

Hvězdné dynamo

Podle Scientific American připravil

Vladimír Kopecký Jr.

Slunce je naší nejbližší hvězdou a procesy, které se na něm odehrávají, nám dávají nahlédnout do života hvězd jako takových. Dosud však neexistuje jednotný model dobře popisující procesy zodpovídající za jevy námi pozorované na Slunci. Jedním z nejlepších modelů, jež jsou nyní k dispozici, je model dynamo, který se vám pokusím v následujících řádcích přiblížit.

Sluneční skvrny

Sluneční skvrny jsou výrazným projevem sluneční aktivity a lidé je pozorují již celá tisíciletí. Nejstaršími záznamy o pozorování slunečních skvrn jsou čínské dokumenty, které byly pořízeny na základě pozorování neozbrojeným okem před 2000 lety. Éra skutečně vědeckého pozorování slunečních skvrn však začíná až s vynálezem dalekohledu. Mezi léty 1609 až 1611 pozorovali sluneční skvrny Johannes Fabricius, Thomas Harriot, Christopher Scheiner a Galileo Galilei. Od těch let jsou sluneční skvrny pozorovány pravidelně až do dnešních dnů a jejich pozorování se stalo základním klíčem k pochopení procesů, které probíhají na povrchu Slunce i v jeho nitru.

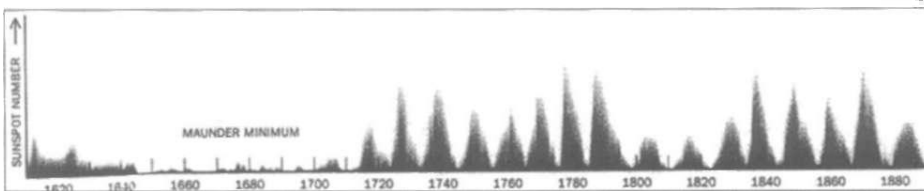
Ale co vlastně jsou sluneční skvrny doopravdy? Začátkem 20. století shledal na základě spektroskopických měření George Ellery Hale z Mount Wilsonské observatoře v Kalifornii tyto povrchové útvary místy velmi silných magnetických polí, s intenzitou až několika tisíc Gaussů (pro srovnání zemské magnetické pole má v průměru intenzitu půl Gaussu). Tmavá barva skvrn je způsobena

na tím, že jsou přibližně o 2000 stupňů chladnější než okolní povrch. Kdybychom je viděli na pozadí nočního nebe, zářily by oranžovo-červeně. Skvrny vznikají tak, že silné magnetické pole potlačí proudění plynu, čímž zamezí přenosu tepla z nitra Slunce. Siločáry magnetického pole, které vytváří sluneční skvrny, mají tendenci se vynořovat z povrchu v jedné ze skvrn a vstupovat do Slunce v jiné skvrně. Spojování skvrn do párů tedy připomíná pole tyčového magnetu, který je orientován zhruba ve směru východ - západ. Kromě magnetického pole, které najdeme v oblastech s výskytem skvrn, má Slunce ještě slabé pole velkého měřítka. Toto pole má dipólovou konfiguraci a v podstatě svým vzhledem připomíná zemské magnetické pole.

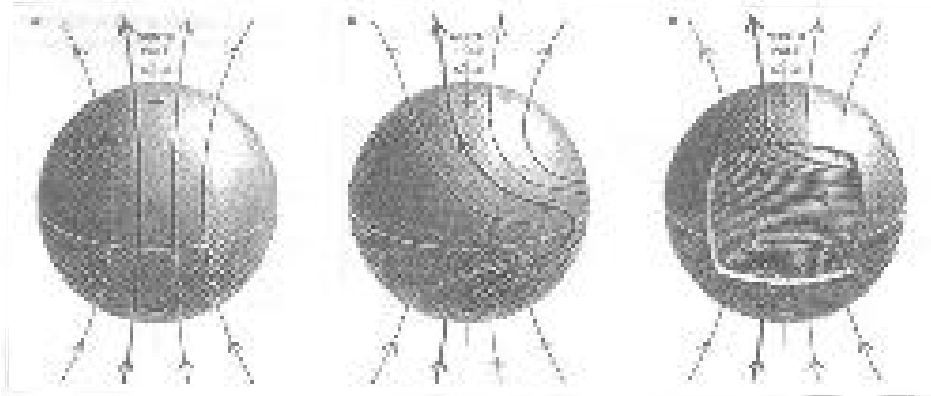
Jak asi každý ví, sluneční skvrny vykazují co do výskytu statistickou periodu jedenácti let. Na počátku každého jedenáctiletého cyklu se sluneční skvrny objevují na obou polokoulích kolem 40° sluneční šířky a jak cyklus pokračuje přibližují se blíže k rovníku, až se nakonec v minimu cyklu vyskytují poblíž rovníku. Z měření magnetického pole vyplývá, že

