

# Na čem pracujeme: Pozitivně driftující rádiové záblesky ve sluneční erupci

21.1.2025 - | Astronomický ústav AV ČR

**Sluneční erupce jsou důsledkem rekonexe magnetického pole. To se typicky vyskytuje v tzv. aktivních oblastech, které jsou na Slunci obvykle vymezeny výskytem známých slunečních skvrn. Během nejrůznějších procesů je do struktur magnetického pole aktivní oblasti pumpována energie. Za určitých podmínek se ovšem může stát taková struktura nestabilní a přehoupnout se do energeticky výhodnější konfigurace. Tento proces se obvykle označuje jako rekonexe magnetického pole nebo česky přepojení magnetického pole. Na první pohled se jedná téměř o explozi, protože tento jev je rychlý. Během několika minut až desítek minut se v oblasti s rozměrem pár tisíc kilometrů uvolní nepředstavitelné množství energie. Oblast rekonexe se prudce ohřeje na teploty až desítek milionů stupňů. Uvolňuje se elektromagnetické záření v celém spektru, urychlují se svazky nabitých částic a často se také vyskytne výron hmoty do koróny.**

V kontextu erupcí se nejčastěji hovoří o jejich záření v chromosférických čarách, nejčastěji ve vodíkové čáře  $H\alpha$ , nebo o záření v rentgenové oblasti spektra. Například tok v oblasti měkkého rentgenového záření se používá pro klasifikaci síly erupcí. Naopak, tvrdé rentgenové záření, které má vysoké energie, je důsledkem tzv. netermálních procesů v erupci. Podobným indikátorem je i záření z opačné oblasti elektromagnetického spektra, rádiové vlny, které jsou velmi často opomíjeny.

Přitom rádiové vlny mají jednu obrovskou výhodu: bez většího omezení pronikají zemskou atmosférou a to včetně oblačné pokrývky. Rádiové záření Slunce lze tedy registrovat kdykoli je Slunce nad obzorem. Nevýhodou rádiového záření je to, že abychom dosáhli srovnatelného rozlišení s dalekohledem pracujícím ve vizuální oblasti, přístroj pro rádiové vlny musí být větší. Rádiové antény mohou být vsutku obří.

Rádiová pozorování Slunce mají v ASU velmi dlouhou historii, Sluneční oddělení provozuje celou řadu radioteleskopů na observatoři v Ondřejově, největší používaná anténa má průměr celých 10 metrů. I takto velký „dalekohled“ však sleduje Slunce jako jediný bod, podobně jako noční astronomové sledují jiné hvězdy. V klidném stavu je však Slunce jen slabým rádiovým zdrojem a tudíž je zde jistota, že jakékoli zvýšení rádiového toku musí být způsobeno probíhající erupcí.

V rádiovém spektru se projevují i slabší erupce a některé z nich mají v tomto oboru skutečně zajímavé projevy. To je případ i slabší erupce třídy C8.7, která na Slunci vzplanula 10. května 2014. I tato erupce byla pozorována sadou rádiových spektrografů, především těch z Ondřejova, které pokryly frekvenční rozsah 600–5000 MHz. Rádiová pozorování jsou vzorkována s poměrně vysokým časovým rozlišením (s kadencí sto měření za sekundu), což dovoluje detailně sledovat časový vývoj erupce. Rádiové datové sady byly doplněny snímky z observatoře Solar Dynamics Observatory, která se nachází na oběžné dráze Země a mimo jiné poskytuje detailní snímky sluneční koróny v ultrafialové oblasti spektra, a analyzovány společně.

