

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Miloslav Kopecký

Periodicita sluneční činnosti

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 3 (1958), No. 1, 66--80

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137395>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1958

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



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

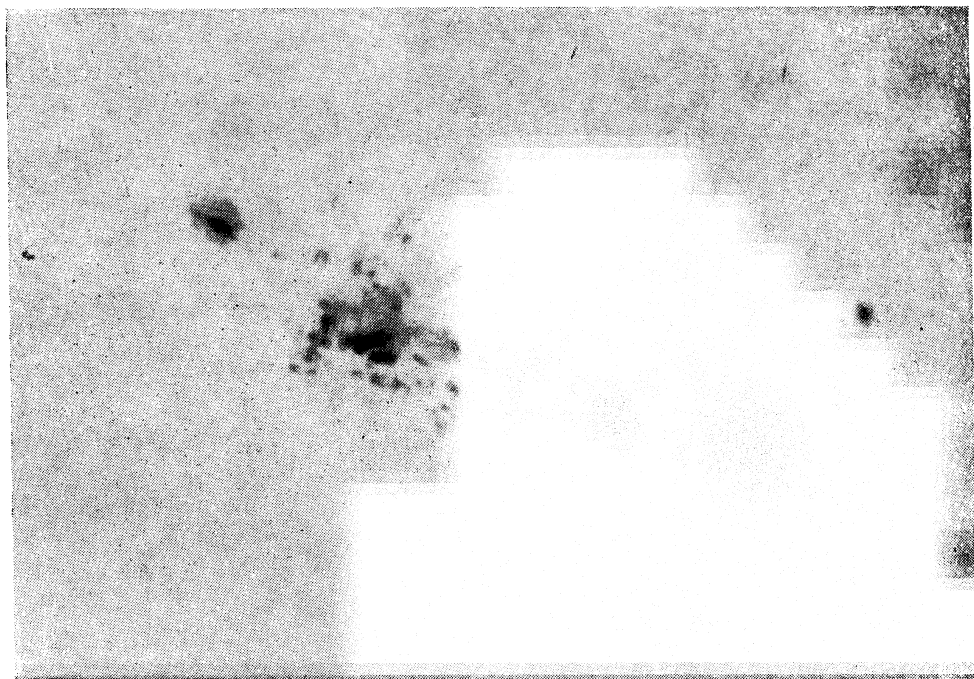
ASTRONOMIE

PERIODICITA SLUNEČNÍ ČINNOSTI

Dr. MILOSLAV KOPECKÝ, kandidát fys.-mat. věd
Astronomický ústav ČSAV, observatoř Ondřejov

1. Sluneční činnost

Sluneční činností rozumíme souhrn všech fyzikálních procesů probíhajících na Slunci, které vyvolávají vznik slunečních skvrn, erupcí, protuberancí a pod. Skvrny, erupce, protuberance atd. pak nazýváme projevy sluneční činnosti, avšak někdy i přímo tyto jevy bývají nazývány sluneční činností.

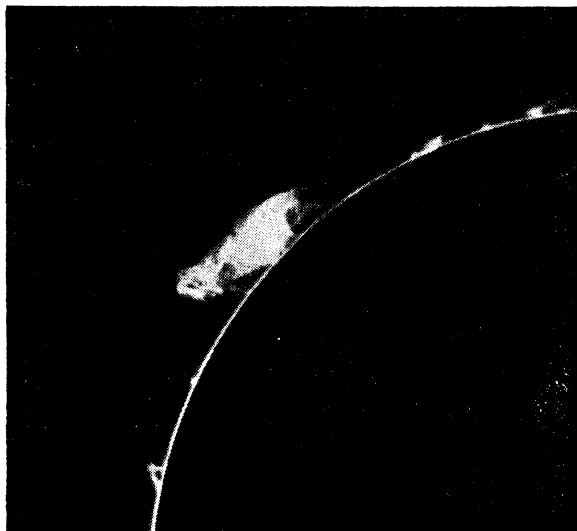


Obr. 1. Skupina slunečních skvrn v okolí maxima svého vývoje. Snímek pořízen na observatoři Astronomického ústavu ČSAV v Ondřejově dne 13. V. 1957.

Nejmarkantnějším, avšak ne vždy nejdůležitějším projevem sluneční činnosti jsou sluneční skvrny. Jsou to chladnější místa ve sluneční fotosféře. Jejich teplota je asi o 1500° nižší než teplota okolní fotosféry. Sluneční skvrny obvykle nepozorujeme ojedinelé, nýbrž ve skupinách (obr. 1). Skvrny ve sku-

pině spolu fyzikálně souvisí a spolu s ostatními projevy sluneční činnosti, které se váží k takové skupině skvrn, tvoří t. zv. aktivní centrum. Aktivní centrum může existovat od několika hodin, kdy v něm pak nepozorujeme všechny projevy sluneční činnosti, až po několik měsíců, což však bývá celkem výjimečným případem.

V aktivním centru se obvykle nejdříve objeví fakulové pole. Je to jasnější a teplejší část fotosféry. Během jednoho až několika dní vznikne ve fakulovém poli jedna až několik drobných skvrnek. Jejich počet pak rychle roste a některé z nich i značně zvětší svoji rozlohu. Po dosažení vrcholu svého vývoje drobné skvrnky ve skupině zanikají, až nakonec obvykle zůstane jedna velká, skoro



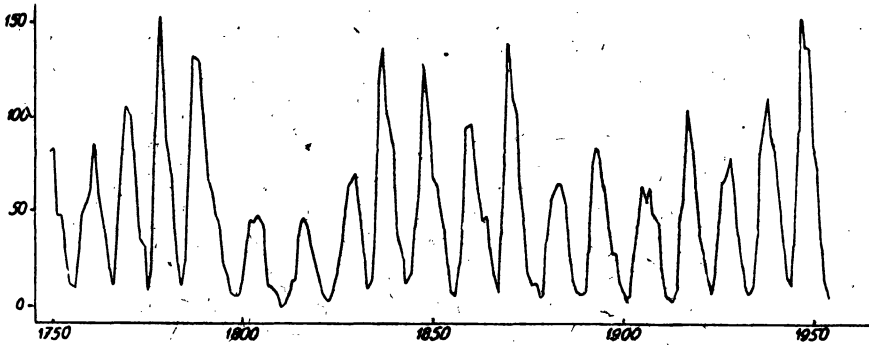
Obr. 2. Sluneční protuberance. Snímek pořízen na soukromé observatoři Dr. H. Otavského v Černošicích u Prahy.

kruhová skvrna, která se zvolna zmenšuje, až úplně zmizí. Důležitou charakteristikou aktivního centra je existence silných magnetických polí v aktivním centru. Magnetické pole se objeví obvykle ještě před vznikem skupiny skvrn a zůstává ještě dlouhou dobu po zániku skupiny skvrn, stejně jako fakulové pole ve fotosféře. Intenzita magnetického pole z počátku velmi rychle roste, dosáhne maximální hodnoty a pak zůstává po většinu doby existence skupiny skvrn konstantní. Až ke konci života skupiny skvrn začne intenzita magnetického pole klesat. Maximální intenzita magnetického pole dosahuje 2000 až 4000 Γ , výjimečně i více. Většina skupin skvrn je magneticky bipolární, to znamená, že v jedné části skupiny existuje severní magnetismus a v druhé jižní. Magnetická pole mají pravděpodobně veliký význam pro vznik a vývoj aktivního centra.

