

Sluneční aktivita včera, dnes a zítra

Michal Švanda

Za sluneční aktivitu je obecně označován soubor nejrozličnějších jevů souvisejících s magnetickým polem. Tyto jevy zahrnují známé sluneční skvrny, fakulová pole, sluneční protuberance, erupce a koronální výtrysky hmoty. Fenomény jsou v čase proměnné, proto můžeme Slunce bez uzardění označit za proměnnou hvězdu, i když jsou změny celkového zářivého výkonu způsobené aktivitou v řádu jednoho promile.

Proměny sluneční aktivity lze pozorovat na mnoha časových škálách.

Nejznámější jedenáctiletou periodou ve výskytu slunečních skvrn lze prokázat již v pozorováních starých Číňanů před dvěma tisíci lety, kteří nezáptění aristotelovskou představou o neměnnosti nebes pečlivě zaznamenávali veškeré změny na obloze. Jejich pozornosti neunikly občas spatřitelné velké sluneční skvrny, pozorované těsně po východu a těsně před západem Slunce nebo přes mlhavý opar, který dostatečně zeslabil jas sluneční fotosféry.

O objev jedenáctiletého cyklu se postaral v roce 1843 Heinrich Schwabe (1789–1875), který si pečlivě zaznamenával svá pozorování slunečních skvrn. Přestože v roce 1843 sledoval Slunce po 312 dní, zaregistroval pouhých 34 skupin skvrn. Přitom např. o šest let dříve spatřil za celý rok 333 skupin v průběhu 168 dní. Když si pro každý rok od roku 1826 vynesl počet dní v roce, v nichž na Slunci nepozoroval jedinou skvrnu, spatřil přibližně jedenáctiletou cykličnost. Periodicita nese dnes jeho jméno.

Jedenáctiletá perioda se neprojevuje jen v počtu slunečních skvrn, ale obecně ve

Vpravo: Graf relativního čísla od roku 1610 téměř po současnost. V jednotlivých cyklech jsou zobrazena též jejich čísla. Povšimněme si cyklu číslo 4, který trval dlouhých 15 let, a také téměř výpadku sluneční činnosti mezi roky 1645 a 1715, který odpovídá Malé době ledové.

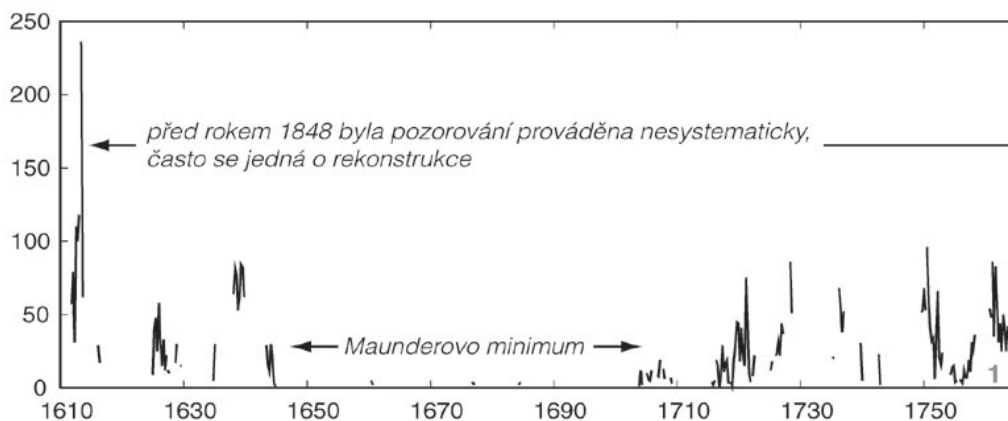
výskytu všech projevů sluneční aktivity. V maximu cyklu se pozoruje více erupcí a bývají mohutnější, fakulová pole jsou častější a mívají větší plochu. Častěji můžeme pozorovat koronální výrony hmoty a s tím související polární záře na Zemi. Cykličnost prostupuje celým slunečním nitrem, jedenáctiletou periodu lze detekovat i v neutrinovém toku, tedy v počtu částic, které vznikají v samotném slunečním jádru. Díky svému malému účinnému průřezu téměř bez odporu pronikají celým slunečním nitrem i atmosférou, takže poskytují jedinečnou, téměř okamžitou informaci o dění v jádře.

