunce je již úhlová rychlost kompenzována a na jiné nikoli. Jak vyplývá z obrázků č.1 a 2, ať už jsou ve Sluneční soustavě přítomny další neznámé hmoty či nikoli, vlastní nedokompenzovaný orbitální moment Sluneční soustavy se mění s periodami přibližně 12,5 nebo 30 let nebo jejich interferencí. Amplituda tohoto nedokompenzovaného zbytku momentu bude mít proto i vliv na výslednou amplitudu slunečního cyklu podle vztahu /5/ a proto budou rozdílně dlouhé jednotlivé cykly a budou mít i různou maximální aktivitu. Budou však obsahovat stejné periody, jaké jsou obsaženy v pohybu Slunce okolo barycentra i periody, jaké jsou obsaženy v synodických periodách planet a barycentra a planet a Slunce.

7. DISKUSE

Dosud není znám přesný mechanismus změny sluneční aktivity. *Sluneční dynamo je jen matematickým modelem jeho elektromagnetických vnějších projevů a neřeší otázku jeho geneze ani nevysvětluje základní redistribuci momentů (Brun 2004) a navíc není ve své podstatě dlouhodobě stabilní.*

Harmonická analýza dat ukazuje, že ve sluneční aktivitě jsou obsaženy stejné periody, jaké jsou v pohybu Slunce okolo barycentra (Jose 1965, Charvátová 1988, 1990, 1997, 2000, Landscheidt 1999) nebo pohybu planet okolo Slunce (Bigg 1967, Wood 1972, Gribbin and Plagemann 1974, Blizard 1987, Diamantides 1998, Charvátová and Střeštík 2004). Aktivita Slunce je pravděpodobně dlouhodobě stabilně vázána na polohy planet, jak si můžeme ukázat například na datech izotopu ^{10}Be (Solanki et al. 2004).

Když se podíváme na polohy skvrn na Slunci a vyneseme si na povrch Slunce současně i polohy

konjunkcí nebo opozic planet, které mají největší slapové účinky (Merkur-Země, Merkur-Venuše, Venuše-Země), pak vidíme velice dobrou shodu jejich poloh (Bumba et al. 2002, Bumba 2003). Současně jsou skvrny na Slunci rozloženy téměř vždy symetricky na protilehlých stranách Slunce obdobně, jako slapové vlny. Přesto se nepodařilo na povrchu fotosféry Slunce nalézt povrchové slapové vlny (Klvaňa et al. 2004) a z výpočtu vyplývá, že by slapové vlny měly být zanedbatelně veliké řádu 1 mm (Klvaňa et al. 2004) a jejich zrychlení by mělo mít řádově menší vliv než setrvačné zrychlení dané zakřivením orbity oproti elipse (DeJager and Versteegh 2005).

V našem předloženém návrhu modelu možného působení planet na Slunce gravitačním působením v tangenciálním směru ke směru na barycentrum Sluneční soustavy jsou pak zahrnuty oba vlivy. Vliv změny polohy barycentra celé soustavy a změna polohy a velikosti gravitačních sil. Hlavním určujícím prvkem sluneční aktivity je pak poloha Jupitera vůči směru k barycentru a koeficient přenosu jedné formy rotační energie v jinou (funkce Q ve vztahu /4/) je pak dán slapovým třením, které je dáno slapovými vlivy planet. Vlastní řízení termojaderné reakce (funkce K ve vztahu /5/) je nelineární, jak vidíme z nestejných rychlostí nárůstu a poklesu sluneční aktivity v průběhu jednoho cyklu.