Ve vyšší vrstvě sluneční atmosféry, v t. zv. chromosféře, která leží nad fotosférou, se projevuje aktivní centrum především rozsáhlými flokulovými poli, která leží v oblasti nad skvrnami a která jsou jasnější než okolní chromosféra. Některé části těchto flokulových polí se v určitých okamžicích náhle

velmi intenzivně rozzáří. Tato vzplanutí flokulových polí se nazývají chromosférickými erupcemi a mají značný význam při studiu vlivu Slunce na Zemi. Největší počet chromosférických erupcí a také největší chromosférické erupce pozorujeme převážně v období vzrůstu skupiny skvrn a především v období maxima vývoje skupiny skvrn. Chromosférické erupce trvají několik minut až několik desítek minut a jen ve výjimečných případech existují největší chromosférické erupce několik hodin.

V důsledku existence a změn magnetického pole v aktivních centrech vznikají v oblasti aktivního centra různé typy protuberancí (obr. 2). Některé typy těchto protuberancí často doprovázejí chromosférické erupce. Aktivní centrum se projevuje i ve sluneční koruně a to především zintenzivněním emisní zelené čáry ve spektru korony.



Obr. 3. Průběh ročních hodnot relativních čísel slunečních skvrn.

Aktivní centra však neexistují na celém povrchu Slunce. Především se vyskytují v páscech okolo rovníku až do 40° heliografické šířky a někdy až do 50° heliografické šířky. Naproti tomu protuberance a koronální paprsky můžeme pozorovat i v polárních oblastech Slunce. Fakulová pole se sice až v polárních oblastech nevyskytují, avšak existují i ve větších šířkách než sluneční skvrny.

2. Jedenáctiletá perioda slunečních skvrn

Četnost výskytu projevů sluneční činnosti není stále stejná, mění se ze dne na den, od měsíce k měsíci, mění se i dlouhodobě během let. Protože nejmarkantnějším projevem sluneční činnosti jsou sluneční skvrny, byly proto i prvním projevem sluneční činnosti, který byl pozorován. Spolehlivý pozorovací materiál o množství slunečních skvrn máme již asi 200 let a proto význam dlouhodobých změn sluneční činnosti je dosud většinou prováděn na podkladě těchto dlouholetých pozorování slunečních skvrn.

Jako charakteristika množství slunečních skvrn, pozorovaných v daný okamžik na slunečním povrchu, je nejčastěji používáno t. zv. relativní číslo R . Je-li N počet skupin, pozorovaných v daný okamžik na slunečním povrchu, a s počet všech v daný okamžik pozorovaných jednotlivých skvrn, pak relativní číslo R je dáno vztahem

$$R = k(10N + s), \quad (1)$$

kde k je koeficient závislý na použitém pozorovacím přístroji, pozorovateli a kvalitě zemské atmosféry. Pomocí tohoto koeficientu jsou pozorování s různých míst převáděna na mezinárodní curyšskou řadu relativních čísel.

Z denních hodnot relativních čísel jsou pak počítány měsíční průměry a hodnoty měsíčních průměrů jsou pak vyhlazovány pomocí t. zv. klouzavých průměrů ze 13 měsíců. Takto získané hodnoty se nazývají vyrovnaná měsíční relativní čísla. Z normálních měsíčních průměrů relativních čísel můžeme též vytvořit roční průměry a získat tak roční relativní čísla, jejichž průběh je dán v obr. 3.

Jak je z obr. 3. ihned patrné, kolísá relativní číslo a tedy i množství slunečních skvrn přibližně v 11-leté periodě. Po období minima sluneční činnosti, kdy na slunečním kotouči často po řadu týdnů nepozorujeme ani nejmenší skvrny, začne skvrn rychle přibývat. Vzestup množství skvrn před maximem je rychlejší než pokles množství skvrn po maximu sluneční činnosti. Kromě toho je doba mezi minimem a následujícím maximem tím kratší, čím výška maxima cyklu, t. j. hodnota maximálního relativního čísla cyklu, je větší. Obě tyto vlastnosti 11-letých cyklů jsou dobře patrné na obr. 4, kde je dán průběh vyrovnaných měsíčních relativních čísel během několika 11-letých cyklů o různé výšce maxima.

Waldmeier našel statistické vztahy mezi některými charakteristikami průběhu relativních čísel během 11-letého cyklu. Označíme-li dobu od minima do následujícího maxima T , od maxima do následujícího minima Θ , maximální relativní číslo R_M a relativní číslo pět let po maximu R_5 , pak podle Waldmeiera platí tyto statistické vztahy:

$$\log_{10} R_M = 2,58 - 0,14T, \quad (2)$$

$$\Theta = 0,030R_M + 3,0, \quad (3)$$

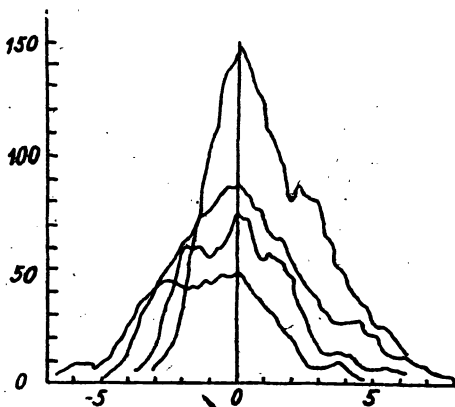
$$R_5 = 0,29R_M - 11,4. \quad (4)$$

Na základě těchto vztahů lze soudit, že celkový průběh relativních čísel v 11-letém cyklu je určován maximálním relativním číslem, které tak charakterisuje vlastně celý 11-letý cyklus.