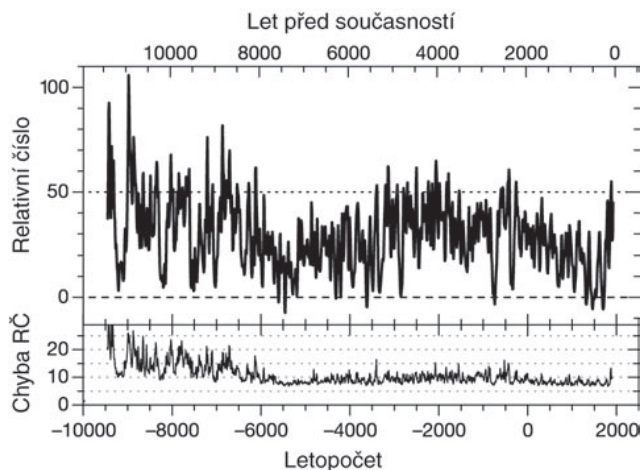
Aby v tom byl pořádek, začali astronomové jednotlivé jedenáctileté cykly číslovat. Cyklus číslo jedna tak měl maximum v roce 1760, poslední cyklus byl v pořadí již třídvacátý s maximem v roce 2001. Délky Schwabeho cyklů se lehce mění. Jejich průměr je 11,1 let, přičemž některá období aktivity jsou dodnes velkou záha-

dou. Mezi nimi například čtvrtý cyklus, který začal v roce 1784 a trval celých dlouhých 15 let. Dlužno podotknout, že existují práce poukazující na nedostatek pozorovacích dat na konci 18. století, které současně naznačují, že tento čtvrtý číslovaný cyklus by mohl být spíše složen ze dvou podstatně kratších. V každém případě přinášejí nepravidelnosti jedenáctiletého rytmu důležité testy pro modely předpovídající sluneční aktivitu do budoucnosti.

V podstatě je jedenáctiletá perioda částečně falešná. Skutečná perioda, ta, která má astrofyzikální základ, je totiž dvojnásobná. Její objev však musel čekat až do roku 1890, kdy byl Georgem Halem (1868–1938) zkonstruován spektroheliograf. Tento přístroj umožnil pozorování Slunce v jednotlivých spektrálních čarách a jejich záznam na fotografickou desku. Od toho byl již jen krůček k objevu silného magnetického pole ve skvrnách. Systematické měření polarity slunečních skvrn pak vedlo ke zjištění, že celková polarita magnetického pole Slunce se jednou za jedenáct let obrátí. Dojde k takzvanému přepólování. K návratu do původního stavu, tedy k dokončení periody, pak Slunce potřebuje dalších jedenáct let. Hlavní cyklus, který nese Haleovo jméno, je tedy dvaadvacetiletý.

Cyklus se střední délkou 87 let se nazývá Gleissbergův a je další periodicitou





Dlouhodobá rekonstrukce sluneční aktivity ze zastoupení izotopu uhlíku ^{14}C ukazuje, že sluneční aktivita se v průběhu staletí příliš neměnila. Nárůst v posledních 40 letech koresponduje s pozorovaným relativním číslem. (Podle Solanki a kol., *Nature* 431 (2004), 1084–1087.)

detekovanou na základě dlouhodobých pozorování slunečních skvrn. Projevuje se modulací amplitudy jedenáctiletého cyklu – s touto periodou se mění např. maximální počty slunečních skvrn v maximech jedenáctiletého cyklu. Na druhé straně je ve výskytu slunečních erupcí pozorována perioda 154 dní (140–170 dní).

Sluneční fyzikové se samozřejmě snaží odhalit i další periody, s nimiž by se jevy ve slunečním tělese opakovaly. Je snadné použít nástroje harmonické analýzy k odhalení těchto period ve vybrané řadě měření některého z jevů. Je však složitější prokázat, zda vypočtená perioda není pouhým artefaktem matematické metody a zda je v jejím pozadí nějaké fyzikální dění. Mnohé periody jsou též periodami falešnými, poplatnými změnám orientace slunečního tělesa v prostoru. Při harmonických analýzách se tak téměř vždy objeví perioda 27 dní, odpovídající sluneční rotaci, nebo jednoho roku, způsobená změnou orientace Slunce vůči Zemi způsobené zemským oběhem.