vedoucí sluneční skvrna v páru, ta která první vstupuje do zorného pole díky rotaci Slunce, má stejnou polaritu jako pól hemisféry, na níž se vyskytuje, naopak uzavírající skvrna má opačnou polaritu. Roku 1925 bratři Nicholsonové objevili, že charakter polarity skvrn ve skupinách se otočí každých 11 let, takže úplný magnetický cyklus trvá 22 let. Avšak existence dalších cyklů sluneční aktivity s delší periodou zůstává dodnes sporná.

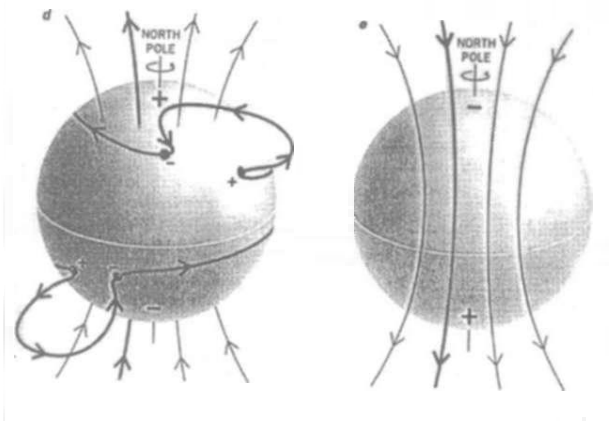
Popis sluneční aktivity, tak jak byl podán v předchozích odstavcích, ukazuje přesnou periodicitu. Chování Slunce však nebylo vždy tak pravidelné. Archivy Pařížské observatoře ukazují mezi léty 1661 až 1705 pozoruhodný jev. Slunce v této době nevykazovalo téměř žádné sluneční skvrny a těch několik, které astronomové viděli, se vyskytovalo převážně na jižní polokouli a navíc se přes sluneční disk pohybovaly mnohem pomaleji, než to dnešní skvrny dělají. Toto období nízké sluneční aktivity vešlo následně ve známost pod názvem „Maunderovo minimum“. Teprve počátkem 18. století přijalo Slunce svůj „moderní“ vzhled s hojností skvrn na obou polokoulích a



JEDENÁCTILETÝ CYKLUS aktivity slunečních skvrn byl přerušen mezi roky 1645 a 1715 obdobím klidu. Toto období nedostatku slunečních skvrn se nazývá Maunderovo minimum, krylo se s neobvykle nízkými teplotami v Evropě, indikujíc tak vliv slunečních fluktuací na klima Země. Současná pravidelná pulsní aktivita Slunce (vpravo) byla pozorována během jednoho cyklu na Pařížské observatoři.



SLUNEČNÍ DYNAMO generuje sluneční magnetická pole a také způsobuje změnu orientace každých 11 let. Předpokládáme, že počáteční magnetické pole (a) je podobné poli tyčového magnetu se severním pólem (+) poblíž severního geografického pólu Slunce. Siločáry magnetického pole jsou unášeny elektricky nabitými plyny. Rychlejší proudění na rovníku proto deformuje siločáry pole (b), dokud je neobtočí pevně (c) kolem Slunce. Ale siločáry pole pak vzdorují vtažení a rozvinutí, stoupají nahoru k povrchu a vyrazí jako dvojice slunečních skvrn (d). Sluneční skvrny jsou unášeny směrem k pólům, s uzavírající sluneční skvrnou, která dohání první skvrnu; výsledkem je celkové vyšíhnutí pole (e). Kromě výše uvedeného dipólového pole, má Slunce pravděpodobně i „kvadrupólové“ pole (protější strana, červeně), které se dostává do „rázů“ s polem dipólu, což bylo příčinou Maunderova minima.



s pravidelným jedenáctiletým cyklem. Právě období Maunderova minima je prubířským kamenem nově se vytvářejících fyzikálních modelů popisujících sluneční činnost.