Někteří autoři se snažili popsat průběh relativních čísel během cyklu matematickým vzorcem. Za nejhodnější z navrhovaných vzorců lze pokládat vzorec Stewart a Panovského a vzorec Chvojkové. Stewart a Panovský vyjádřili průběh relativního čísla během cyklu rovnicí.

$$R = Ft e^a - bt, \quad (5)$$

kde t je čas počítaný od začátku cyklu, e základ přirozených logaritmů a F , a , b jsou parametry, které během daného cyklu zůstávají konstantní, avšak od cyklu k cyklu se mění. Tyto parametry však nerepresentují žádné konkrétní



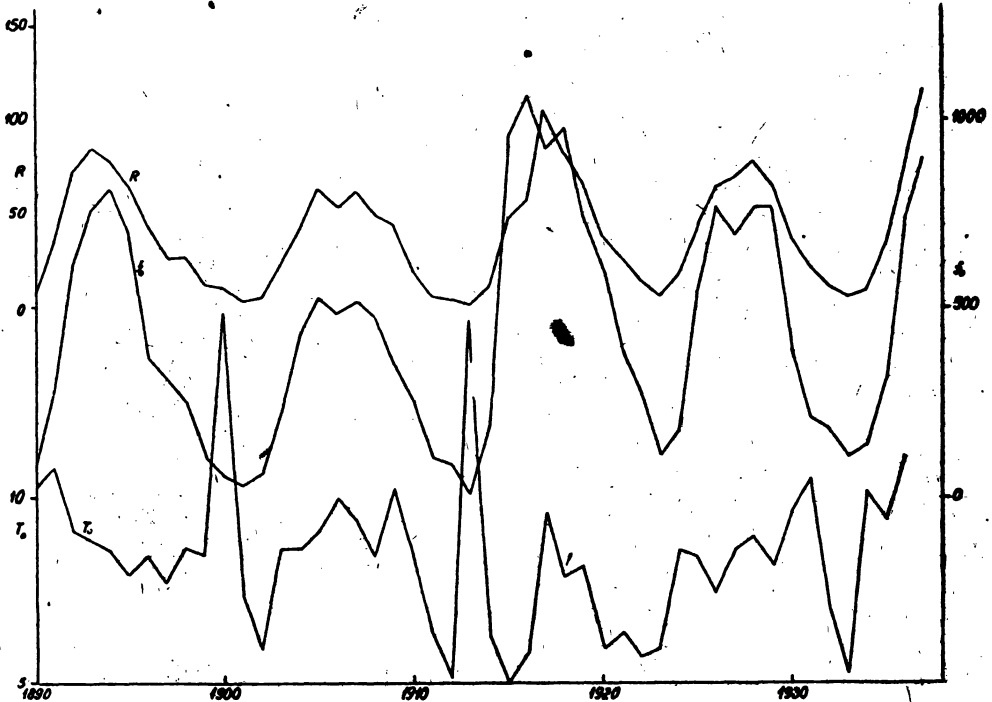
Obr. 4. Průběh vyrovnaných měsíčních relativních čísel slunečních skvrn během několika 11-letých cyklů. Křivky jsou přeloženy přes sebe tak, že se maxima cyklů kryjí, takže vyniká nepřímá závislost doby vzestupu cyklu na výšce maxima cyklu.

veličiny na křivce relativních čísel. Naproti tomu u vzorce Chvojkové parametry rovnice představují konkrétní geometrické veličiny a to R_M maximální relativní číslo, T dobu od minima do maxima cyklu a T_1 celkové trvání cyklu. Vzorec Chvojkové má tvar

$$R = \frac{R_M}{2} \left(1 - \cos \frac{2\pi t}{aT_1 + (1-a)T} \right), \quad (6)$$

kde

$$a = \frac{T}{T_1 - T}. \quad (7)$$



Obr. 5. Počet vzniklých skupin skvrn na celém Slunci v jednotlivých letech f_0 a jejich průměrná životní doba T_0 . Pro srovnání dán průběh ročních relativních čísel R .

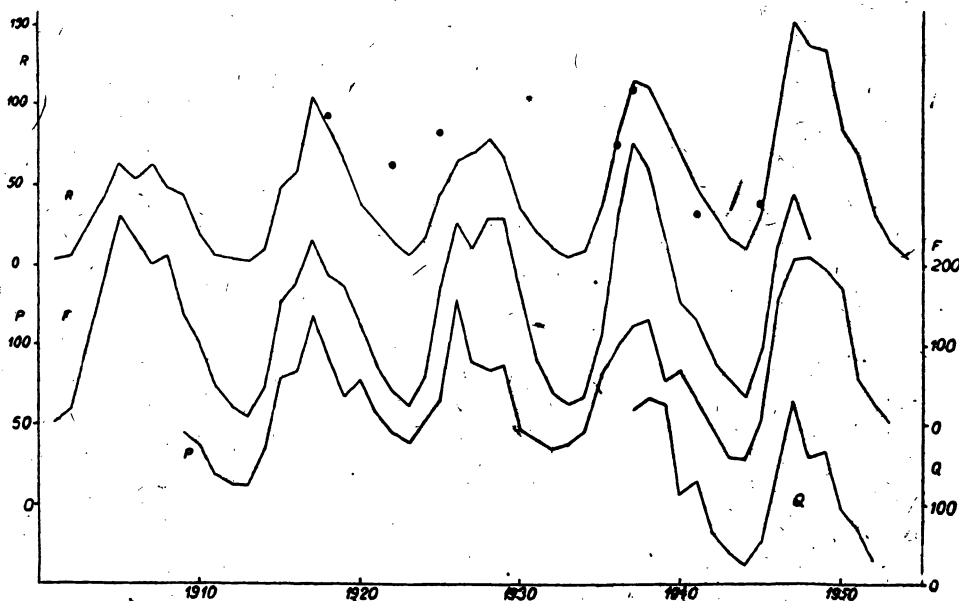
Pomocí obou rovnic (5) a (6) lze odhadnout další průběh právě probíhajícího 11-letého cyklu, jestliže z dosud známé křivky relativních čísel určíme neznámé parametry pro probíhající cyklus.

Jak vyplývá ze vztahu (1), je relativní číslo především závislé na počtu pozorovaných skupin skvrn. Počet pozorovaných skupin skvrn v určitém okamžiku je se statistického hlediska určitým zlomkem ze všech v daný okamžik existujících skupin skvrn na celém povrchu Slunce. Tento počet všech existujících skupin, který označíme N_0 , je určován tím, kolik skupin skvrn f_0 vznikne na celém Slunci za jednotku času a jakou tyto skupiny mají průměrnou životní dobu T_0 , neboť platí vztah, že

$$N_0 = f_0 T_0. \quad (8)$$

V případě, že f_0 a T_0 se během cyklu mění různě, nemá s fyzikálního hlediska významu zkoumat průběh počtu existujících skupin N_0 , nýbrž je třeba zkoumat přímo průběh počtu vzniklých skupin f_0 a jejich průměrné životní doby T_0 . Tyto dvě charakteristiky, f_0 a T_0 , jsou totiž přímo určovány fyzikálními procesy ve Slunci a počet pozorovaných skupin N_0 je teprve charakteristickou druhotnou, vzniklou sloučením f_0 a T_0 , a nemůže nám tedy dát správný obraz o periodicitě slunečních skvrn.