Náš model vysvětluje všechny pozorované změny sluneční aktivity, popsané výše uvedenými autory, dané jak oběžnými periodami planet, pohybem těžiště i výskytem skvrn nad místy s největšími slapovými vlivy nebo jejich absencí v následujícím dlouhém období. Vysvětluje taky podstatu vzniku slunečního cyklu, danou zejména oběhem Jupitera okolo barycentra celé Sluneční soustavy, kdy se za jeden Schwabeho cyklus (cca 11 let) dostává Jupiter do kvadratury s barycentrem v době v okolí maxima sluneční aktivity. V době jedné kvadratury je změna spinového rotačního momentu Slunce největší, přičemž v době dalšího slunečního maxima je změna spinového rotačního momentu Slunce opět největší, avšak má opačné znaménko. Tím je vysvětlen úplný magnetický Haleho cyklus (cca 22 let). Nabité částice v okolí tachokliny jsou nuceny se jednou pohybovat v magnetickém poli jedním směrem a v dalším slunečním cyklu právě opačným směrem. Tím současně přepólovávají remanentní magnetické pole samotného Slunce. Velikost remanentní magnetizace způsobuje, že magnetické pole se nepřepóluje ihned, ale po dlouhou dobu si uchovává svou paměť na svou minulou velikost, z čehož je možno predikovat i délku a velikost nastávajícího cyklu (Dikpati et al. 2006). Délka cyklů není stále stejná, protože to závisí na polohách dalších velkých planet, zejména Neptuna a Uranu, které výrazně ovlivňují směr k barycentru a to až o 45°. Vlivem dalších planet je taky možno vysvětlit občasný nejednoznačný nástup nového cyklu s několikerým zvratem magnetické orientace.

Náš model je schopen predikovat jak relativní velikost slunečního cyklu (viz obr. 4), tak i střednědobé

a dlouhodobé cykly, mající vliv na klimatické změny na Zemi, protože se ukazuje, že sluneční aktivity a dlouhodobé klimatické změny na Zemi jsou spolu těsně svázány (Eddy 1976, Gupta et al. 2005). (*Srovnej polohu planet 21.1.2121 a BC21.1.10392 s koncem poslední doby ledové, která je datována do BC10700 +- 300 let nebo planetární vlivy v období Maunderova minima (Eddy 1976)*).

Náš model vysvětluje i ty střednědobé a dlouhodobé cykly, které není možno vysvětlit změnou osvitů Země pomocí Milankovičova přístupu (Milankovich 1930, Laskar et al. 2004, Tziperman et al. 2006).

Jako vedlejším produktem našeho předloženého modelu bylo poznání, že Slunce je svou aktivitou gravitačním kompasem a ukazuje na dosud neobjevená tělesa ve Sluneční soustavě. Na základě dvou nezávislých výpočtů (změny rotačního momentu celé soustavy a srovnání sluneční aktivity s gravitačními vlivy) je možno odhadnout vzdálenosti těžiště a hmotnosti (momentu hybnosti) neznámých těles. Tato v obou případech vycházejí obdobně. Ale o dalších podrobnostech bude pojednáno v jiném článku.

8. ZÁVĚR

Na základě výpočtu rotačních a orbitálních momentů planet a Slunce jsme zjistili, že ve Sluneční soustavě se mohou nacházet dosud neobjevené hmoty, které mohou přebírat část nedokompenzovaných rotačních orbitálních momentů soustavy (posunem těžiště soustavy) a dále že zbytek nedokompenzovaných orbitálních momentů planet se musí transformovat na spinový rotační moment Slunce.

Nastínili jsme fyzikální model mechanismu slapového tření, který v soustavě tří a více těles umožňuje transformaci orbitálních momentů planet na spinový moment Slunce. Z této teorie vyplývá, že pokud tomu tak je, tak Slunce je svou sluneční aktivitou gravitačním kompasem, který ukazuje v minimech sluneční aktivity směr k barycentru celé soustavy.

Na matematickém modelu jsme demonstrovali, že již v prvním přiblížení jsme schopni modelovat sluneční aktivitu za období od roku 1749 do roku 2006 pouze pomocí dvou parametrů (úhlová rychlost a počáteční úhel) s koeficientem korelace cca 0,56. Pokud bychom modelovali kratší období, kdy zajisté docházelo ke změnám úhlové rychlosti barycentra, pak se koeficient korelace v 10-letých klouzavých oknech pohybuje dlouhodobě nad hodnotami 0,8. Změny parametrů matematického modelu, tedy úhlové rychlosti barycentra a počátečního úhlu souvisí pouze s polohami planet a je možno je modelovat s vysokou přesností. Výjimkou jsou pouze nestabilní období o délkách 10 – 20 let, kdy se vlivy velkých planet navzájem kompenzují a sluneční aktivitu ovlivňují vlivy druhého řádu.