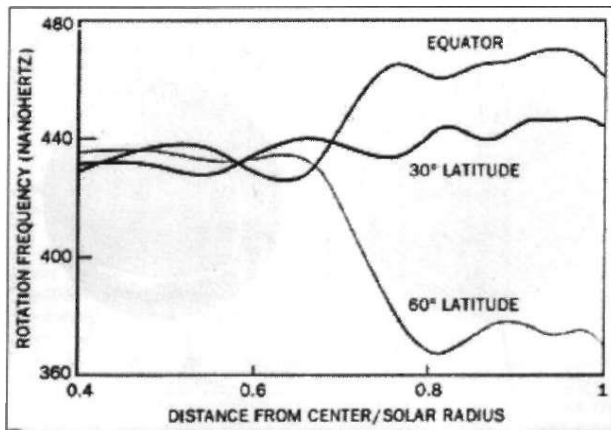
Sluneční dynamo

V předchozí kapitole jsme shrnuli hlavní dostupné poznatky o sluneční aktivitě a teď se konečně pokusíme

nahlédnout pod pokličku teoretické fyziky. První vysvětlení toho, jak sluneční plyn vytváří magnetické pole, podal roku 1955 Eugen N. Parker z Chicagské univerzity. Díky vysoké teplotě ztrácejí atomy vodíku a helia své elektrony, čímž narůstá podíl elektricky nabitých hmoty, kterou nazýváme plazma. Jak se proudy elektricky nabitých částic pohybují, vytvářejí magnetické pole. Protože plazma vede proud velmi efek-

tivně, siločáry magnetického pole se nemožou pohybovat napříč plazmatem v důsledku generace induktivních (Foucaultových) proudů. V tomto případě říkáme, že magnetická pole jsou „zamrzlá“ v plazmatu. Navíc, sluneční rotace generuje síly, které uspořádávají jednotlivé plazmatické proudy a tím se vytváří souhrnné magnetické pole. A právě výše popsanému přírodnímu jevu, který vytváří magnetické pole z toku elektrického proudu, se říká „sluneční dynamo“.

V polovině 19. století objevil anglický astronom Richard C. Carrington, že skvrny blízko rovníku rotují přibližně o 2% rychleji než ve středních šířkách. Protože sluneční skvrny bezprostředně souvisí s proudy plazmy, tento objev ukazuje, že sluneční povrch rotuje různými rychlostmi. Rotační perioda je na rovníku kolem 25 dní, 28 dní v šířce 45° a stále se prodlužuje se vzrůstající šířkou. Můžeme se tedy domnívat, že rozdíl v rotaci se prohlubuje již během cesty plazmatu v podvrstevných vrstvách. Učíme nyní myšlenkový pokus. Předpokládejme počáteční stav magnetického pole Slunce v podobě dipólu s orientací ve směru sever - jih. Plazma nesoucí tuto



ROTACE slunečního povrchu je rychlejší na rovníku a pomalejší blízko pólů. Tato rozdílná rotace (jak bylo změřeno Global Oscillation Network Group na slunečních zemětřeseních) se přenáší skrz vnější vrstvy. Sluneční jádro, ve kterém Slunce generuje energii, která je rozhodující pro pohon dynamo, nejpravděpodobněji rotuje konstantní úhlovou rychlostí, jako pevné těleso.

orientaci míří k povrchu, ale na rovníku je taženo vpřed rychlejší rotací než ve vyšších šířkách, dipól je tudíž deformován ve směru východ - západ. Až nakonec míří paralelně s rovníkem a ejhle - na povrchu se nám vynořuje taková konfigurace dipólového magnetického pole, jakou najdeme ve dvojici slunečních skvrny. Po pravdě řečeno, nikdy nic není tak jednoduché, jak se zdá. Do hry zde totiž ještě vstupují Coriolisovy síly, které uspořádávají sluneční skvrny ve skupinách tak, že uzavírající skvrny na severní polokouli leží v mírně vyšší šířce než skvrny vedoucí.