Počet všech vzniklých skupin na celém Slunci f_0 a jejich průměrnou životní dobu T_0 lze statisticky určit pomocí vztahů odvozených Kopeckým. Uvažuj-



Obr. 6. Průběh ročních relativních čísel skvrn R , ploch fakul F , ploch protuberancí P a ročních indexů Q erupcí. Kružky u křivky R dána celková jasnost korony při úplných zatměních Slunce.

me část slunečního povrchu do úhlové vzdálenosti λ na obě strany od centrálního meridiánu, při čemž $\lambda \leq 30^\circ$. Pak za jednotku času v této oblasti vzniká nebo je do této oblasti rotací vzneseno celkem f' nových skupin, které v uvažované oblasti existují průměrně po dobu τ . Obě tyto veličiny, f' i τ , můžeme určit přímo z pozorování a z nich pak vypočítat hledané hodnoty f_0 a T_0 pomocí statisticky platných vztahů

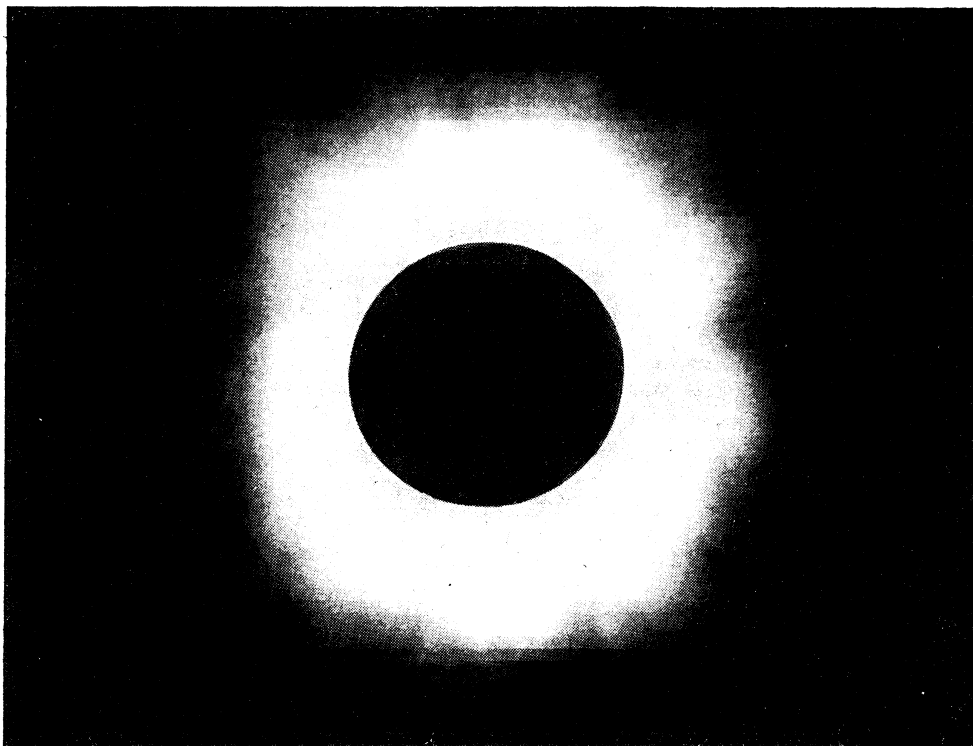
$$T_0 = \frac{2\lambda\tau}{2\lambda - \omega\tau}, \quad (9)$$

$$f_0 = f' \left(\frac{\pi}{\lambda} - \frac{\pi\omega}{2\lambda^2} \tau \right), \quad (10)$$

kte ω je úhlová rychlost rotace Slunce. Průběh počtu vzniklých skupin na celém Slunci f_0 a jejich průměrné životní doby T_0 je dán v obr. 5, tak jak byl pomocí výše uvedené metody určen Kopeckým pro jednotlivé roky, při čemž f_0 je

počet vzniklých skupin za rok a T_0 jejich průměrná životní doba, počítaná ve dnech. Pro srovnání je v obr. 5 dán též průběh ročních hodnot relativních čísel. Z obr. 5 je patrné, že průběh f_0 , T_0 a R se vzájemně liší, jak se dalo předpokládat, z čehož plyne, že je skutečně nutno zkoumat především zákonitosti průběhu f_0 a T_0 na místo dosud užívaného relativního čísla.

Dále je z obr. 5 patrné, že průměrná životní doba skupin skvrn je asi 10 dní. Největší množství dlouho žijících skupin je obvykle v okolí maxima 11-letého



Obr. 7. Snímek sluneční korony v době maxima sluneční činnosti.

cyklu, avšak objevují se i podružná maxima T_0 , a to někdy i v období minima sluneční činnosti.

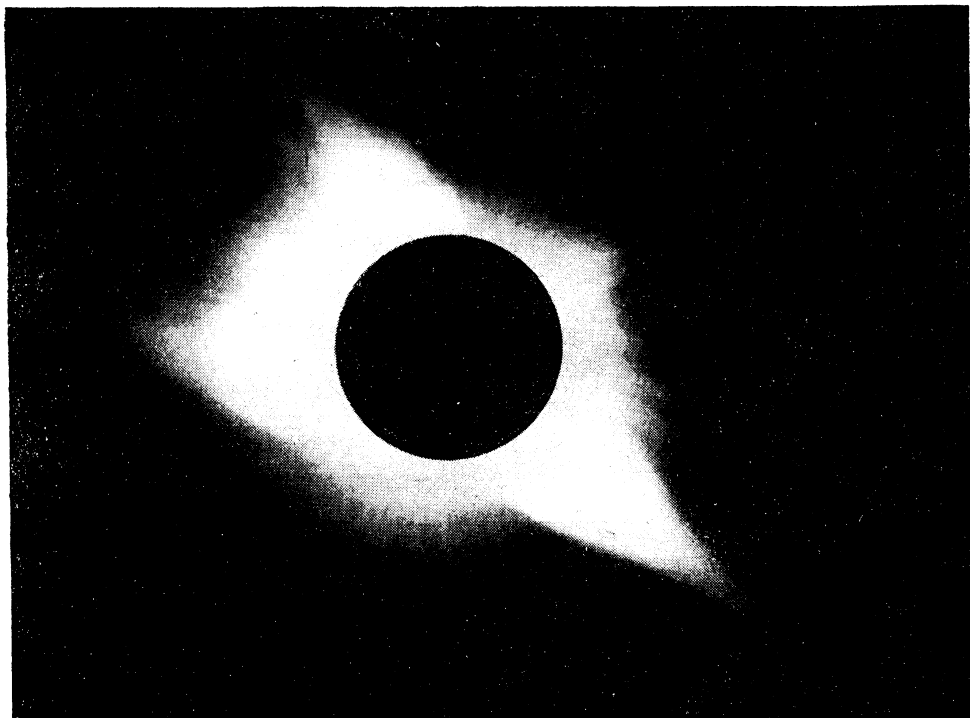
Podrobnější výzkum průběhu f_0 a T_0 může přinést dosti zajímavostí o periodicitě slunečních skvrn, avšak vyžádá se ještě delšího času.

