Na čem pracujeme: Radiální rychlosti odhalují původ cyklické proměnnosti horkých hvězd

12.5.2026 - Michal Švanda | Astronomický ústav AV ČR

Mnoho hvězd na obloze a mění jas téměř dokonale sinusově. V mnoha případech je však obtížné až nemožné určit, který z mnoha jevů je příčinou těchto ukázkově pravidelných změn. Nová studie, která je výsledkem magisterského projektu Emy Šipkové pod vedením Marka Skarky z ASU, ukazuje, že za těmito zdánlivě jednoduchými změnami se často skrývá překvapivě složitý příběh, v němž hrají hlavní roli dvojhvězdy, hvězdné skvrny i pulzace.

Proměnnost hvězd patří k základním jevům, které astronomové studují už déle než sto let. Na první pohled se může zdát, že změny jasnosti hvězd jsou chaotické nebo nepravidelné, ale ve skutečnosti se často řídí velmi přesnými zákonitostmi. Jedním z nejběžnějších typů je periodická proměnnost, kdy se jas hvězdy mění pravidelně v čase. Takové změny mohou mít různé fyzikální příčiny: hvězda může pulzovat (tedy rytmicky se rozpínat a smršťovat), může rotovat a nést na svém povrchu tmavší nebo jasnější oblasti (hvězdné skvrny). Nebo může být součástí dvojhvězdy, kde se dvě hvězdy obíhají. I když se nezakrývají, pozorujeme u některých těsných dvojhvězd světelné změny, které jsou důsledkem gravitačního ztemnění, slapových deformací povrchů hvězd i jejich vzájemného osvětlování.

Zvlášť zajímavé jsou případy, kdy se jas mění téměř dokonale sinusově – tedy jako hladká vlna bez výrazných deformací. Takové světelné křivky jsou na první pohled „jednoduché“, ale právě proto jsou zrádné: různé fyzikální mechanismy mohou vytvářet velmi podobný signál. To komplikuje klasifikaci hvězd na základě samotných fotometrických dat, tedy měření jasnosti. Moderní kosmické mise, jako je družice TESS, poskytují obrovské množství přesných dat o jasnosti hvězd, ale bez doplňujících informací (například ze spekter) je často nemožné jednoznačně určit, co přesně variabilitu způsobuje.

Studovaný článek, v němž důležitou roli hrál i Marek Skarka ze Stelárního oddělení ASU, se zaměřuje na horké hvězdy hlavní posloupnosti spektrálních typů F až O, tedy hvězdy teplejší než zhruba 6500 K. Tyto objekty mají odlišnou vnitřní strukturu než chladnější hvězdy typu Slunce – jejich obálky jsou převážně v zářivé rovnováze, což znamená, že zde neprobíhá silná konvekce. Proto se dlouho předpokládalo, že nemohou mít výrazné povrchové skvrny, které jsou častěji spojovány s podpovrchovou konvekcí. Novější výzkumy však naznačují, že i tyto hvězdy mohou vykazovat rotační modulaci nebo jiné komplexní jevy. Právě proto je důležité detailně zkoumat, co stojí za jejich zdánlivě jednoduchou sinusovou proměnností.

Samotná studie si klade jasný cíl: určit, jaké mechanismy jsou zodpovědné za sinusové změny jasnosti u těchto horkých hvězd. Klíčovým prvkem je metodologie kombinující dva typy dat – fotometrická měření jasnosti z družice TESS a spektroskopická měření radiálních rychlostí. Zatímco fotometrie ukazuje, jak se hvězda jeví z hlediska jasnosti, spektroskopie umožňuje sledovat pohyb hvězdy (nebo jejích složek) podél zorného paprsku pomocí Dopplerova jevu. Kombinace těchto dvou přístupů je klíčová, protože například dvojhvězdný systém může mít velmi podobnou světelnou křivku jako rotující hvězda se skvrnami, ale radiální rychlosti dovedou tyto dva zcela různé případy odlišit.

Autoři začali s obrovským souborem téměř 46 000 hvězd z dat družice TESS. Z tohoto souboru

postupně vybrali podmnožinu objektů, které vykazovaly nízkofrekvenční, téměř čistě sinusové změny jasnosti. Tato volba byla motivována všeobecným poznatkem, že příčinou vysokofrekvenčních změn jsou téměř výhradně pulzace. Zúžení vzorku však nebylo triviální: zahrnovalo kombinaci automatických algoritmů i vizuální kontroly. Nejprve byly identifikováni kandidáti na základě tvaru světelné křivky, následně byly odstraněny objekty s odchylkami od ideální sinusovky, například s asymetriemi, změnami periody nebo vícečetnými frekvencemi. Důležitým krokem byla kvantitativní analýza tvaru světelných křivek. Autoři porovnávali, jak dobře lze data popsat jednoduchou sinusovou funkcí oproti složitějším modelům (například součtem dvou sinusovek). Pomocí poměru rozptylů reziduí (tedy rozdílů mezi modelem a daty) stanovili kritéria pro výběr „čistě sinusových“ případů. Tento postup umožnil odstranit objekty, kde by jednoduchý sinusový popis byl nedostatečný, a zajistit tak homogenitu finálního vzorku.