Stále jsme však neodpověděli na otázku, co se stalo během Maunderova minima. Ve snaze objasnit tuto záhadu, si profesor Sokořov a astronomka Nesme-Ribesová uvědomili, že každý dipól má ještě malou kvadrupólovou složku, která se podobá poli dvou tyčových magnetů položených vedle sebe. Jestliže kvadrupól osciluje s mírně odlišnou frekvencí než dipól, tak skvrny jsou produkovány na jedné polokouli o něco dříve než na druhé polokouli. Tedy přesně to, co pozorujeme nyní. V případě, že kvadrupólové pole je stejně silné jako pole dipólu, tak se pole vzájemně vyrší na jedné polokouli, ale na druhé zůstane. Důsledkem je, že všech-

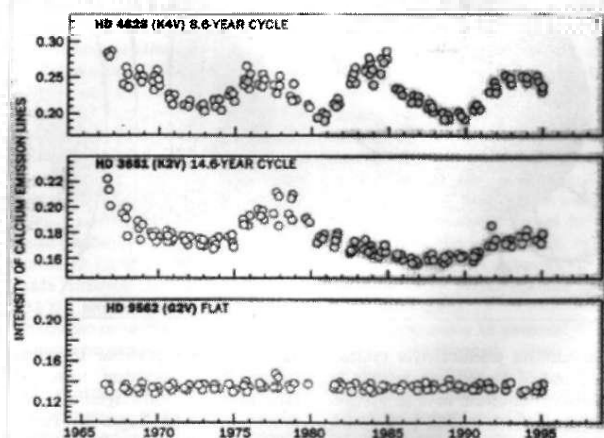
ny skvrny, které se objeví, budou jen na jedné hemisféře, přesně tak jak to bylo zaznamenáno v 17. století během Maunderova minima. Zdá se tedy, že klíč k celé záhadě sluneční periodicity je

ukryt ve vzájemném vztahu dipólové a kvadrupólové složky magnetického pole.

Dynamické hvězdy

Je sice hezké vytvořit teoretický model dynamo, ale mít k dispozici jen jedinou hvězdu, naše Slunce, pro ověření tohoto modelu, není vůbec dostatečné. K ověření naší teoretické představy je potřeba mnohem větší statistický soubor hvězd, ale jak na to? Aktivita magnetických polí na Slunci úzce souvisí s intenzitou dvou fialových emisních spektrálních čar vápníku (s vlnovou délkou 396,7 a 393,4 nanometrů). Změny v těchto čarách jsou právě jednou z cest, jak sledovat činnost magnetických polí na vzdálených hvězdách.

Již roku 1966 začal Olin C. Wilson na Mount Wilsonské observatoři program měření magnetické aktivity zhruba 100 hvězd hlavní posloupnosti, které jsou velmi podobné našemu Slunci. Soubor měřených hvězd zahrnuje objekty nejrůznějšího stáří. Mladé hvězdy, jednu nebo dvě miliardy let staré, vykazují díky rychlé rotaci krátké a nepřilíh dobře definované cykly magnetické aktivity. Jejich periody se pohybují mezi 2 až 20 lety, přičemž se obecně prodlužují s věkem. Jak totiž hvězda stárne, zpomaluje se její rotace a pozvol-



ROTACE slunečního povrchu je rychlejší na rovníku a pomalejší blízko pólů. Tato rozdílná rotace (jak bylo změřeno Global Oscillation Network Group na slunečních zemětřeseních) se přenáší skrz vnější vrstvy. Sluneční jádro, ve kterém Slunce generuje energii, která je rozhodující pro pohon dynamo, nejpravděpodobněji rotuje konstantní úhlovou rychlostí, jako pevné těleso.

na se ustaluje konzistentní dynamický systém s periodou kolem šesti až sedmi let nebo se dvěma nezávislými periodami. V případě existence dvou period, se s prodlužujícím věkem hvězdy stává jedna z period dominantní až nakonec převládne docela. S pokročilým věkem se perioda prodlouží až na devět až čtrnáct let. Každá z výše zmíněných hvězd však vykazuje příležitostná Maunderova minima. Teorie předpokládá, že u velmi starých hvězd by mělo být magnetické pole stabilní, avšak pozorované hvězdy se stáří 10 miliard let stále ještě ukazují periodické chování. To jasně ukazuje, že stabilní magnetické pole nemůže být během života hvězd podobných Slunci dosaženo, neboť tyto hvězdy expandují právě po zhruba 10 miliardách let do rudých obrů. Z pozorování navíc vyplývá, že hvězdy podobné Slunci stráví přibližně čtvrtinu svého života v období klidu, tj. ve fázi podobné Maunderovu minimu.