3. Jedenáctiletá perioda v ostatních projevech sluneční činnosti

Jak již bylo řečeno dříve, většina projevů sluneční činnosti spolu úzce fyzikálně souvisí. Lze tedy celkem s určitostí očekávat, že 11-letá perioda bude existovat i u ostatních projevů sluneční činnosti.

V obr. 6 je dán průběh ročních hodnot relativního čísla R , ploch fakulových polí F , ploch protuberancí P a indexu Q chromosferických erupcí.

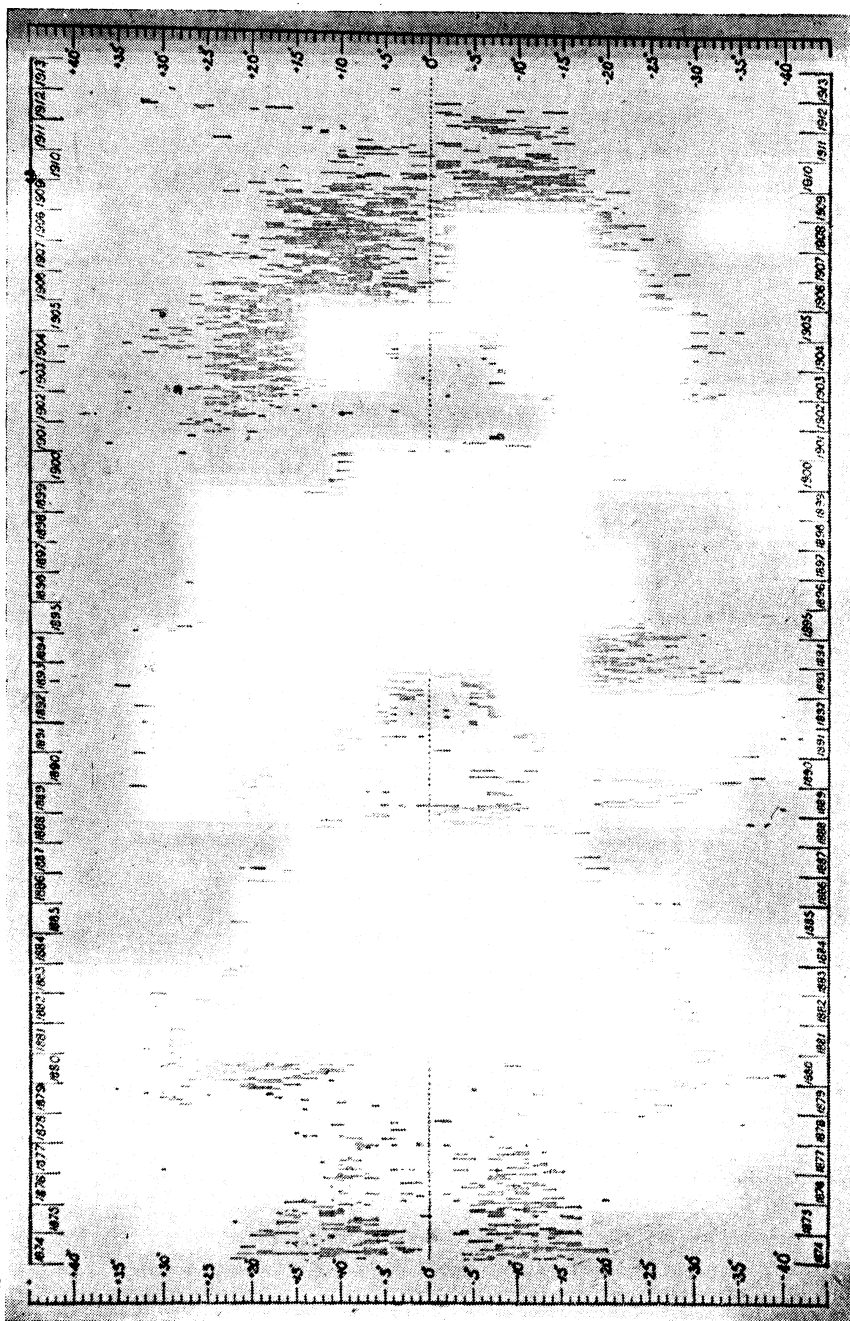
Rozloha fakulových polí je udávána v miliontinách povrchu sluneční polokoule, rozloha protuberancí je udávána v t. zv. protuberančních jednotkách. Protuberanční jednotkou rozumíme pravouhlou plošku, která ve směru slunečního okraje má délku jednoho heliografického stupně a kolmo na sluneční okraj má délku 1" geocentrické. Index Q erupcí dostaneme, jestliže dobu trvání chromosferické erupce v minutách násobíme její mohutností, při čemž mohutnost 1 mají malé erupce, mohutnost 3 erupce největší.



Obr. 8. Snímek sluneční korony v době minima sluneční činnosti.

Z obr. 6 je patrné, že i fakule, protuberance a chromosferické erupce mají výraznou 11-letou periodu. Avšak průběh charakteristik těchto projevů sluneční činnosti není shodný s průběhem relativního čísla skvrn a nelze proto jen tak jednoduše aplikovat zákonitosti 11-letého cyklu, nalezené pro relativní číslo, i na jiné projevy sluneční činnosti.

Příčiny, proč se průběh charakteristik různých projevů sluneční činnosti vzájemně liší, jsou různé a nejsou všechny ještě dostatečně známy. Tak na př. četnost a mohutnost chromosferických erupcí v určité skupině skvrn závisí na tom, jak sama skupina skvrn je mohutná. Určitým měřítkem mohutnosti skupin skvrn je jejich životní doba, která je v různých fázích 11-letého cyklu různá, což má za následek i různou četnost a mohutnost erupcí v jednotlivých skupinách skvrn v různých fázích 11-letého cyklu. Průběh rozlohy protuberancí



Obr. 9. Motýlkový diagram slunečních skvrn, ukazující posuv oblasti výskytu slunečních skvrn běh 11-letého cyklu. Čárkami je vyznačena heliografická šířka skvrn v jednotlivých rotacích Slunce.

je naopak zase ovlivňován protuberancemi, které se vyskytují i mimo aktivní centra, především protuberancemi ve vysokých heliografických šířkách. Stejně tak i fakulová pole existují mimo skupiny skvrn, opět především ve vyšších heliografických šířkách, než se normálně vyskytují skupiny skvrn. Toto vše, včetně dosud neznámých příčin, způsobuje rozdíly v průběhu charakteristik různých projevů sluneční činnosti.

11-letá perioda sluneční činnosti se projevuje i ve sluneční koruně. Tak na př. velmi výrazně se během 11-leté periody mění její tvar. Zatím co v období maxima sluneční činnosti má korona kruhový tvar, v době minima je korona značně zploštělá, protažená ve směru slunečního rovníku. To je dobře patrné na fotografiích korony při úplných zatměních v době minima a maxima sluneční činnosti (obr. 7, 8). Příčiny této změny ve tvaru korony budou objasněny v následující kapitole.

