

Na čem pracujeme: Nepovedená erupce v trojrozměrné rekonstrukci

17.9.2024 - | Astronomický ústav AV ČR

Tzv. standardní model sluneční erupce předpokládá, že pro její zažehnutí musí dojít k podstatné přestavbě magnetického pole aktivní oblasti, s níž je erupce spojena. Sluneční fyzikové se víceméně shodují, že základem pro vznik erupce je existence tzv. magnetického provazce, který se proplétá arkádami smyček magnetického pole. Arkáda smyček spojuje dvě polarity aktivní oblasti. Pokud se magnetický provazec stane nestabilním, je vymrštěn od slunečního povrchu a tlačí arkádu smyček přes sebou, čímž ji natahuje. Magnetické pole arkády se pod magnetickým provazcem přepojí, přičemž se uvolní značné množství energie. Nastane sluneční erupce, pozorovatelná například v rentgenové nebo ultrafialové oblasti spektra, protože při ní dochází k výraznému ohřevu okolní atmosféry. Svrchní část arkády je pak odpojena od slunečního povrchu a je společně s magnetickým provazcem vržena do meziplanetárního prostoru. Pokud je provazec vyplněn plazmatem, vidíme jej jako filament, který je pak jádrem výronu hmoty do koróny (CME, coronal mass ejection).

Někdy se stane, že tento ideální scénář neprobíhá optimálně. Pokud je magnetická tenze siločar arkády silnější než je síla vyvíjená unikajícím magnetickým provazcem, provazec arkádu nepřekoná a i když zažehne erupci, nedojde k výronu hmoty do koróny. Sluneční fyzikové v takových případech mluví o tzv. nepovedených nebo selhajících erupcích. Nepovedené erupce začínají jako typické erupce, které se rozvíjejí do CME, ale z nějakého důvodu se po počátečním zrychlení zastaví v koróně. Neúspěšné erupce byly opakovaně sledovány i v minulosti, žádná studie ovšem zatím neidentifikovala jedinečný parametr, který rozhodne, zda bude erupce doprovázena CME nebo zda dojde k předčasnému zastavení výronu. Některé práce naznačují, že jedním z důležitých parametrů určujících, zda dojde k výronu nebo k jeho zadržení, je rychlost poklesu horizontálního magnetického pole ve vertikálním směru. Klesá-li rychleji, je vyšší pravděpodobnost, že provazec arkádu překoná. Výsledky rovněž naznačují, že poloha erupce v rámci aktivní oblasti je také důležitá. Erupce, které začaly blíže k centrální části aktivní oblasti (kde je silnější horizontální složka magnetického pole), byly častěji zastaveny než ty, které se nacházely na okraji (kde je naopak silnější radiální složka).

Role nadložního pole při zastavení erupce je zkoumána ze dvou perspektiv. Jedna je napětí nadložního pole, které jako elastická klec brání magnetickému provazci v dalším pohybu nahoru. Druhá možnost nastává, když se nadložní pole znovu spojí s pohybujícím se provazcem, což způsobí rozpad jeho magnetické kostry a zastavení.

Představovaná práce představuje studii jedné nepovedené erupce. Erupce byla pozorována 8. února 2023 několika kosmickými observatořemi, včetně STIX na palubě Solar Orbiter, HXI na palubě Advanced Space-based Solar Observatory, AIA na palubě Solar Dynamics Observatory a WAVES na palubě STEREO-A. Důležitou roli v této studii hrály stereoskopická pozorování tvrdého rentgenové záření získaná přístroji HXI a STIX, které měly odlišné pozorovací úhly oddělené o $31,5^\circ$. To umožnilo vytvořit trojrozměrnou geometrii události.

Erupce se skládala ze dvou fází. Nejprve došlo k akceleraci magnetického provazce, ta však byla zpomalená. Struktura ale zůstala nestabilní a o dvě minuty později erupce pokračovala díky pokračujícímu propojování magnetických siločar. K pokračování výronu přispělo, že se zřejmě dotklo magnetické pole nohy samotného filamentu s opačnou polaritou magnetického pole. S tímto okamžikem se také pojí výskyt rádiového záření typu III, což naznačuje urychlování téměř relativistických elektronů do heliosféry. Během druhé fáze se horký oblak odpojil a byl následně

zadržen v nadložním magnetickém poli. Zde je zajímavé, že nešlo o nadložní klec smyček magnetického pole aktivní oblasti, v níž došlo k erupci, ale o smyčky, které propojovaly dvě sousední aktivní oblasti, ležící nedaleko sebe. Tato studovaná erupce se tedy vymyká výše uvedenému pravidlu, že selhající erupce se častěji vyskytují v centrálních částech aktivní oblasti. Zastavený přehřátý oblak pak během následující asi 2,5 hodiny vychladl z teplot 10 milionů stupňů na pouhých 700 tisíc stupňů. Takový pokles svědčí pro silnou turbulenci probíhající ve vrstvách střední koróny.

Článek zdůrazňuje důležitost studia počáteční fáze vývoje výronů hmoty do koróny, které potenciálně ovlivňují zemskou magnetosféru, pokud jsou správně nasměrovány. Předpovědi doby příletu, skutečného směru pohybu a závažnosti účinků vyvolaných v zemském okolí jsou však stále značně nepřesné. Svoji roli zde zřejmě hrají právě jevy ovlivňující vývoj magnetického provazce v počáteční fázi, než dosáhne střední koróny. Magnetický provazec prochází mnoha interakcemi se stále ještě silnými koronálními magnetickými poli a jeho struktura je náchylná k různým deformacím a narušením. Výrony jsou často pozorovány, jak mění směr, zeslabují, nebo se dokonce zastaví v určité vzdálenosti od Slunce. Proto analýza počáteční fáze jejich vývoje může poskytnout důležité omezení pro naše porozumění (a lepší předpovídání) geoeffektivních CME.

<https://www.asu.cas.cz/articles/2308/19/na-cem-pracujeme-nepovedena-erupce-v-trojrozmern-rekonstrukci>