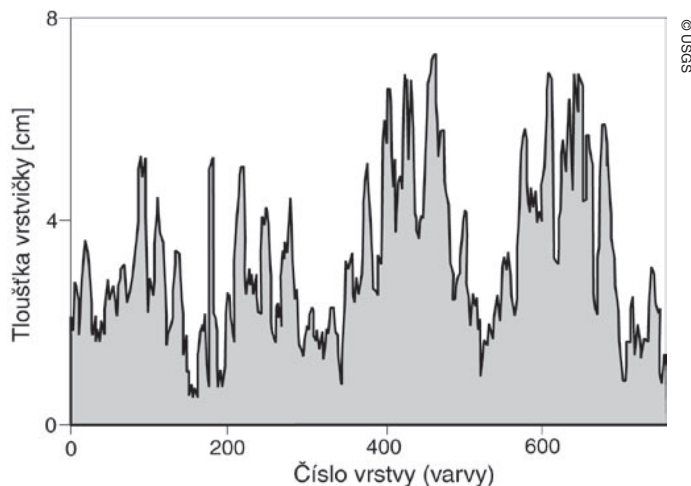
O dlouhodobém vývoji aktivity toho víme ještě méně. V záznamech jsou náznaky cyklů s délkou 205 let (de Vriesův) a též 2300 let (Hallstättův). Systematická pozorování slunečních skvrn existují od roku 1848. Pozorování před tímto zlomovým rokem, kdy se do sluneční fyziky vložil Rudolf Wolf (1818–1893), nebyla prováděna systematicky a informace v nich ukrytá může být do jisté míry zkreslená. Přesto všechno by bylo dobré mít možnost získat údaje o vývoji aktivity ještě dále do minulosti.

Příroda byla vědcům v tomto milostiva. Ukazuje se, že výskyt některých izotopů jednodušších chemických prvků (např. ^{14}C nebo ^{10}Be) se s aktivitou mění. Rekonstrukce míry sluneční aktivity založené na mapování výskytu těchto tzv. kosmogenních prvků v letokruzích dlouhožijících stromů nebo vrtech v antarktickém ledu dnes pokrývá téměř celý holocén, tedy posledních asi jedenáct tisíc let. Studie přesvědčivě ukazuje, že úroveň sluneční aktivity se v tomto dlouhém období nijak významně neměnila.

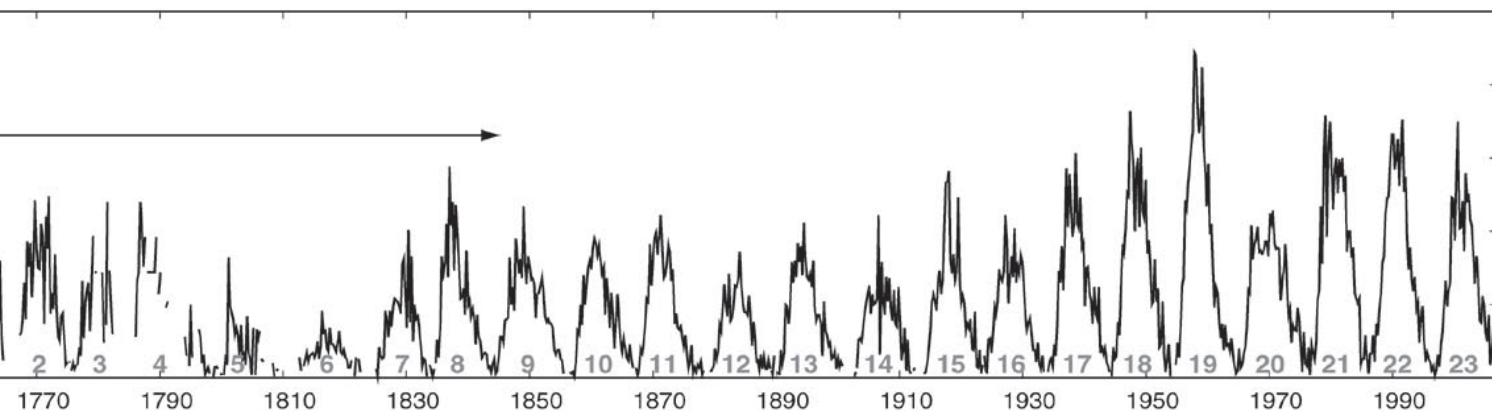
Další známky sluneční aktivity přišly z nečekaně dávné mi-