Avšak není to jenom tvar korony, který se mění během cyklu. Nikonov zjistil, že i celková jasnost korony se mění s fází cyklu, a to tak, že v období maxima sluneční činnosti je celková jasnost korony největší. To je dobře patrné na obr. 6, kde u křivky relativních čísel je kroužky označena celková jasnost korony, změřená v příslušných letech během úplných zatmění Slunce.

Kromě těchto výrazných změn sluneční činnosti během 11-letého cyklu existuje řada dalších drobnějších zjevů, které jeví souvislost s 11-letou periodou. Mimo to existují některé práce, které ukazují, že i některé základní parametry Slunce, jako jeho průměr nebo výška chromosféry, mají tendenci se měnit v závislosti na sluneční činnosti. Avšak měření, na jejichž základě autoři k těmto závěrům došli, jsou zatím konána poměrně krátkou dobu, a proto závěry z nich vyvozované nemohou být dosud pokládány za plně hodnověrné. Je však těmto jevům třeba věnovat zvýšenou pozornost.

4, Závislost výskytu projevů sluneční činnosti na heliografické šířce

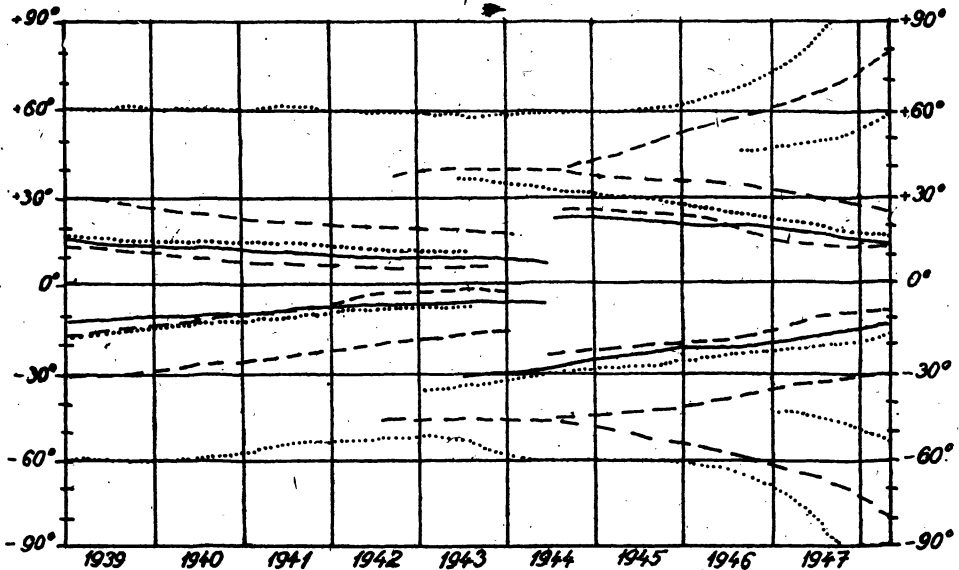
Spočítáme-li průměrnou heliografickou šířku skupin skvrn v jednotlivých synodických rotacích Slunce a vyneseme-li ji v závislosti na čase do grafů, dostaneme t. zv. motýlkový diagram, který je dán v obr. 9. Vidíme na něm, že heliografická šířka výskytu skupin skvrn se během 11-letého cyklu mění, a to tak, že na počátku cyklu se skupiny skvrn vyskytují ve vysokých heliografických šířkách a během cyklu se oblast výskytu skvrn posunuje zvolna k slunečnímu rovníku. Na konci cyklu se skvrny vyskytují převážně v blízkosti slunečního rovníku. Avšak ještě dříve, než zaniknou skvrny starého cyklu u rovníku, začnou se již objevovat skvrny ve vysokých šířkách, patřící novému 11-letému cyklu. V období minima sluneční činnosti se na Slunci tedy vyskytují skvrny patřící jak ke starému tak i k novému cyklu. Toto překrývání dvou sousedních cyklů trvá 2—3 roky. Proto také nelze minimum relativních čísel považovat za začátek nebo konec 11-letého cyklu.

Určení délky cyklu je poměrně obtížné. Určit, kdy vznikla první skupina skvrn nového cyklu nebo poslední skupina starého cyklu, je těžko určit. Tyto skupiny většinou velmi krátce žijí a mohou se vyskytnout právě na straně Slunce od nás odvrácené. Protože tyto první nebo poslední skupiny vznikají po sobě v poměrně dlouhých časových intervalech, může chyba určení začátku nebo konce cyklu činit až půl roku i více.

Zdá se, že změna průměrné heliografické šířky skupin skvrn je zákonitější než změna relativního čísla skvrn. Lze tak soudit z tohoto výsledku, získaného

Gleissbergem: Byla vzata časová vzdálenost okamžiků, kdy průměrná heliografická šířka skvrn ve dvou sousedních cyklech dosáhla určité stanovené šířky. Tuto časovou vzdálenost můžeme nazvat délkou 11-letého cyklu P_1 . Její průměrná hodnota ze 16 cyklů je $P_1 = 11,1 \pm 0,4$ roku. Naproti tomu průměrná časová vzdálenost dvou sousedních maxim. relativních čísel P_2 je z těchto 16 cyklů $P = 11,4 \pm 1,4$ roku. Chyba u P_1 je třikrát menší než chyba u P_2 , z čehož lze soudit na větší pravidelnost šířkového posuvu skvrn.

Bylo by možno očekávat, že obdobná zákonitost v šířkovém výskytu, jako u skupin skvrn, bude i u ostatních projevů sluneční činnosti. U erupcí, které



Obr. 10. Posuv oblasti výskytu skvrn (plná čára), protuberancí (čárkovaně) a koronálních paprsků (tečkovaně) v heliografické šířce během 11-letého cyklu.

jsou těsně vázány na skupiny slunečních skvrn, tomu tak skutečně je. Avšak u protuberancí a koronálních paprsků je situace poněkud složitější.

Vyznat se lépe v této situaci nám pomůže obr. 10, znázorňující výsledek práce Waldmeiera. Vidíme, že protuberance mají celkem tři význačné oblasti výskytu. Jedna z nich sleduje během 11-letého cyklu oblast výskytu skvrn. Tyto protuberance jsou protuberance typu slunečních skvrn a fyzikálně přímo souvisí s aktivními centry. Druhá oblast výskytu protuberancí se objevuje již asi dva roky před minimem sluneční činnosti v 45° heliografické šířky a v této šířce zůstává až do minima sluneční činnosti. V období minima sluneční činnosti se oblast výskytu protuberancí rozděluje na dvě oblasti. Jedna z nich se pohybuje směrem k slunečnímu rovníku asi o 15° nad oblastí protuberancí typu slunečních skvrn a zaniká v blízkosti slunečního rovníku v období minima sluneční činnosti. Druhá oblast se pohybuje naopak směrem ke slunečnímu pólu, kde zaniká brzy po maximu sluneční činnosti.