V diskuzi jsme potvrdili pozorování řady předchozích autorů, že ve sluneční aktivitě jsou pozorovány jak periody pohybu Slunce okolo

barycentra (dané vlastními periodami planet), tak synodické periody planet a barycentra, tak i synodické periody planet mezi sebou. Všechny tyto vlivy, tedy pohyb Slunce okol barycentra, přímé gravitační působení planet, tak i slapové tření planet mají v zásadě vliv na sluneční aktivitu a jednotlivé působení není možno od sebe oddělit.

LITERATURA

- Big, E.K. (1967): On Mercury's influence on solar tides and the sunspots (exact title unknown). *Astron. J.*, Vol. 72, p. 463.
- Blizard, J. (1982): Long-Range Prediction of Solar Activity, *Bull. Am. Astron. Soc.*, 13, 896.
- Blizard, J. (1987): Long-range prediction of solar activity. In M.R.Rampino, et al. (eds.), *Climate history, periodicity and predictability*. van Nostrand Reinhold, New York, pp.421.
- Brun, A.S. (2004): On the interaction between differential rotation and magnetic fields in the Sun. *Solar Physics*, 220, 333-345.
- Bumba, V., Garcia, A., Klvaňa, M. (2000): Longitudinal distribution of solar magnetic fields and activity during the ending and starting periods of activity cycles. *Solar physics*, 196, 403-419.
- Bumba, V., Klvaňa, M., Garcia, A. (2002): Short-term solar activity regularities. Proc. 10-th European Solar Physics Meeting "Solar Variability: From Core to Outer Frontiers", Prague, Czech Republic, 9-14 Sep.2002.
- Bumba, V. (2003): Cyclic changes of the solar global and local magnetic fields patterns. Proc. ISCS 2003 Symposium, "Solar variability as an input to the Earth's environment", Tatranská Lomnica, Slovakia, 3-14.
- Bushby, P., Mason, J. (2004): Understanding the Solar dynamo. *Astron.Geophys.*, 45, 7-13.
- Charvátová, I. (1988): The solar motion and the variability of solar activity. *Advances in Space Res.* 8, 7, 147-150.
- Charvátová, I. (1990): The relations between solar motion and solar variability. *Bull. Astr. Inst. Czechosl.* 41, 56-59.
- Charvátová, I. (1997): Solar motion (main article), in *Encyklopedia of Planetary Sciences* (Eds. J.H.Shirley and R.W.Fairbridge), Chapman & Hall, New York, London, pp.748-751.
- Charvátová, I. (2000): Can origin of the 2400-year cycle of solar activity be caused by solar inertial motion? *Annales Geophysicae*, 18, 399-405.
- Charvátová, I., Střeščík, J. (2004): Periodicities between 6 and 16 years in surface air temperature in possible relation to solar inertial motion. *Journ. Of Atmospheric and Solar-terrestrial Physics*, 66, 219-227.
- Clark, D.,H., et al. (1979): Differential solar rotation depends on solar activity. *Nature*, 280, 299-300.
- DeJager, C., Versteegh, G.J.M. (2005): Do planetary motions drive solar variability? *Solar Physics*, 229, 175-179.
- Diamantides, N.,D. (1998): Long-term solar activity and terrestrial connections. *Ann. Geophysicae*, 16, 479-491.
- Dikpati, M., de Toma, G., Gilman, P.A. (2006): Predicting the strength of solar cycle 24 using a flux-transport dynamo-based tool. *Geophys. Res. Lett.*, Vol.33, L05102.
- Eddy, J.A.(1976): The Maunder Minimum, *Science* 192, 1189-1202.
