Na čem pracujeme: Magnetické pole v penumbře sluneční skvrny a pohyb penumbrálních zrn

8.2.2024 - M. Sobotka, J. Jurčák | Astronomický ústav AV ČR

Sluneční skvrny jsou bezpochyby nejvíce známými projevy sluneční činnosti.

Silné koncentrace magnetických polí natolik ovlivňují proudění horkého plazmatu z nitra Slunce, že tyto oblasti velmi intenzivně chladnou a stávají se tak ve srovnání s okolím tmavšími. Charakter konvekce, která vynáší přehřáté bubliny plazmatu ze slunečního nitra na povrch, je přítomností magnetického pole také podstatně změněn. Místo granulí, obřích bublin s rozměry srovnatelnými se Španělskem, zde pozorujeme celou řadu mnohem menší útvarů, v nichž lze jen s velkou dálkou fantazie dosledovat jejich konvektivní původ.

Vyvinutá sluneční skvrna je na první pohled sestavena ze dvou odlišných částí, z vnitřní velmi tmavé umbry, která je obklopena světlejší penumbrou. Již lepší amatérské dalekohledy ukáží, že penumbra není jednolitá, ale je sestavena z radiálních vláken, tzv. penumbrálních filamentů. Profesionální dalekohledy s vysokým rozlišením ukazují, že tyto penumbrální filamenty mají svoji vnitřní strukturu. Výraznými jsou zejména jejich hlavy, které připomínají svým vzhledem hlavu komety. Tyto útvary, jasnější než okolí, byly pojmenovány jako penumbrální zrna.

Penumbra skvrny není statická. Pozorování založená na Dopplerově jevu ukazují, že horké plazma teče v rámci penumbrálních filamentů ven ze skvrny, filamenty tedy představují zmagnetizované trubice, jimiž teče plazma. Pohyby zrn jsou ovšem komplikovanější. Pokud jsou odvozeny ze sekvence pozorování, ukazuje se, že zrna se převážně pohybují ven ze skvrny, pokud se nacházejí ve vnější části penumbry, a dovnitř skvrny do umbry, pokud se nacházejí ve vnitřní polovině penumbry. Přitom vlastní pohyb plazmatu je stále ven. Vzniká tak zdánlivý rozpor. Pohyb penumbrálních zrn tak není fyzickým pohybem, ale spíše iluzí vyvolanou změnou struktury penumbrálního filamentu. Asi jako když se plazí housenka a po těle jí probíhají svalové vlny zjevně rychleji než odpovídá rychlosti skutečného pohybu tvora.

I tato pozorování je ovšem potřeba vysvětlit na fyzikálních principech. V nedávné minulosti se objevily v literatuře hypotézy a náznaky, že by mohlo jít o interakci magnetického pole uvnitř penumbrálního filamentu v místě zrna a pole okolního. Je totiž známo, že sklon magnetického pole v penumbře se se vzdáleností od umbry mění. Ve vnitřní části je více vertikální, zatímco na přechodu do okolní fotosféry je toto pole téměř horizontální. V umbrálních zrnech se pozoruje podobný trend, je ovšem výrazně pomalejší. Objevila se tak myšlenka, že pokud je sklon pole filamentu v místě zrna větší než je sklon okolního magnetického pole, bude přirozeně docházet k vyrovnávání této změny a to povede ke zdánlivému pohybu zrna ve směru vertikálnějšího pole, tedy směrem dovnitř skvrny. Naproti tomu, pokud by byl sklon vnitřní pole v penumbrálním zrně menší než okolí, můžeme očekávat opačný proces, tedy zdánlivé vytlačování penumbrálního zrna ven ze skvrny.

Tuto lákavou myšlenku ověřoval statisticky tým odborníků pod vedením Michal Sobotky z ASU. K tomuto účelu využili pětici pozorování slunečních skvrn a vysokým rozlišením, a to jak z kosmické družice Hinode, tak ze dvou významných pozemních přístrojů umístěných na Kanárských ostrovech. Ve všech případech se nejednalo pouze o pořizování snímků, ale současně také o získání spektropolarimetrických dat. Vektor magnetického pole totiž nelze měřit přímo, ale je nutné jej vypočítat právě ze spekter pořízených v polarizovaném světle. Bohužel, tyto dvě datové sady nelze

pořizovat zcela simultánně, autoři tedy museli věnovat zvýšenou pozornost správné identifikaci jednotlivých struktur.

Výsledky však statisticky velmi podporují naznačenou myšlenku. Skutečně to vypadá, že více než polovina penumbrálních zrn pohybujících se dovnitř směrem k umbře má větší sklon magnetického pole ve srovnání s okolím. Podobný zlomek zrn směřujících ven ze skvrny má naopak sklon menší než okolí.

Modelu nevyhovují všechny exempláře z více než sedmi stovek individuálně vyšetřovaných, statisticky ale jednoznačně převažují ty vyhovující. Autoři v představované práci ovšem upozorňují, že rozporuplné výsledky u nevyhovujících exemplářů nemusí nutně znamenat neúspěch. Svoji roli totiž hrají nejistoty měření, jejichž původ je jak v pozorování tak v inverzních metodách počítajících vektor magnetického pole. Naznačují tak, že nová generace slunečních dalekohledů, jako je například již fungující čtyřmetrový DKIST na Havajských ostrovech, může do věci vnést jasněji.

M. Sobotka, J. Jurčák a kol. 2024, *The relation between magnetic field inclination and the apparent motion of penumbral grains*, Astronomy & Astrophysics, 682, A65

http://www.asu.cas.cz/articles/2239/19/na-cem-pracujeme-magneticke-pole-v-penumbre-slunecni-skvrny-a-pohyb-penumbralnich-zrn