Obdobně je tomu i s oblastmi koronálních paprsků. Jedna oblast prakticky sleduje oblast výskytu slunečních skvrn a úzce souvisí s aktivními centry.

Druhá oblast koronálních paprsků se objevuje těsně před maximem sluneční činnosti asi na 45° heliografické šířky a během maxima se přesune asi na 60° , kde setrvá přes zbytek cyklu a začátek nového cyklu. Těsně před maximem sluneční činnosti se však začne pohybovat směrem k pólu, kde v období maxima sluneční činnosti mizí. Avšak ještě dříve než zmizí, vznikne na 45° již nová polární oblast koronálních paprsků.

Na základě toho si můžeme vysvětlit změny tvaru korony během 11-letého cyklu. Sploštělý tvar korony v období minima sluneční činnosti vzniká tím, že obě oblasti výskytu koronálních paprsků jsou přibližně ve středních heliografických šířkách. Naproti tomu v období maxima sluneční činnosti existují současně tři oblasti koronálních paprsků celkem symetricky rozložených: jedna u pólu, druhá ve středních šířkách a třetí v nízkých šířkách. Tím vzniká celkem symetrický, kruhový tvar korony v období maxima sluneční činnosti.

V poslední době zjistil Becker, že i u skupin skvrn existuje polární zóna jejich výskytu, která se odděluje od normální oblasti a pohybuje se do vyšších šířek přes 40° , kde v období maxima sluneční činnosti mizí. To je v dobrém souhlase s výsledky Kopeckého, který zjistil, že skvrny v heliografických šířkách nad 40° se vyskytují především v období maxima sluneční činnosti.

Šířkový posun oblasti výskytu různých projevů sluneční činnosti má pro výzkum periodicity sluneční činnosti značný význam a je důležitým projevem této periodičnosti. Bohužel, jeho zákonitosti nejsou dosud dostatečně známy. Tak bylo by na př. třeba znát, jak závisí mohutnost aktivních center na heliografické šířce jejich výskytu a fázi cyklu a pod.

5. Dvaadvacetiletý cyklus slunečních skvrn

Povšimneme-li si podrobněji průběhu ročních relativních čísel v obr. 3, zjistíme, že až na dvě výjimky se vždy střídá cyklus s vyšším a nižším maximálním relativním číslem. Použijeme-li curyšského číslování 11-letých cyklů (cyklus s maximem v r. 1761 je cyklem č. 1), pak můžeme říci, že cyklus sudý je vždy nižší než sousední cykly liché. Mezi maximálním relativním číslem sudého cyklu $R_{M(2n)}$ a maximálním relativním číslem předchozího a následujícího cyklu lichého nalezl Brodovickij vztah

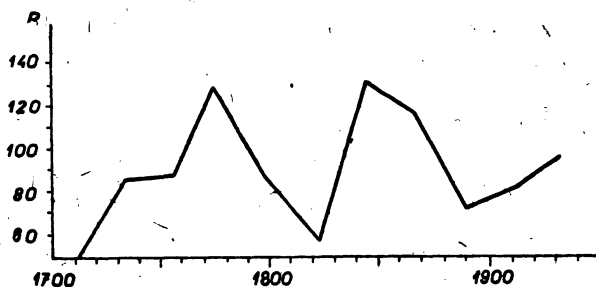
$$R_{M(2n)} = \frac{1}{2}(R_{M(2n-1)} + R_{M(2n+1)}) . \quad (11)$$

Známe-li R_M cyklu sudého a předchozího lichého, můžeme ze vztahu (11) odhadnout maximální relativní číslo následujícího cyklu lichého, a to ještě dříve než začal.

Toto střídání vysokých a nízkých cyklů již naznačuje možnost existence 22-letého cyklu sluneční činnosti, na místo cyklu 11-letého. Ale jeho skutečnou existenci nám dokázala teprve měření magnetického pole slunečních skvrn. Jak již bylo řečeno dříve, je většina slunečních skvrn magneticky bipolárních, to znamená, že jedna část skupiny má magnetismus severní, druhá jižní. Avšak směr polarit ve skupině skvrn není náhodný. Tak v určitém 11-letém cyklu Slunce skupiny skvrn na severní polokouli mají ve východní své části severní magnetismus a v západní části jižní magnetismus. Pak skupiny skvrn na jižní polokouli mají polaritu obrácenou, ve východní části skupiny je magnetismus jižní a v západní části magnetismus severní. Avšak v následujícím 11-letém cyklu se magnetická polarita skvrn na severní i jižní polokouli obrátí, tak že na severní polokouli bude taková, jako byla v minulém cyklu na jižní polokouli, a na jižní polokouli bude taková jako dříve na severní. Tato pravidelná

změna polaritý slunečních skvrn v sousedních cyklech plně svědčí o existenci dvojnásobné periody sluneční činnosti, o existenci 22-letého cyklu. Tato změna magnetické polaritý skupin skvrn však též umožňuje bezpečně rozhodnout, ke kterému cyklu, zda k starému nebo novému, patří skupiny období minima sluneční činnosti, kdy, jak jsme ukázali již dříve, existují současně skupiny patřící ke starému i novému 11-letému cyklu.

Zůstávalo však nyní otázkou, které dva 11-leté cykly tvoří cyklus 22-letý, zda cyklus sudý a následující lichý nebo lichý a následující sudý. Gněvyšev a Ol uvažovali proto plochu uzavřenou křivkou relativních čísel a časovou osou a ukázali, že tato plocha u cyklu lichého lineárně závisí na obdobné ploše předcházejícího a nikoli následujícího cyklu sudého. Z toho vyplývá, že 22-letý cyklus je tvořen 11-letým cyklem sudým a po něm následujícím cyklem lichým. Kopecký pak ukázal, že roční relativní čísla ve 2., 3., 4. a 5. roce po minimu



Obr. 11. Průběh 80-letého cyklu sluneční činnosti, reprezentovaný průměrem maximálních relativních čísel sudého a následujícího lichého 11-letého cyklu.

u cyklu lichého lineárně závisí na příslušných ročních relativních číslech předchozího cyklu sudého, avšak ne následujícího cyklu sudého. To plně potvrdilo výsledky Gněvyševa a Ola a kromě toho svědčí tyto závislosti o tom, že sudý cyklus přímo již určuje přibližný průběh následujícího cyklu lichého. Lze těchto závislostí tedy použít i k odhadu průběhu lichého cyklu, dříve než tento nastal, známe-li průběh předchozího cyklu sudého.

6. Dlouhodobé kolísání sluneční činnosti

Na průběhu ročních relativních čísel slunečních skvrn na obr. 3 si lze všimnout ještě jedné zákonitosti v periodicitě slunečních skvrn. Na obr. 3 jsou dobře patrna dvě časová období, v nichž 11-leté cykly dosahovaly vysokého maximálního relativního čísla. Naopak mezi těmito dvěma obdobími je výška maxim 11-letých cyklů malá.