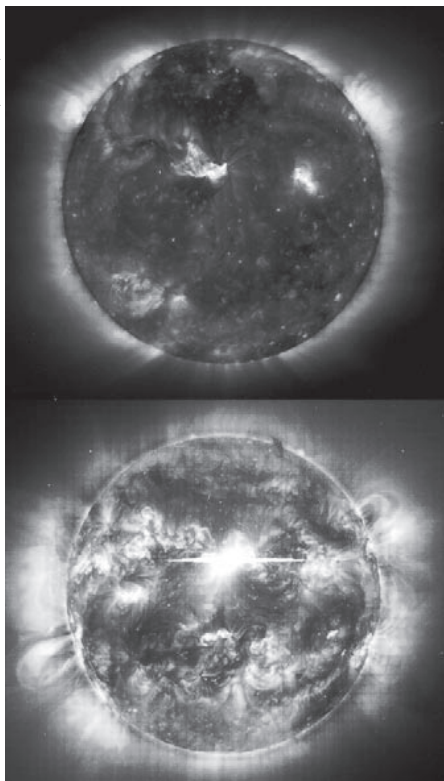
nulosti – ze svrchního permu před 240 miliony let. V Castilské formaci nacházející se v západním Texasu v USA bylo nalezeno přes 200 000 ročně ukládaných vrstviček (varev) kalcitu a anhydritu a anhydritu a halitu. Tato oblast se nacházela v období svrchního permu na západním pobřeží Pangey, byla však částečně izolována od pravěkého oceánu Panthalasa. Tloušťka a složení jednotlivých vrstviček byly ovlivňovány zejména přítoky a odtoky mořské vody, takže se zde citlivě zaznamenaly klimatické změny. V usazeninách byly objeveny cykly s délkou kolem 20, 200 a 2500 let, jenž přinejmenším číselně korespondují s periodicitou sluneční aktivity.

Z toho všeho vyplývá, že sluneční aktivita se na dlouhodobých škálách zřejmě výrazně nemění. Délka jednotlivých slunečních period je prozatím záhadou. Je velkým úkolem teoretických astrofyziků vysvětlit tyto zákonitosti pomocí numerických modelů. Magnetické cykly jsou pozorovány



Tloušťka každoročně ukládaných vrstviček sedimentů (varev) v Castilské formaci před 240 miliony lety spolehlivě mapovala stav klimatu, a tím zřejmě i sluneční aktivitu. Existence 200letého cyklu je dobře patrná i na tomto ukázkovém souboru. Celkově byly studovány změny klimatu v průběhu 200 000 let v období svrchního permu.





Tvar vnitřní koróny rok po minimu aktivity (21. 10. 1997) a rok před maximem aktivity (14. 7. 2000). Přístroj EIT (Extreme ultraviolet Imaging Telescope) na palubě družice SOHO zaznamenává plazma ve stavu vysoké ionizace s teplotou kolem 1 500 000 °C. Efektivně tak zviditelňuje přítomnost smyček magnetického pole ve vnitřní koróně. Povšimněte si probíhající erupce na spodním obrázku, která se projevuje přetečením pixelů detektoru. Tato erupce dosáhla třídy X5 s energetickým tokem $5 \times 10^{-4} \text{ W m}^{-2}$ v pásu měkkého rentgenového záření mezi 0,1 a 0,8 nm. Tvar koróny a celkový tok měkkého rentgenového záření v popsaném pásu jsou citlivými indikátory stavu sluneční aktivity.

i u jiných chladných hvězd, což dodává další nezávislý materiál vědcům zabývající se slunečním dynamem. Jeho principy by měly být pro hvězdy pozdních spektrálních typů univerzální. Prozatím se z pozorovacího materiálu zdá, že délka magnetické periody je ovlivněna typem hvězdy, ale též například rychlostí její rotace. Přesné vysvětlení ale prozatím chybí.

