

Posudek disertační práce

Název: Observations and modeling of classical Be stars

Autor: Robert Klement

Be hvězdy jsou a nadále zůstávají velmi zajímavým astrofyzikálním objektem s celou řadou dosud nevysvětlených fyzikálních otázek spjatých s jejich vznikem, vývojem a chováním. Jsou tak stále předmětem intenzivního výzkumu stelárních astrofyziků již celá desetiletí. Předkládaná práce si dala za úkol přispět k jejich porozumění a osvětlení některých otázek spjatých zejména s přítomností hvězdného disku. Základem této práce je modelování fyzikálních charakteristik Be hvězd s viskozním dekrečním diskem s použitím programu HDUST. Následně s jejich pomocí zrekonstruovat předpokládané pozorovatelné veličiny a porovnat pozorované veličiny s modelovou předpovědí.

První pilíř práce tvoří popis této metody, který je shrnut v článku Klement et al. (2015). Autor použil pro popis struktury viskozního dekrečního disku (VDD) dva typy modelu, parametrický a self-konsistentní, který koresponduje s ustáleným hydrodynamickým řešením dekrečního disku. Poslední jmenovaný by měl lépe odrážet neizotermické efekty a jejich vliv na případné pozorovatelné charakteristiky. Na takto určené hustotní profily disku autor aplikoval program HDUST, který řešením rovnice přenosu záření určí teplotní strukturu disku a to iterativně (kvůli provázanosti rozdělení hustoty v disku a teploty). Výsledkem aplikace tohoto programu je vypočítané rozdělení teploty v disku a obsazení hladin. Na základě těchto výsledků lze určit modelové pozorovatelné veličiny a porovnat je s reálnými (skutečně pozorovanými) veličinami.

Autor použil veřejně dostupná ale i pro tento účel pořízená data a pozorování hvězdy β CMi z různých přístrojů a různých částí elektromagnetického spektra: počínaje pořízenými spektry z ultrafialové a optické oblasti, fotometrie pokrývající rozsah od optické až po rádiovou oblast, optickou polarimetrii a optickou resp. NIR (spektr)interferometrii. Což činí soubor srovnávaných pozorovaných veličin svým způsobem unikátní a robustní. S pomocí spekter z ultrafialové oblasti, která nejsou příliš poznamenána přítomností disku bylo možné fitováním modelu určit parametry hvězdy. Zbýlé pozorované charakteristiky byly použity pro srovnání parametrických modelů s různým mocniným indexem resp. self-konsistentního modelu. Výsledkem této komplexní analýzy je závěr, že ani parametrický model s konstantním mocniným indexem n ani self-konsistentní model není schopen odpovídajícím způsobem popsat hustotní profil disku. Pozorování SED a srovnání s modelem dále vedou k závěru, že disk u této hvězdy je zkrácen ve vzdálenosti $\sim 35 \pm 10,5 R_e$ díky pravděpodobné přítomnosti binární komponenty. Orbitální perioda této komponenty je v souladu s V/R oscilacemi čáry H alpha.

Bohužel jeden ze závěrů článku neodpovídal realitě, jak je poukázáno v následujícím sborníkovém příspěvku. V kódu HDUST byla chyba, která byla zodpovědná za nesoulad mezi pozorovaným SED a SED určeným z parametrického modelu resp. self-konsistentního. Ukázalo se, že parametrický model v $n = 2.9$ je schopen velmi reálně popsat hustotní strukturu disku. Závěry ohledně zkrácení disku ani přítomnosti binární komponenty nebylo nutné korigovat. Toto je samozřejmě daň za používání programu, který není volně přístupný, nejsou publikovány zdrojové kódy. Uživatel se tak dostává do situace, kdy se musí spoléhat na správnost a bezchybnost programu a používat jej jako takzv. „černou skříňku“. Nicméně dle mého soudu by bylo správné publikovat tuto opravu samostatně jako *errata* k článku ve stejném periodiku a nikoliv jako příspěvek do sborníku (nenašel jsem na ADS), aby bylo dohledatelné, že jeden ze závěrů byl mylný a také proč. Nesouhlasím s marginalitou chybnosti závěru. Aby bylo možné jej posoudit, autor by v rámci své prezentace měl ukázat srovnání v jednom obrázku, a to jak původní modelové průběhy SED pro $n = 3.0, 3.5$, self-