Toto kolísání výšky maxim 11-letých cyklů bývá většinou nazýváno 80-letou periodou a bylo prvně zjištěno na počátku tohoto století Ganskim. Podrobněji se 80-letou periodou zabývali Ejgenson a Gleissberg. Její schematický průběh snadno dostaneme, vypočteme-li podle Kopeckého průměr z maximálních relativních čísel dvou 11-letých cyklů tvořících cyklus 22-letý, t. j. z cyklu sudého a následujícího cyklu lichého. Takto získaný průběh 80-leté periody je dán na obr. 11.

Dnes jsme v období dalšího maxima 80-leté periody, které bude tvořeno současným 22-letým cyklem skládajícím se z minulého 18. cyklu, který byl

jedním z nejvyšších dosud pozorovaných cyklů a současným 19. cyklem, jehož výška maxima bude pravděpodobně mnohem vyšší než u všech dosud pozorovaných 11-letých cyklů.

Některé práce z poslední doby naznačují, že kromě 80-leté periody existuje ještě jedna delší perioda, o délce několika set let. Tak Gleissberg na základě dlouhodobé změny poměru délky doby od minima k maximu k době od maxima k minimu jednotlivých 11-letých cyklů usuzuje na existenci dlouhodobé periody, jejíž trvání odhaduje řádově na 1000 let. Na základě studia výskytu polárních září odhadl Link délku této periody na 450 let. Lze tedy soudit, že skutečně existuje perioda sluneční činnosti o délce několika set let, ale nic přesného zatím nelze říci.

7. Předpovědi sluneční činnosti

Výzkum periodicity sluneční činnosti má značný praktický význam. Výzkumy posledních let ukázaly, že sluneční činnost podstatně ovlivňuje řadu procesů na naší Zemi. Tak na př. silně ovlivňuje kvalitu radiového příjmu, způsobuje poruchy v zemském magnetismu, ovlivňuje změny klimatu a pod. Mělo by tedy značný význam, kdybychom na základě poznatých zákonitostí periodicity sluneční činnosti mohli sluneční činnost předpovídat a předpovídat tak i její vlivy na Zemi.

Dosavadní předpovědi periodicity sluneční činnosti se většinou zabývaly otázkou průběhu relativního čísla. Především šlo autorům většinou o to, předpovědět, jak mohutný bude nový cyklus sluneční činnosti, to znamená, jak velké bude jeho maximální relativní číslo. Podstata těchto metod je většinou velmi primitivní: autor metody nalezne určitou pravidelnost v průběhu relativních čísel a předpokládá, že tato pravidelnost potrvá i nadále. V předchozích kapitolách bylo poukázáno na některé takové možnosti předpovědí.

Autor metody	R_M 19. cyklu
Willett	50
Chvojková	100
Kopecký	110
Kopecký—Gleissberg	130
Gleissberg	150
Ejgenson	200
Kopecký	210
Brodovickij	340

Z tabulky vidíme, že výsledky jednotlivých autorů se značně liší a některé z nich jsou i nepravděpodobné. Při tom nelze žádné z těchto metod dát přednost před ostatními, neboť základní princip všech těchto metod je, jak jsem již uvedl dříve, stejný. Na základě toho můžeme prohlásit, že dosavadní metody předpovědí periodicity slunečních skvrn jsou nespolehlivé.

Je nyní otázka, proč tomu tak je. Hlavní příčinou dosavadního neúspěchu při předpovědích sluneční činnosti je to, že tyto předpovědi jsou budovány na podkladě empirických zákonitostí periodicity a nikoli na podkladě fyzikálních zákonitostí. Bohužel, jiná možnost zde však není, protože fyzikální

příčiny sluneční činnosti a její periodicity dosud neznáme. Správné metody předpovídání sluneční činnosti nám může dát jen poznání fyzikální podstaty dějů probíhajících na Slunci. V tomto směru je také především zaměřen současný výzkum Slunce. Podstatné vyřešení této otázky nelze však pravděpodobně očekávat v nejbližší době.

Naproti tomu geofysikové, meteorologové a biologové požadují brzké vypracování spolehlivých metod předpovědi sluneční činnosti. Je tedy třeba vedle výzkumu fyzikální podstaty dějů na Slunci hledat i nové empirické zákonitosti periodicity, které by umožnily vypracovat spolehlivější metody předpovědi sluneční činnosti.

Při tom je však třeba vyvarovat se některých nedostatků dosavadního statistického výzkumu periodicity. Tak pokud se týče slunečních skvrn, je třeba místo relativního čísla zkoumat zákonitosti změn počtu vzniklých skupin a jejich průměrné životní doby a vzájemný vztah těchto dvou charakteristik. Dále je třeba zkoumat periodicitu slunečních skvrn odděleně na severní a jižní polokouli, a to již vzhledem k tomu, že magnetická polarita skupin skvrn je na jedné polokouli opačná než na polokouli druhé. Vždyť nelze předem předpokládat, že by periodičita měla být na obou polokoulích stejná a studium pozorovacího materiálu nám ukazuje, že skutečně stejná není. Majá pozornost byla též dosud věnována šířkovému posuvu oblasti výskytu různých projevů sluneční činnosti.

Výzkum periodicity sluneční činnosti může však narazit i na jiné obtíže. Tak lze na př. provést tuto úvahu: Předpokládejme, že energie E_0 , která je spotřebována během celého života skupin skvrn, vzniklých v jednotce času, má zcela přesné zákonitosti své periodicity. Nechť f_0 je počet všech skupin skvrn vzniklých v jednotce času, z nichž $f_0 F(T) dT$ skupin má životní dobu T až $T + dT$. Je-li $E(T)$ celková energie spotřebovaná za celý život jedné skupiny skvrn o životní době T , pak celková energie E_0 je dána výrazem

$$E_0 = f_0 \int_0^{\infty} F(T) E(T) dT. \quad (12)$$

Pro různé tvary funkce $F(T)$ můžeme vždy ve vztahu (12) najít takové f_0 , aby E_0 zůstalo beze změny. Ze vztahu (12) tedy plyne, že i při přísné zákonitosti průběhu celkové spotřebované energie E_0 nemusí ani počet vzniklých skupin skvrn za jednotku času ani jejich průměrná životní doba, a tudíž ani počet pozorovaných skupin skvrn, relativní číslo a rozloha skvrn jevit zákonitosti ve svém časovém průběhu.

Vidíme tedy, že problém periodicity sluneční činnosti je velmi složitý a jeho řešení si vyžádá ještě velkého úsilí. Jeho význam pro praxi v souvislosti s vlivy sluneční činnosti na Zemi je značný, a je mu proto třeba věnovat stále značnou pozornost.