Na čem pracujeme: Vlastnosti světelných mostů ve slunečních skvrnách

Datum	18.9.2026
Subjekt	Astronomický ústav AV ČR
Autor	Sobotka, Jurčák
Region	Tschechische Republik
Kategorie	Technologie, Wissenschaft, technische und berufliche Tätigkeiten, Wissenschaft und Forschung

Sluneční skvrny nejsou jednolité oblasti silného magnetického pole. Jejich tmavá jádra mohou přetínat světlé pásy, takzvané světelné mosty, v nichž se znovu prosazuje konvekce běžná v oblastech bez magnetického pole. Nová pozorování pěti takových mostů ukazují, jak přesně síla a orientace magnetického pole řídí velikost, jas a rychlost pohybů plazmatu v těchto strukturách. Současně upřesňuje podmínky pro výskyt velkých granulí, které jsou ve světelných mostech relativně vzácné.

Sluneční skvrny jsou místa, kde na povrch Slunce vystupuje velmi silné magnetické pole. Jeho vliv na pohyb látky je natolik velký, že potlačuje běžné proudění horkého plazmatu, které jinak přenáší energii z nitra Slunce k povrchu. Proto je sluneční skvrna tmavší než okolní fotosféra: potlačená konvekce znamená menší přísun energie do viditelné vrstvy. Magnetické pole v jádře skvrny – tzv. umbře – přitom může dosahovat několika tisíc Gaussů a jeho orientace je převážně svislá. Konvekce zde není úplně zastavena, ale probíhá v úzkých magneticky usměrněných strukturách, které pozorujeme například jako umbrální body.

Světelné mosty jsou zajímavými strukturami vyskytujícími se v umbrách slunečních skvrn, jejichž vlastnosti jsou ale bližší slabě magnetizovanému plazmatu. Jde o jasnější, protáhlé struktury, které pronikají do umbry nebo ji dokonce rozdělují na několik částí. V jejich nitru je magnetické pole slabší a často více nakloněné než v okolní umbrální oblasti, takže se zde může obnovit účinnější magnetokonvekce. Světelné mosty mohou být buď filamentární nebo granulární, podle charakteru konvekce, přičemž představovaná studie se zaměřuje na druhý zmíněný typ. Silné granulární světelné mosty jsou vyplněny granulemi – buňkami horkého plazmatu, které vystupuje vzhůru, ochlazuje se a následně klesá zpět. V tomto smyslu představují světelné mosty jakýsi přechod mezi téměř normální konvekcí v klidné fotosféře a velmi omezenou konvekcí uvnitř umbrálního magnetického pole. Jejich studium proto umožňuje sledovat, jak magnetické pole postupně omezuje jinak přirozené proudění plazmatu.

Studie, jejímiž autory jsou Michal Sobotka, Jan Jurčák a Marta García-Rivas, tři vědečtí pracovníci Slunečního oddělení ASU, studovali hned pětici světelných mostů, které se objevily v aktivní oblasti NOAA 13014, jež se na Slunci vyskytovala v květnu 2022. Autoři se zaměřili na její vedoucí sluneční skvrnu v době velmi rychlého růstu. Právě v této fázi se mezi jednotlivými umbrálními jádry stlačovaly oblasti málo magnetizované fotosféry a vytvářely světelné mosty.

Hlavním zdrojem dat byl 1,5metrový sluneční dalekohled GREGOR na Tenerife. Autoři použili jeho infračervený spektropolarimetr GRIS a během přibližně dvacetiminutového skenování získali spektropolarimetrická data přes celou sledovanou skvrnu. Využili spektrální čáry neutrálního křemíku Si I na vlnové délce 1082,71 nm a vápníku Ca I na 1083,90 nm. Ze změn intenzity a polarizace těchto čar lze rekonstruovat fyzikální podmínky ve fotosféře, včetně teploty, rychlosti proudění a vektoru magnetického pole, a to metodou spektropolarimetrické inverze kódem SIR. Spektropolarimetrická pozorování doplnili obrazovými daty pořízenými současně v pásmu TiO kolem

750,7 nm. Ta poskytla podstatně jemnější prostorové rozlišení, přibližně 0,05“ na pixel, což odpovídá přibližně 35 km na slunečním povrchu. Reálné rozlišení ovlivněné především zemskou atmosféru bylo asi osmkrát horší. Obrazová informace byla použita především k identifikaci granulárních buněk v rámci světelných mostů, charakterizaci jejich popisných parametrů a také měření jejich pohybů.

Výsledkem práce je poměrně detailní popis pěti světelných mostů, v nichž bylo možné vyšetřovat vlastnosti konvekce. Identifikované granule měly efektivní průměry přibližně 0,2–1,4 obloukové vteřiny, přičemž typická hodnota byla kolem 0,4–0,5 obloukové vteřiny. Průměrná doba přítomnosti granulí byla asi šest minut. To je podobné hodnotám známým z dřívějších pozorování. Jednotlivé světelné mosty se přitom výrazně lišily. V průměru se jejich magnetická pole pohybovala od přibližně 860 do 1620 G, zatímco sklon pole byl od téměř svislého, asi 14°, až po 48°. Teploty se ve většině mostů pohybovaly kolem 5800–6300 K. Rychlosti vertikálního proudění dosahovaly řádu 1 km/s.

