

Na čem pracujeme: Nejasnosti kolem vývojového stavu modrých nadobrů

3.10.2023 - | Astronomický ústav AV ČR

Velmi hmotné hvězdy jsou v centru zájmu astrofyziků nejen kvůli jejich vzácnosti, ale především proto, že jsou nesmírně důležitými složkami hvězdné populace.

Kvůli svému rychlému vývoji a spektakulárním koncům jsou klíčovými faktory pro obohacování mezihvězdného prostředí o těžší prvky, tvorbu dalších generací hvězd a celkový vývoj galaxií. Jejich fyzikální popis je ovšem poněkud komplikovanější, neboť tato pozdní stadia vývoje hmotných hvězd jsou spojena s celou řadou dynamických procesů. S překotnou konvekcí v rozepnutých obálkách, s pulsacemi, s výskytem obecně těžko popsatelného hvězdného větru. Všechny tyto jevy jsou popsány jen s omezenou přesností.

V důsledku těchto i jiných neznalostí je pak obtížné určit základní parametry takových hvězd, jako je hmotnost, rozměry, nebo chemické složení. Dokonce i malé nepřesnosti mohou vést k velkým nejistotám ve vývojových modelech. I přes úsilí výzkumných týmů se spolehlivost analýz zatím nedostatečně zlepšila. Velmi hmotné hvězdy v této fázi vývoje mohou opakovaně procházet stádiem modrého nadobra (což je termín popisující pozorované vlastnosti) a na první pohled není jasné, zda jde o hvězdu před stádiem rudého obra, o hvězdu po průchodu posloupností rudých obrů, při nichž ztratila chladné obálky a jeví se zdánlivě modřejší, nebo zda jde o hvězdu, která spolkla svého méně hmotného průvodce a na jeho úkor se zdánlivě omladila.

Tým kolem Juliety Sánchez Arias zahájil systémový výzkum modrých nadobrů s cílem získat více informací o jejich vývojovém stádiu. Tento rozsáhlý projekt vychází jednak z pořízení nových spektroskopických dat s vysokým rozlišením, s využitím archivních pozorování, ale současně v kooperaci s modelováním vlastností těchto hvězd s pomocí nejmodernějších počítačových modelů. Představovaná práce je první z předpokládané série, která na případech tří exemplářů odhaluje používanou metodologii.

Práce se zaměřila na tři modré nadobry. Prvním vybraným je PU Geminorum (HD 42087), hvězda s velkou variabilitou intenzity spektrální čáry $H\alpha$ s náznakem cyklické změny s délkou cyklu kolem 25 dní. Následuje ϵ Canis Majoris (HD 52089), pomalu rotující modrý trpaslík s předpokládanou hmotností přesahující 12 hmotností Slunce. A jako poslední se věnovali hvězdě η Canis Majoris (HD 58350), jejíž rozměr zřejmě přesahuje pětadesátinásobek poloměru Slunce. Pro tyto hvězdy autoři zajistili spektra s vysokým rozlišením z observatoře CASLEO v Argentině, jejichž kvalita umožnila bezproblémovou identifikaci některých čar a také vyšetřování jejich profilů. Spektrální data byla doplněna fotometrickými řadami pocházejícími z automatické družice TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite), který (pokud byla hvězda v zorném poli přístroje) poskytoval fotometrická měření každých 120 sekund.

Fotometrické série se staly základem pro periodovou analýzu v komunitě široce používaným programem Period04. Pozorování družicí TESS jsou pořizována v tzv. sektorech, kdy je úsek oblohy pod dohledem přibližně 25 dní, po nichž se družice o něco pootočí a pokračuje v mapování sousedního sektoru. Sousední sektory mají zejména v polárních oblastech citelný překryv. Každopádně dlouhodobá pozorování jedné hvězdy na sebe bezprostředně nenavazují a to komplikuje jejich periodovou analýzu. Autoři v pozorovacích řadách odhalili jen ojedinělé významné frekvence, jejichž výskyt nejspíše souvisel s nestabilitami v rozepnuté obálce hvězdy.