Rádiová spektra odhalila výskyt tzv. pozitivně driftujících rádiových záblesků (slowly positively drifting bursts, SPDB), jejichž vznik a výskyt stále není uspokojivě vysvětlen. SPDBs jsou specifické tím, že jejich frekvence se s časem pomalu zvyšuje, což naznačuje pohyb rádiového zdroje směrem do oblastí s vyšší hustotou plazmatu. V minulosti byl individuální SPDB spojován například s pádem oblaku plazmatu v atmosféře, kdy záblesky vznikaly na hraně šířící se tepelné fronty. I pozorování SPDB ve skupině byla chápána jako důsledek pohybu plazmového svazku v helikálním magnetickém

poli. Každopádně, ve vzniku rádiových záblesků hrají klíčovou roli svazky nabitých částic. A protože tyto částice cestují podél silokřivek magnetických polí, místa vzniku rádiových záblesků nemusí souhlasit s výskytem erupčních vláken.

Analýza dat v představovaném článku se zaměřila na propojení mezi vznikem SPDBs, změnami v magnetickém poli aktivní oblasti s erupcí a emisemi v různých částech spektra. Během studované erupce, která se zažehla v aktivní oblasti NOAA 12056, bylo pozorováno hned několik zajímavých struktur magnetického pole. Tak předně, v ultrafialové oblasti byla dobře patrná esovitě zahnutá vláknitá struktura, odborníky zvaná jako „sigmoid“, která bývá důsledkem klouzavé rekonexe a je obecně označována za předzvěst zažehnutí erupce. Sigmoid interagoval s magnetickým pólodóm, co je útvar tvořený smyčkami magnetického pole, kdy jsou tyto na jedné straně ukotveny v magnetickém poli ve tvaru půlkruhu a směřují do opačné polarity, která se nachází ve středu tohoto půlkruhu. Interakce obou útvarů byla provázena zjasněními v ultrafialové oblasti spektra a vznikem SPDB. Práce identifikovala tři skupiny těchto jevů, které byly časově synchronizovány s určitými kroky magnetické rekonexe. SPDB byly identifikovány jako průvodci magnetického přepojení probíhajícího na velkých škálách.

Studie také ukázala, že SPDBs nejsou izolované jevy, ale jsou součástí komplexního procesu, který zahrnuje změny v magnetické konektivitě v celé aktivní oblasti. Tento proces zahrnuje nejen reorganizaci magnetického pole v místě erupce, ale i vznik nových magnetických propojení mezi různými oblastmi Slunce. Tento jev byl demonstrován na příkladu propojení mezi aktivními oblastmi NOAA 12056 a sousední NOAA 12055, kde také došlo k synchronizaci rádiové a UV emisní aktivity.

Změny konfigurace magnetického pole ve slunečních erupcích jsou velmi komplexním procesem a moderní pozorování nás neustále přesvědčují o tom, že v současnosti stále používaný zjednodušený model postavený na dvojrozměrné geometrii již nepostačuje pro popis reality. Je zapotřebí používat modely složitější, postavené na trojrozměrné formulaci, které připouštějí přestavby polí i v situacích, které dvojrozměrný model nedovoluje. S komplexnější morfologií nevyhnutelně narůstá složitost celého jevu, který se pak mimo jiné stává zdrojem neobvyklých rádiových vzplanutí.

Simultánní analýza časových řad rádiového záření s vysokým časovým rozlišením a dat obrazových v nejrůznějších oborech spektra tak dovoluje zlepšovat numerické modely těchto jevů. A tím mimo jiné přispívá k jejich pochopení s cílem umět tyto jevy v budoucnosti spolehlivě předvídat. Protože sluneční erupce jsou jedním z mála astronomických jevů, které mohou mít přímý vliv na kvalitu života člověka zde na Zemi.

A. Zemanová, M. Karlický, J. Dudík, J. Kašparová a J. Rybák, *Slowly positively drifting bursts generated by large-scale magnetic reconnection*, Astronomy & Astrophysics 690 (2024) A241

<https://www.asu.cas.cz/articles/2371/19/na-cem-pracujeme-pozitivne-driftujici-radiove-zablesky-ve-sluncni-erupci>