Nedávno byla nalezena hvězda HD 3651 ve stádiu mezi cyklem a Maunderovým minimem. Tato hvězda vykazovala periodické chování s cyklem přibližně 12 let. Jak se její magnetická aktivita dostávala na nižší úroveň, tak přestávala fluktuovat, ale její přechod do klidové fáze byl překvapivě rychlý. Pozorování série hvězd po dobu desetiletí nám tedy dalo představu o chování našeho Slunce v časové škále celých tisíců let.

Závěrem bychom se měli zamyslet nad smyslem takového výzkumu a nad jeho dalším směrem. Samotný výzkum by měl vyústit v potvrzení teoretického modelu hvězd typu našeho Slunce. Nebudeme zastírat, že model dynamiky má své mouchy. Model vyžaduje, aby Slunce rotovalo rychleji uvnitř, tomu však odporují helioseismologická měření (helioseismologie = věda o oscilacích slunečního povrchu, tedy o „zemětřeseních“ na Slunci) pozorovací sítě *Global Oscillations Network Group*. Ta totiž ukazují pravý opak. Nezbyvá proto než doufat, že nová měření sondy SOHO (*Solar and Heliospheric Observatory*) vnesou do této otázky více světla.

Pochopíme-li mechanismus vzniku cyklů sluneční činnosti, budeme schopni mnohem lépe předpovídat intenzitu cyklů následujících, což má například bezprostřední význam při plánování životnosti kosmických zařízení

nebo drah, na než jsou družice vypouštěny.

A v neposlední řadě je třeba se zmínit o vztah mezi klimatem a slunečními cykly. Délka slunečního cyklu například blízce koreluje se změnami globálních teplot za posledních 100 let. Simulace provedené v Laboratoři dynamické meteorologie v Paříži naznačují, že během klidové fáze by mělo docházet ke globálnímu poklesu teploty Země o 1 až 2 stupně Celsia. Krom toho, z důvodů dosud nepochopených, cyklus slunečních skvrn koreluje se stratosférickým prouděním. Zdá se, že například variace ultrafialového záření slunce mohou měnit obsah ozónu ve vrchních vrstvách naší atmosféry, právě tak jako jejich dynamiku. Poslední simulace také ukazují, že proudění v nižší stratosféře může své variace přenášet přímo do troposféry, kde dochází k přímé interakci se systémem počasí. Prohlédneme-li tuto změnu vztahů mezi slunečními cykly a dlouhodobými změnami klimatu, budeme schopni nejenom zvažovat klimatický průběh následujících dekád, ale především se nám podaří upřesnit roli lidského faktoru a jeho působení na naši Zemi a celý její přírodní systém. Právě tato informace se v budoucnu může ukázat životně důležitou. ■

Autoři

ELIZABETH NESME-RIBES,
SALLIE L. BALIUNAS
A DMITRY SOKOLOFF
se všichni podíleli na rozkrývání vztahů mezi slunečními variacemi a pozemským klimatem. Nesme-Ribes je astronomka z Pařížské observatoře a Národního centra vědeckého výzkumu ve Francii. Kromě studia slunečního dynamika vede rozsáhlé pátrání v archívech slunečních skvrn ze 17. století ve své domovské instituci. Baliunas je vědecká pracovníce v Harvard-Smithsonianově centru pro astrofyziku v Cambridge, Massachusetts. Pozoruje variace Slunci podobných hvězd na Mount Wilsonské observatoři v Pasadena, Kalifornie, kde je zastupující ředitel. Sokoloff je profesor matematiky na fyzikální fakultě Moskevské státní univerzity v Rusku. ■

Zemřel

prof. RNDr. Vladimír Vanýsek,
DrSc.

Opustil nás po dlouhé, těžké nemoci dne 27. července 1997 ve věku 71 let.

Vzpomínky na pana profesora zůstanou v srdcích jeho rodiny, příbuzných, mnoha vědců, fyziků, astronomů, studentů, a zvláště těch, kteří měli příležitost navštěvovat přednášky, které měl na Astronomickém ústavu MFF UK.

Prof. Vanýsek je znám mezi širokou veřejností zejména jako autor astronomických publikací, z nichž je snad nejznámější knížka „Základy astronomie a astrofyziky“, která stále slouží jako základní učebnice astronomie.

Ikdyž prof. Vanýsek odešel, jeho jméno zůstane tam, kam po celý život směřovaly jeho myšlenky. Asteroid, který je po něm pojmenován, obíhá kolem Slunce.

„Život měřtne skautky, ne časem,“ řekl kdysi Seneca.

Alé astronomie je vědná a život je proti ní krátký.

Michaela Kryšková