Pořízená spektra byla modelována programem XTGrid, což je nástroj, který umožňuje metodou postupných kroků upravovat atmosférický model laděním jednotlivých parametrů, až dojde k akceptovatelné shodě s pozorováním. Obří hvězdy jsou ale zdrojem významného hvězdného větru, který ve standardní verzi XTGridu není uspokojivě popsán. Autoři tedy tento mocný nástroj modifikovali a místo standardního programu pro výpočet hvězdné atmosféry použili univerzálnější nástroj CMFGEN, který v sobě spojuje modelování hvězdné atmosféry se započtením hvězdného větru. Řetězec se tak zdokonalil, cenou za toto zdokonalení je však nárůst počtu nových parametrů, které se musí algoritmus určovat při svém běhu. Funkci nového aparátu autoři otestovali na třech zmíněných hvězdách.

Získané výsledky, i když nejednoznačné, poskytují cenné informace. Studie ukazuje celou řadu nesrovnalostí mezi vývojovým modelem a pozorováními, které v současné době silně omezují přesnost získaných informací. Například HD 42087 je zřejmě modrým nadobrem před nástupem na posloupnost rudých obrů. Počáteční hmotnost hvězdy činí přibližně 26 hmotností Slunce a hvězda rychle rotuje. Ve srovnání s předchozími pracemi autorům vychází vyšší teploty i vyšší povrchové gravitační zrychlení, což je přímým důsledkem lepších spekter, které měli k dispozici. Periodogramy naznačují přítomnost tzv. divných modů oscilací, které se typicky vyskytují u hvězd s rozsáhlými hvězdnými větry. HD 52089 je zřejmě hvězdou s hmotností kolem 11 hmotností Slunce a je zřejmě velmi blízko svého konce na hlavní posloupnosti. V tomto případě se však nedá vyloučit ani scénář objektu, který v nedávné době pohltil svého průvodce a zdánlivě se omladil. Spektrum oscilací obsahuje informaci o pětidenní rotační periodě. A konečně HD 58350 je hvězdou s počáteční hmotností kolem 22 slunečních hmot ve fázi po průchodu sekvencí rudých obrů. Autoři však poukazují na poměrně velký nesoulad hmotností určených z vývojových modelů modelování spektrální čar a celkovou analýzou spektrálního rozložení energie. Důvodem může být například proměnný hvězdný vítr. Hvězda byla pozorována jen v jednom TESS sektoru, což je nedostatečné k potvrzení stavu po sekvenci rudých obrů z asteroseismických úvah.

Další úvahy například ohledně detailního povrchového chemického složení poukazují na četné nejasnosti, jak by měly být jednotlivé spektrální čáry a jednotlivé prvky správně vyhodnocovány. Autoři tak uzavírají, že pokud se chceme dozvědět více o těchto důležitých hvězdách, musíme změnit strategii výzkumu. Například fotometrická a spektroskopická pozorování by měla hustě pokrývat širší časový interval, což umožní omezit vliv proměnného hvězdného větru a hvězdných oscilací. Navíc by měl být stejnou metodikou studován velký vzorek modrých nadobřů, aby byly identifikovány systematické odchylky pozorovaného povrchového chemického složení od předpovězeného vývojovými modely, jak ukazují mnohé studie. A konečně, k pulsacím a oscilacím se musí přistoupit nejen jako k diagnostickému nástroji, ale současně jako k jevu, který může ovlivnit ztrátu hmoty v těchto pekulárních fázích vývoje. Jen potom bude možné získat spolehlivé vývojové posloupnosti modrých nadobřů s menší nejistotou než v současnosti.

J. Sánchez Arias, P. Németh a kol., *Unveiling the evolutionary state of three B supergiant stars: PU Gem, ϵ CMa and η CMa*, Galaxies v tisku, preprint arXiv:2308.12745

<https://www.asu.cas.cz/articles/2156/19/na-cem-pracujeme-nejasnosti-kolem-vyvojoveho-stavu-modrych-nadobru>