Mgr. Michal Švanda, Ph.D. (*1980) vystudoval astronomii a astrofyziku na MFF UK, kde posléze obhájil i disertační práci s tématem velkoškálové dynamiky ve sluneční fotosféře. V současnosti pracuje v Astronomických ústavech MFF UK a AV ČR.
Email: michal@astronomie.cz

24. cyklus aktivity konečně začal!

4. ledna 2008 se ve sluneční fotosféře 30 stupňů severně od rovníku vynořila aktivní oblast s opačnou magnetickou polaritou, než bylo běžné u jiných aktivních oblastí ležících na severní sluneční polokouli. Tento moment značí opravdový nástup nového slunečního cyklu. Už bylo na čase! Kdybychom uvažovali sluneční cyklus jako přísně pravidelný, musel by 24. cyklus již více než rok probíhat. Periodicita hlavního, tedy jedenáctiletého, cyklu je ale poněkud méně striktní. Přesto i ty nejpesimističtější modely předpovídaly nástup nového cyklu nejpozději v druhé polovině roku 2007. Náznaky začínajícího cyklu se objevily už 11. prosince loňského roku, kdy se ve fotosféře objevilo malé bipolární magnetické pole s opačnou polaritou. To se však neprojevilo přítomností skvrn ve fotosféře a poměrně rychle se rozpadlo.

Dlouhodobé předpovědi sluneční aktivity jsou nesmírně obtížnou disciplínou. Skutečné fyzikální pozadí sluneční cykličnosti je totiž zahaleno rouškou tajemství, jež jsou odkrývána jen velmi pomalu. Dnes se při předpovědích používají dva přístupy: fyzikální a statistický. Ten statistický se snaží křivku určitého indexu aktivity popsat matematickou funkcí nebo jejich souborem a na základě znalosti volných parametrů tohoto modelu předpovědět (extrapolovat) chování datové řady do budoucna. Z toho jasně vyplývá, že tato metoda bere v úvahu jen jeden použitý soubor měření (nejčastější křivku relativního čísla slunečních skvrn nebo celkový tok v měkkém rentgenovém oboru, protože tyto dvě charakteristiky sluneční aktivity jsou sledovány dlouhodobě stále stejným způsobem) a vůbec nevyužije možnosti podpůrných pozorování. Statistické metody typicky předpovídaly nástup 24. cyklu do roku 2006. Druhou skupinou jsou pak modely vycházející z fyzikálních principů, o nichž se obecně myslí, že se podílejí na formování sluneční cykličnosti. Do těchto modelů vstupují reálná měření parametrů v těchto jevech se vyskytujících. Dnes již klasickou podmožinou jsou modely simulující transport magnetického pole ve fotosféře a podfotosférických vrstvách. S velkým úspěchem jsou do modelů započítávána fotosférická a podfotosférická rychlostní pole, neboť právě pohyby plazmatu jsou do značné míry odpovědné za přenos a přerozdělování magnetického pole na Slunci. Pohyby plazmatu v konvektivní zóně jsou měřeny lokální helioseismologií, která se úspěšně rozvíjí několik posledních desetiletí. Modely založené na přenosu magnetického toku předpovídaly opožděný nástup nového cyklu.

A jaký bude 24. cyklus sluneční aktivity? Modely založené na transportu magnetického pole jej předpovídají až o polovinu silnější než cyklus, který právě končí. Maxima by měl dosáhnout v roce 2012. Podle těchto předpovědí se tedy máme na co těšit a hlavně bychom si to měli pořádně užít. Cyklus následující, tedy pětadvacátý v pořadí, který by měl vrcholit kolem roku 2022, bude totiž podle odborníků naopak tím nejslabším za poslední století.

Magnetogram pořízený 4. ledna 2008 přístrojem MDI na družicové observatoři SOHO. Magnetogram je přístroj, který v každém bodě slunečního disku změří intenzitu podélné složky magnetického pole. Skupiny slunečních skvrn se typicky projevují jako bipolární magnetické oblasti. Na začátku ledna spolu koexistovaly skupiny starého a nového cyklu. Proto mají obě skupiny stejnou polaritu, byť jsou na opačných stranách od slunečního rovníku. Ve 24. cyklu budou mít skupiny na severní polokouli polaritu stejnou jako NOAA 10981, zatímco na jižní opačnou než NOAA 10980.