- Gelfeikh, G.B., Makarov, V.I., Tlatov, A.G. (2000): Modern understanding of the solar activity cycle as a global process from optical and radio observations. *Phys.Chem.Earth*, Vol. 25, No.5-6, 437-440.
- Gelfreikh, G.B., Tlatov, A.G. (2004): Global development of the Solar cycle as found from the Nobeyama radio observations. Proc. of the Nobeyama Symposium, NSRO Report No.1.
- Giles, P.M. (1999): Time-distance measurements of large-scale flows in the solar convection zone. PhD. thesis, Stanford University.
- Glaißberg, W.(1945): Evidence for a long solar cycle, *Observatory* 66, No. 827, 123-125.
- Gribbin, J. R., and S. Plegemann (1974): *The Jupiter effect*. Walker, New York.
- Gupta, A.K., Das, M., Anderson, D.M. (2005): Solar influence on the Indian summer monsoon during the Holocene. *Geoph. Res.Lett.* Vol. 32, L17703.
- Hale, G.E., Nicholson, S.B. (1925): The law of sun-spot polarity, *Astrophys. J.* 62, 270.
- Jose, P. D. (1965): Sun's motion and sunspots, *Astron. J.*, 70, 193±200.
- Klvaňa, M., Švanda, M., Krivtsov, A., Bumba, V. (2004): Do tidal waves exist in the solar photosphere? *Harv. Obs. Bull.* 28, 1, 157-165.
- Kosovichev, A.G. (1996): Helioseismic constraints on the gradient of angular velocity at the base of the solar convection zone, *Astrophys.J.*, 469, L61-L64.
- Landscheidt, T. (1983): Solar oscillations, sunspot cycles, and climatic change. In: McCormac, B. M., ed.: *Weather and climate responses to solar variations*. Boulder, Associated University Press, 293-308.
- Landscheidt, T. (1986): Cyclic distribution of energetic x-ray flares - *Solar Physics* 107, 195 - 199.
- Landscheidt, T. (1988): Solar rotation, impulses of the torque in the Sun's motion, and climatic variation. *Climatic Change* 12, 265-295.
- Landscheidt, T. (1999): Extrema in sunspot cycle linked to Sun's motion. - *Solar Physics* 189, 413 - 424.
- Laskar, J., et al. (2004): A long-term numerical solution for the insolation quantities of the Earth. *Astronomy&Astrophysics* 428, 261-285.
- Milankovich, M. (1930): *Mathematische Klimalehre und astronomische Theorie der Klimaschwankungen*. In: Köppen, W., Geiger, R. (Eds.), *Handbuch der Klimatologie*, vol. 1. Gebrüder Bornträger, Berlin, pp. 1-176.
- NASA - Ephemerid generator: <http://ssd.jpl.nasa.gov/cgi-bin/eph>.
- Ossendrijver, M. (2003): The solar dynamo. *Astron.Astrophys.Rev.*, 11, 287-367.
- Rovithis, P. (1982): The solar differential rotation from the eighteenth solar cycle. *Astrophys. and Space Sci.*, Vol. 88, No. 1, 5-13.
- Solanki, S.K., I.G. Usoskin, B. Kromer, M. Schüssler and J. Beer. (2004): An unusually active Sun during recent decades compared to the previous 11,000 years. *Nature*, Vol. 431, No. 7012, pp.1084-1087, 28 October 2004.
- Schwabe, H., (1838): *Astr. Nachr.* 15, 243.
- Tziperman, E., Raymo, M.E., Huybers, P., Wunsch, C. (2006): Consequences of pacing the Pleistocene 100 kyr ice ages by nonlinear phase locking to Milankovitch forcing. *Paleoceanography*, VOL. 21, PA4206.
- Weiss, .O., and Tobias, S.M. (2000): Physical causes of solar activity, *Space Sci. Rev.* 94, 99- 112.
- Wood, K. D.(1972): Sunspots and planets. *Nature*, 240, 91- 93.