konsistentní model, tak pro již korigovaný průběh pro $n = 2.9$ (Jedná se mi o obrázek 4. z článku A&A 584 a obrázek 1. ze sborníkového příspěvku). Z tohoto obrázku pak bude patrné jako moc odlišné jsou profily před a po opravě chyby. Celý tento přístup má také další, spíše filozofický rozměr. Je možné zcela vyloučit, že za vyskytující se nesoulad SED především v rádiové oblasti nemůže další chyba v tomto bohužel nezávisle nikdy otestovaném programu ?

Druhý pilíř práce je shrnut v druhém, v současnosti již publikovaném článku. Zde autor předchozí postup, zejména analýzu a srovnání SED v různých oblastech s modelem používá k určení vlastností disku, zejména jeho velikosti. Autor jej aplikoval na vybraný vzorek šesti hvězd včetně již předchozí β CMi. U třech hvězd z tohoto vzorku je jasná evidence, že disk u těchto hvězd je zkrácen (z důvodu přítomnosti průvodce pravděpodobně), u zbylých tento závěr tak jednoznačný není. Dále autor ukázal, že hustotní profil daný indexem n má u vybraného vzorku všeobecně vyšší hodnotu, než se běžně uvažovalo u Be hvězd.

Práce je koncipována jako soubor vydaných prací s úvodním textovým doprovodem. Toto je jedna z možností, proti které osobně nic nemám. Úvodní text shrnuje dobře základní poznatky a současný stav v této oblasti. Nicméně ve článku nelze detailněji popsat práci a postup, kterým autor dospěl od modelovaných veličin k pozorovatelným veličinám. Zejména práci s programem HDUST, způsob jakým z výsledného spočítaného teplotního profilu disku, obsazení hladin a dalších veličin určil pozorovatelné veličiny. Toto by jistě zasloužilo pozornost, kterou by ocenil další čtenář této práce, pokud by na ni chtěl navázat. Takhle totiž není vůbec jasné, jestli autor používal surový výstup nebo programový výstup byl již ve formě požadovaných pozorovatelných veličin. Předpokládám spíše druhou variantu na základě drobné zmínky na stránce 55 (*post-processing phase*). Stačilo by v tomto smyslu rozšířit podkapitulu 4.4 a kapitulu 5. Bylo by to určitě přínosnější než zcela zbytečné zahrnutí sborníkového příspěvku *Detailed Modeling β CMi*, který nepřináší žádné nové informace pouze opakuje část informací, jež jsou mnohem detailněji rozebrány v následujícím článku. Čtenář tak nejenže nezíská reálnou představu o práci s programem HDUST (například jakou formu mají vstupní a výstupní formáty, náročnost výpočtu jednoho modelu apod.) ale také může nabýt dojmu, že celý modelovací proces práce spočíval ve spuštění programu s požadovanými rozsahy vstupních parametrů a ukládání výstupů. Což asi neodráží zcela realitu. Je to škoda a dle mého soudu to značně ubírá na kvalitě práce.

Protože se však závěrečná práce neznámkuje (bohužel), závěrem lze pouze konstatovat, že práci doporučuji k obhajobě a po jejím úspěšném obhájení udělení titulu Ph.D.

Dne 26. května 2017
Mgr. Viktor Votruba Ph.D.

Náměty a otázky k diskuzi:

- Jakým způsobem byla určována kvalita fitu v případě SED a dalších pozorovatelných veličin ?
- Jaká je výpočetní náročnost výpočtu jednoho modelu (tedy pro danou volbu parametrů)
- Diskuze nad srovnáním výstupu programu HDUST před chybou a po opravě chyby (viz. komentář v textu)