Zajímavý výsledek se však týká tzv. velkých granulí. V některých částech dvou studovaných světelných mostů se totiž objevily konvektivní buňky větší než jedna oblouková vteřina. Tyto granule se nejen s časem zvětšovaly, ale jejich okolí vykazovalo rozbíhavé horizontální proudění a současně vzestupné proudy plazmatu. Rychlosti horizontálního pohybu dosahovaly přibližně 1,0–1,2 km/s a vertikální rychlosti byly v rozmezí asi −0,6 až −1,7 km/s. Klíčové přitom je, že tyto velké granule se nacházely v oblastech s velmi slabým magnetickým polem kolem 300 G.

Autoři tento výsledek interpretují pomocí pojmu ekvipartičního magnetické pole. Jde o hranici, při níž je hustota magnetické energie srovnatelná s hustotou kinetické energie proudícího plazmatu. Z odhadované hustoty atmosféry a charakteristické rychlosti kolem 1,5 km/s získali hodnotu ekvipartičního pole přibližně 340 G. Velké granule tedy vznikaly právě tam, kde se skutečná síla pole přiblížila této hranici nebo byla dokonce nižší.

Fyzikální interpretace je intuitivní. Magnetické pole působí jako omezení pro pohyb ionizovaného plazmatu. Pokud je dostatečně silné, Lorentzova síla brání tomu, aby se stoupající horký materiál po dosažení povrchu výrazně rozšířil do stran. Konvektivní buňky proto zůstávají malé. Když však magnetické pole zeslábne k ekvipartiční hodnotě, kinetická energie proudícího materiálu začne být srovnatelná s magnetickou energií a plazma může polem pohybovat podstatně volněji. Výsledkem jsou větší, expandující granule připomínající granule běžné fotosféry. Autoři tak pozorují přechod mezi magneticky silně omezenou konvekcí a téměř volnou sluneční konvekcí přímo v rámci jediné sluneční skvrny.

Sesbíraný vzorek měření umožňuje studovat závislosti hodnot popisných parametrů granulí na vlastotech magnetického pole ve světelném mostu. Výsledky ukazují některé jednoznačné vztahy. Tak například intenzita záření v granulích zůstává přibližně konstantní, kolem 93 % intenzity klidné fotosféry, až do magnetického pole asi 1200 G. Nad touto hodnotou začíná výrazně klesat, přibližně o 2,5 % této normalizované intenzity na každých dalších 100 G. Ještě výraznější je pokles rozptylu rychlostí proudění se vzrůstající silou magnetického pole. V některých světelných mostech klesá přibližně o 33 m/s na každých 100 G, v jiných asi o 19 m/s. To přímo ukazuje, že silnější pole potlačuje intenzitu magnetokonvekce.

Podobně se ve většině světelných mostů zmenšuje velikost granulí s rostoucí silou magnetického pole. Tato závislost však není univerzální: v mostech s téměř svislým a již poměrně silným polem jsou granule malé – kolem 0,43 obloukové vteřiny – prakticky bez ohledu na další změny síly pole. Zajímavé je, že životnost granulí žádnou společnou jednoduchou závislost na síle ani sklonu magnetického pole nevykazuje. Magnetické pole tedy podle výsledků ovlivňuje především velikost, jas a dynamiku konvektivních buněk, ale na jejich životnost má jen malý vliv.

Celkově článek poskytuje poměrně přesvědčivý obraz světelných mostů jako oblasti, v níž lze

sledovat přechod mezi různými režimy sluneční magnetokonvekce. V silném, téměř svislém poli je konvekce omezena na malé struktury; s jeho zeslabováním se objevují větší granule a při přiblížení k ekvipartičnímu poli kolem 340 G mohou vznikat granule větší než jedna oblouková sekunda s výraznými vzestupnými a rozbíhavými proudy. Autoři současně ukazují, že samotná síla pole není jediným parametrem: významnou roli hraje také jeho geometrie, která je do značné míry určena magnetickým polem okolních umbrálních jader.

Výsledky jsou sice získány pro jedinou sluneční skvrnu, ale protože jsou vyhodnoceny v kontextu teoretických modelů, ukazují na konkrétní fyzikální mechanismus, kterým magnetické pole reguluje přenos energie konvekcí. Silné granulární světelné mosty lze v tomto smyslu chápat jako přechodovou oblast mezi téměř nemagnetickou konvekcí klidného Slunce a silně magnetizovanou, prostorově omezenou konvekcí v umbrální oblasti. A to je v zásadě univerzální výsledek.

M. Sobotka, J. Jurčák, M. García-Rivas, *Properties of granular light bridges*, Astronomy & Astrophysics v tisku, preprint arXiv:2608.04913

https://www.asu.cas.cz/articles/2603/19/na-cem-pracujeme-vlastnosti-svetelnych-mostu-ve-slunecnich-skvrnach