Na čem pracujeme: Fyzikou podložená metoda výpočtu energií hvězdných erupcí

7.4.2026 - Michal Švanda | Astronomický ústav AV ČR

Erupce, nejenergetičtější projevy sluneční aktivity, již řadu let nejsou jen doménou sluneční fyziky. Před více než dekádou byly tyto jevy přesvědčivě prokázány též na jiných osamocených hvězdách chladných spektrálních typů na hlavní posloupnosti. Ale co více, jejich odvozené energie o mnoho řádů přesahovaly energie erupcí slunečních. Jenže právě výpočet celkové energie hvězdné erupce je založen na předpokladech, které nemusejí v realitě vůbec nastávat. Petr Heinzel s kolegy z Polska navrhuje vylepšenou metodu pro hodnocení parametrů hvězdných erupcí.

Erupce na cizích hvězdách byly známy v literatuře již dlouhou, ale obvykle byly spojovány s ranými vývojovými fázemi života hvězd nebo s jejich vícenásobností a vzájemnou interakcí. Že i osamocené hvězdy na hlavní posloupnosti mohou produkovat velmi energetické erupce – tzv. supererupce – bylo přesvědčivě prokázáno až z pozorování hledače extrasolárních planet Kepler (NASA) před téměř patnácti lety. Od té doby tato disciplína vyzrála, detekční metody se zlepšovaly, bohatnul pozorovací materiál. Začaly se objevovat úvahy, jakým způsobem mohou erupce na cizích hvězdách ovlivňovat obyvatelnost planet v systému nebo přímo vznik života.

Zásadním problémem při studiu těchto erupcí je přesné určení jejich celkové vyzářené energie. Většina dostupných pozorování pochází z širokopásmové fotometrie (např. již zmíněné družice Kepler nebo jejího následovníka TESS, podobně bude fungovat i chystaný PLATO s českou účastí), která neposkytuje detailní spektrální informaci, ale pouze změny jasnosti hvězdy v čase. Převod těchto změn na fyzikálně smysluplnou energii vyžaduje model – a právě zde vzniká zásadní nejistota. Tradiční přístup předpokládá, že látka ohřátá erupcí má konstantní teplotu (typicky kolem 10 000 K) a mění se pouze plocha vyzařující oblasti. Tento předpoklad je však zjednodušující a nemusí odpovídat skutečné fyzice erupcí. Model s konstantní teplotou je matematicky jednoduchý a snadno aplikovatelný na data, ale fyzikálně je problematický – zejména proto, že ignoruje dynamiku ohřevu a ochlazování plazmatu. Autoři v představovaném článku poukazují na to, že v reálných erupcích očekáváme výraznou časovou evoluci teploty. V počáteční fázi dochází k prudkému ohřevu, následovanému postupným ochlazováním, které může být řízeno jak zářivými ztrátami, tak jinými procesy. Předpoklad konstantní teploty tedy není v souladu s fyzikálními modely ani se spektroskopickými pozorováními, pokud jsou k dispozici.

Článek představuje novou metodiku pro odhad celkové energie vyzářené hvězdnými erupcemi na základě širokopásmových fotometrických dat. Autoři přicházejí s alternativním modelem, který mění základní parametrizaci problému, a navrhují přístup, v němž je plocha erupce považována za konstantní, zatímco teplota je funkcí času.

Z metodologického hlediska je klíčové, že autoři formulují vztah mezi pozorovaným tokem záření a fyzikálními parametry vláken erupce (teplota a plocha) prostřednictvím integrace přes spektrální odezvu detektoru. Protože pracují s širokopásmovými daty, nemají k dispozici spektrální rozlišení, a musí tedy řešit inverzní úlohu: z jedné časové řady jasnosti rekonstruovat časový průběh teploty. To je obecně nedourčený problém, který lze vyřešit přijetím fyzikálně relevantních předpokladů. Jedním z nich může být právě předpoklad konstantní plochy. Tento krok výrazně redukuje počet volných parametrů a umožňuje jednoznačněji rekonstruovat teplotní vývoj. Praktická aplikace metody spočívá v tom, že se pozorovaná světelná křivka erupce použije k takovému modelu časového průběhu teploty, který reprodukuje pozorovaný tok. Z tohoto průběhu lze následně spočítat celkovou

vyzářenou energii integrací přes čas a plochu. Klíčové je, že tato energie není lineárně závislá na předpokladech modelu – různé kombinace teploty a plochy mohou vést k výrazně odlišným výsledkům.

V práci pak P. Heinzel a jeho kolegové navrhují hned dva možné modely. První z nich se vrací k myšlence 10 000 K, tuto teplotu ale předpokládá pouze v maximu světelné křivky. Takto je možné určit z měřeného toku plochu erupčních vláken a tu pak pro další výpočet zafixovat. Další změny světelné křivky jsou tak již důsledkem změn teplot.

Vylepšená metoda pak i hodnotu teploty v maximu stanovuje nezávisle, a to na základě výběru ze sítě předpočítaných modelů záření erupcí předpovídajících průběh světelné křivky. Bod v maximu pak opět umožní určit plochu erupčních vláken, tu zafixovat, a zbytek světelných změn vysvětlit změnami teploty.

Metoda byla ihned otestována i na reálných pozorováních supererupcí ze satelitu TESS. Ukazuje se, že tradiční přístup s konstantní teplotou může systematicky podhodnocovat nebo nadhodnocovat energii v závislosti na skutečném průběhu teploty a to v extrémních případech i o řád. Z toho vyplývá, že závěry publikované na základě energií určených tradiční metodou mohou být nepřesné. Tak například statistické rozdělení energií erupcí, které se používá k extrapolaci pravděpodobnosti extrémních událostí, může být zatíženo systematickou chybou. Stejně tak odhady dopadu supererupcí na exoplanety – například ztrátu atmosféry – závisí přímo na správném určení energie.

Je asi zřejmé, že ani předpoklad konstantní plochy není zcela realistický. Ve skutečnosti může plocha erupce růst i klesat, například v důsledku šíření rekonexních procesů. Nicméně autoři argumentují, že změny teploty jsou pravděpodobně dominantním efektem a že jejich model představuje lepší aproximaci než opačný extrém (konstantní teplota).

Článek přináší metodologicky významný posun. Navržený model je fyzikálně motivovanější, umožňuje rekonstruovat časový vývoj teploty a vede k potenciálně přesnějším odhadům energie supererupcí. Zároveň však otevírá nové otázky – například jak nejlépe kombinovat různé typy dat nebo jak zobecnit model tak, aby zahrnoval i časově proměnnou plochu. K tomu však bude nutné použít ještě další pozorování nad rámec bohatě dostupných širokopásmových dat.

https://www.asu.cas.cz/articles/2547/19/na-cem-pracujeme-fyzikou-podlozena-metoda-vypoctu-energii-hvezdnych-erupci