Po tomto vícestupňovém filtrování zůstalo 108 hvězd, které splňovaly přísná kritéria. Z nich pak byla vybrána podmnožina 35 objektů pro detailní spektroskopická pozorování. Spektra byla získána pomocí tří různých spektrografů: 2metrového Perkova dalekohledu ASU v Ondřejově, 1,3m dalekohledu na slovenském Skalnatém plese a také 1,5metrovým dalekohledem na vrcholu La Silla v Chile. To umožnilo pokrýt co nejvíce cílů. Důležitým krokem analýzy bylo porovnání fázových světelných křivek a křivek radiálních rychlostí. Pokud hvězda patří do binárního systému, její radiální rychlost se bude měnit periodicky v důsledku oběhu kolem společného těžiště. Naopak u pulzací nebo rotační modulace může být signál v radiálních rychlostech odlišný nebo slabší. Tato kombinace dat umožnila autorům robustně klasifikovat jednotlivé objekty podle fyzikálního mechanismu jejich variability.

Výsledky studie jsou poměrně překvapivé. Z 35 detailně studovaných hvězd bylo 18 identifikováno jako dvojhvězdné systémy, sedm z nich bylo dokonce pozorováno úplně poprvé, dva exempláře jsou kandidáty na trojhvězdné systémy. Pouze jediný objekt byl klasifikován jako pulzující hvězda. Devět hvězd bylo označeno jako kandidáti na hvězdy se skvrnami (tedy s rotační modulací) a u sedmi nebylo možné jednoznačně určit příčinu variability.

Nejdůležitější závěr studie spočívá v tom, že alespoň polovina hvězd s jednoduchou sinusovou proměnností jsou ve skutečnosti binární systémy. To není překvapivé, v literatuře převažují práce, které uvádí, že až 75 % hvězd spektrální třídy B nebo teplejší je součástí vícehvězdných systémů, u spektrálního typu F je to kolem 30 %. Avšak studie ukazuje, že bez spektroskopických dat může být klasifikace hvězd výrazně zkreslena.

Dalším důležitým výsledkem je relativně vysoký podíl kandidátů na hvězdy se skvrnami mezi horkými hvězdami. To naznačuje, že i hvězdy se zářivými obálkami mohou vykazovat povrchové struktury vedoucí k rotační modulaci. Jestli mají svůj původ v magnetických polích podobně jako na Slunci je v tuto chvíli nejasné. Nicméně autoři připouštějí, že část těchto případů může být ve skutečnosti tvořena binárními systémy s nízkým sklonem dráhy, kde se radiální rychlosti obtížně detekují.

Zajímavým vedlejším zjištěním je také nesoulad mezi klasifikací v literatuře a novými výsledky. U řady hvězd se ukázalo, že jejich dřívější zařazení bylo nepřesné nebo neúplné. Celkově studie ukazuje, že i zdánlivě jednoduchý jev – hladká sinusová změna jasnosti – může mít velmi různorodé fyzikální příčiny. Hlavním metodologickým přínosem je důraz na kombinaci fotometrie a spektroskopie a na pečlivý výběr vzorku pomocí kvantitativních kritérií. Znamená to, že automatická klasifikace hvězd, která se často pojí s přístroji generujícími rozsáhlé datové řady, by měla být doplněna o cílená spektroskopická pozorování, alespoň pro reprezentativní podmnožiny objektů. Jinak hrozí, že budeme systematicky nesprávně interpretovat fyzikální procesy probíhající ve hvězdách. Studie tak představuje důležitý krok k přesnějšímu pochopení proměnnosti hvězd a ukazuje, že i v éře „velkých dat“ zůstává detailní individuální analýza nenahraditelná.

E. Šipková, M. Skarka a kol., *The origin of sinusoidal brightness variations in F- to O-type stars through radial velocities*, Astronomy & Astrophysics 707 (2026), id.A94, preprint arXiv:2512.22341

https://www.asu.cas.cz/articles/2552/19/na-cem-pracujeme-radialni-rychlosti-odhaluji-puvod-cyklicke-promennosti-horkych-hvezd