Na čem pracujeme: Proudění v atmosférách chemicky pekuliárních hvězd

4.2.2025 - | Astronomický ústav AV ČR

Slunce je jednou z mnoha hvězd, ve srovnání s jinými se však liší zejména tím, že je velmi blízko. Díky tomu můžeme na slunečním povrchu sledovat detailní struktury. I díky nim také víme, že sluneční atmosféra není v klidu a vykazuje celou řadu nejrůznějších pohybů. Některé z těchto systematických pohybů mají co dočinění s existencí projevů sluneční aktivity, zejména s výskytem skvrn. Sluneční skvrny jsou místy se silným organizovaným magnetickým polem a je předmětem neustálého výzkumu, jak ovlivňuje výskyt skvrn proudění slunečního plazmatu na nejrůznějších prostorových i časových škálách.

I jiné hvězdy slunečního typu jsou známy výskytem skvrn a přirozeně se očekává, že i zde budeme pozorovat rychlostní systémy. Jen je nejsme schopni přímo sledovat, neboť vzdálené hvězdy vždy vnímáme v sebevětších dalekohledech jako jasné body. Jsou příliš malé na to, jak jsou daleko.

Skvrnami na povrchu jsou ovšem vybaveny i hvězdy jiných typů než hvězdy podobné Slunci. Sem patří například tzv. chemicky pekuliární hvězdy. Tyto hvězdy mají unikátní vlastnosti. Povrch těchto hvězd vykazuje neobvyklé chemické složení, které je důsledkem procesů probíhajících v jejich atmosférách. Mezi tyto procesy patří zejména atomární difuze, kdy jednotlivé chemické prvky reagují odlišně na záření a gravitaci. Výsledkem této interakce je nerovnoměrné rozložení chemických prvků, v atmosférách se vytváření chemické skvrny. Vzhledem k tomu, že chemické složení je jedním z podstatných faktorů ovlivňujících rovnováhu, která určuje parametry hvězdné atmosféry v daném místě, dá se přirozeně očekávat, že tyto skvrny jsou také místy s jiným průběhem teploty a tlaku, než jaký je v oblastech mimo skvrny. Situace je často ještě komplikovanější, neboť mnohé z chemicky pekuliárních hvězdy vykazují v chemických skvrnách také přítomnost organizovaných magnetických polí.

Brankica Kubátová z ASU byla součástí týmu, který se zabýval tím, jak horizontální změny teploty ovlivňují dynamiku atmosfér těchto hvězd. Teplotní rozdíly jsou způsobeny nerovnoměrným rozložením chemických prvků, což vede k tlakovým rozdílům a následnému pohybu hmoty. Tento proces je podobný mechanismu, který na Zemi vytváří větry. Pro pochopení těchto procesů autoři článku využili počítačové simulace, které umožňují modelovat dynamiku atmosfér chemicky zvláštních hvězd. Pomocí těchto simulací byly zkoumány různé scénáře, přičemž se měnila intenzita a orientace magnetických polí. Autoři použili volně dostupný simulační nástroj Zeus-MP, který je navržen pro modelování magnetohydrodynamiky, tedy chování plazmatu v přítomnosti magnetických polí. Tento nástroj umožňuje simulovat atmosféry hvězd ve dvou rozměrech, přičemž zohledňuje jak horizontální, tak vertikální složky magnetických polí. Situaci, která nastává na chemicky pekuliárních hvězdách, tak bylo třeba modelovat zjednodušeně, jako studium vývoje proudění v okolí jedné syntetické chemické skvrny s různou konfigurací magnetického pole. Předobrazem atmosférické struktury se stala BA hvězda s chemickými anomáliemi rtuti a manganu, konkrétně hvězda HD37776 s hmotností asi 8 sluncí a efektivní teplotou asi 22 000 K.

Výsledky jsou opravdu zajímavé. Například v případě ne-magnetických hvězd nebo hvězd se slabými magnetickými poli byly zaznamenány horizontální proudy s rychlostmi až 1 km/s. Tyto proudy jsou schopné promíchat plyn v atmosféře během několika dní. Naopak u hvězd s velmi silnými magnetickými poli (např. 100 G a více) byly horizontální proudy výrazně potlačeny. Magnetické pole podporuje vytváření stabilních chemických anomálií, které mohou zůstat relativně neměnné po velmi dlouhou dobu. Povrchové větry chemicky pekuliárních hvězd jsou tedy značně ovlivněny přítomností

magnetických polí. Silná vertikální magnetická pole mohou účinně potlačit horizontální pohyby, čímž zachovávají lokální teplotní rozdíly. Naproti tomu horizontální magnetická pole mohou podpořit jemný horizontální proud, který pomáhá rozptylovat chemické anomálie. Tento jev, který autoři popisují jako „boční vánek“, může postupně zmenšovat nebo úplně odstranit chemické skvrny na povrchu hvězdy.

Dalším zajímavým aspektem článku je diskuse o časových škálách, na kterých se tyto procesy odehrávají. V ne-magnetických hvězdách nebo hvězdách se slabým magnetickým polem může míchání atmosféry probíhat během několika dnů až týdnů. Naopak v hvězdách s velmi silnými magnetickými poli mohou tyto procesy trvat roky nebo dokonce desetiletí. Tato zjištění jsou v souladu s pozorováními, která naznačují, že chemické skvrny na povrchu magnetických hvězd jsou velmi stabilní a mění se jen pomalu.

Představovaný článek je prvním studií zabývající se nastíněným tématem. Autoři dodávají, že do budoucna je čeká ještě dost práce. Bude zapotřebí provést podobný model, ovšem v plně trojrozměrné geometrii. A také započítat další efekty, které se na hvězdách pozorují. Tyto výsledky by mělo být již možné přímo konfrontovat například se spektroskopickými pozorováními.

A. ud-Doula, J. Krtička, B. Kubátová, *Horizontal flows in the atmospheres of chemically peculiar stars*, Astronomy & Astrophysics v tisku, preprint arXiv:2501.12887

https://www.asu.cas.cz/articles/2373/19/na-cem-pracujeme-proudeni-v-atmosferach-chemicky-pekuliarnich-hvezd