

Na čem pracujeme: Sluneční erupce vícebarevným pohledem

25.12.2024 - | Astronomický ústav AV ČR

Sluneční erupce jsou důsledkem explozivní proměny konfigurace magnetického pole, obvykle v tzv. aktivních oblastech se skvrnami. Erupce představují jedny z nejenergetičtějších událostí ve Sluneční soustavě, při kterých dochází k uvolnění obrovského množství energie. Tato energie se přeměňuje na různé formy, jako je ohřev plazmatu, urychlování částic nebo vytváření intenzivních elektromagnetických emisí v širokém spektru vlnových délek.

Poněkud záhadou zůstává vznik spojitého záření, tzv. kontinua. Jde o širokopásmové záření, které obvykle vzniká při rekombinaci atomů vodíku do některého z vázaných stavů. Jeho původ není dostatečně vysvětlen a v literatuře lze najít dva hlavní modely. Jednak by mohlo jít o záření vyvolané přímým ohřevem fotosféry mohutnými elektronovými svazky, které při erupci vznikají. Konkurenční model předpokládá, že svazky nepronikají až do fotosféry, ale že se zastaví již v chromosféře, kterou rozzáří v čarovém spektru. Část tohoto záření pak ohřeje i pod oblastí ležící fotosféru, kterou přinutí zářit v kontinuu. Pro rozhodnutí mezi těmito dvěma modely je především nutné velmi přesně znát fyzikální podmínky v eruptivní atmosféře. Stanovení těchto parametrů není možné bez zevrubné analýzy reálných pozorování.

M. García-Rivas a její spolupracovníci zkoumali konkrétní sluneční erupci třídy M5.7, k níž došlo 4. května 2022 v aktivní oblasti NOAA 13004. Tato erupce byla pozorována v rámci koordinované kampaně, která kombinovala širokou škálu přístrojů, pokrývajících různé vlnové délky a umožňujících simultánní měření. Studie tak využila data z různých přístrojů, jak pozemních, tak kosmických. Klíčovým zdrojem dat byl pozemní teleskop GREGOR na Kanárských ostrovech, kde autoři získali vlastními silami unikátní pozorovací sadu, a kosmický spektrograf IRIS pozorující především v ultrafialové oblasti spektra. Využito bylo i dalších pozorování z několika dalších přístrojů na palubě družic i umístěných na observatořích na Zemi.

Hlavním cílem této práce bylo pochopit, jakým způsobem dochází k ohřevu chromosféry během erupcí, a analyzovat zvyšování kontinuálního záření. Kontinuální záření, které se během erupcí pozoruje, je klíčové pro pochopení energetických procesů probíhajících v chromosféře. Přestože je jeho intenzita často slabší než u jiných forem záření, jeho fyzikální interpretace poskytuje cenné informace o stavu a dynamice plazmatu v této vrstvě sluneční atmosféry.

Erupce třídy M5.7, která byla zkoumána v této studii, byla typickým příkladem středně silné sluneční erupce. Byla pozorována v celém průběhu, od jejího počátečního stadia a zachycena byla i fáze vyhasínání. Autoři se zaměřili na tzv. jádra erupčních stužek, což jsou jasné oblasti, kde dochází k maximálnímu ohřevu a záření. Jedno z těchto jader, které se nacházelo na okraji póry, poskytlo příležitost pro detailní analýzu kontinuálního záření v různých vlnových délkách. Průzkumem pozorovací sady se ukázalo, že obzvláště zajímavý je jeden jediný obrazový bod, pro nějž existovala pozorování ze všech přístrojů.

Pozorování probíhala v širokém spektru vlnových délek, od ultrafialového záření (UV) až po optickou oblast. Spektrograf IRIS poskytl velmi detailní spektrální data s vysokým časovým rozlišením. To umožnilo studovat rychlé změny v záření s přesností až na několik sekund. Současně teleskop GREGOR, vybavený pokročilými vysokorychlostními kamerami, sledoval erupci v optických pásmech. Pro získání kontextu a doplnění analýzy byly použity údaje z družic SDO a GOES, které

zaznamenávaly optické, ultrafialové i rentgenové záření, avšak s menší časovou kadencí.

Jedním z hlavních postupů byla analýza časového vývoje záření na specifických vlnových délkách v již zmíněném pixelu a jejich vzájemné porovnání. Proto bylo mimo jiné nutné správně převést všechna pozorování do absolutních fyzikálních jednotek. Potom bylo možné využít existující fyzikální model porovnávající množství záření v jednotlivých spektrálních oborech a zjistit z nich vlastnosti eruptivní atmosféry.

Autoři zjistili, že během erupce dochází k rychlému nárůstu kontinuálního záření v ultrafialové oblasti. Tento nárůst byl spojen s ohřevem chromosféry, přičemž maximální teplota v této vrstvě byla odhadnuta na hodnoty až 15 000 K. Tento teplotní rozsah odpovídá hodnotám, které byly dříve modelovány v teoretických studiích simulujících ohřev chromosféry pomocí urychlených částic. Elektronová hustota v této vrstvě byla odhadnuta na přibližně 10^{13} cm^{-3} , což je opět hodnota podobná výsledkům z předchozích pozorování i numerických simulací. V optické oblasti bylo kontinuální záření slabší a jeho zvýšení bylo pod úrovní detekovatelnosti kvůli atmosférickým vlivům a omezením přístrojů, bylo možné stanovit pouze horní limit. Jedním z překvapivých zjištění byla rychlá časová variabilita ultrafialového záření. Během erupce byly pozorovány jednotlivé špičky v trvání řádově několika sekund. Tyto rychlé změny naznačují, že procesy probíhající v chromosféře během erupcí jsou značně dynamické a mohou zahrnovat turbulenci, urychlování částic nebo krátkodobé uvolnění energie v důsledku nestability magnetického pole.

Tato studie zdůrazňuje význam komplexních pozorování a využití koordinovaných kampaní, které kombinují různé přístroje a metody a ve výsledku také spektrální oblasti. Výsledky přispívají k lepšímu pochopení role chromosféry při přenosu energie během slunečních erupcí. Ukazuje se, že i relativně slabé erupce, jako byla ta pozorovaná v této práci, mohou poskytovat cenné informace o základních fyzikálních procesech probíhajících ve sluneční atmosféře.

Na závěr je třeba dodat, že pozorovací materiál pořízený během této kampaně nebyl ani zdaleka vyčerpán. V zorném poli je celá řada dalších potenciálně zajímavých obrazových bodů, které by stály za detailnější průzkum.

M. García-Rivas, J. Kašparová a kol., *Flare heating of the chromosphere: Observations of flare continuum from GREGOR and IRIS*, Astronomy & Astrophysics 690 (2024) A254

<https://www.asu.cas.cz/articles/2357/19/na-cem-pracujeme-slunecni-erupce-vicebarevnym-pohledem>