

Na čem pracujeme: Všechny tvary mlhoviny v okolí R Aquarii

25.6.2024 - | Astronomický ústav AV ČR

Symbiotická hvězda je typ binárního hvězdného systému, kde dvě hvězdy různých typů interagují prostřednictvím výměny hmoty. Tyto systémy jsou fascinující kvůli jejich složité fyzice a dynamice, která se projevuje v širokém spektru elektromagnetického záření.

Symbiotické hvězdy jsou složeny ze studené složky, kdy se obvykle jedná o rudého obra, často o proměnnou hvězdu typu Mira. Tyto hvězdy jsou velké, chladné a mají vysokou svítivost, ale nízkou povrchovou teplotu a pokud je to mirida, pulsuje s dlouhou periodou v desítkách až stovkách dnů. Druhou složkou je pak horký kompaktní objekt, nejčastěji bílý trpaslík. Tento objekt akretuje hmotu z rudého obra. Symbiotické hvězdy jsou zdroji celého spektra elektromagnetického záření, které má svůj původ v procesech spojených s akrecí látky. Z pozorovatelského pohledu mívají velmi bohaté spektrum emisních čar, které vznikají v kombinaci záření horkého akrečního disku, emisí z okolní hmoty a záření bílého trpaslíka. Materiál vyvržený dvojhvězdou může vytvářet mlhoviny, které obklopují systém. V některých případech se tvoří bipolární struktury a výtrysky, které jsou výsledkem interakcí mezi rychle se pohybující hmotou z bílého trpaslíka a pomaleji se pohybujícím hvězdným větrem z rudého obra.

Nejbližší symbiotickou hvězdou je R Aquarii, kterou na obloze nalezneme v souhvězdí Vodnáře ve vzdálenosti 180 pc. Díky své blízkosti je snadným cílem jak pro amatérské, tak pro profesionální dalekohledy. Tento systém tvoří akretující bílý trpaslík a mirida s periodou světelných změn 387 dní. Složky okolo sebe oběhnou za 43,6 roku. Již na počátku 20. století byl oznámen objev mlhoviny ve tvaru přesýpacích hodin, která tuto hvězdu obklopuje. To vyvolalo zvýšený zájem o hvězdu a další objevy na sebe nenechaly čekat. Další popsanou strukturou je bipolární filamentární struktura ve tvaru písmena S vycházející z centrálního zdroje, která se interpretuje jako důsledek precese působící na polární výtrysky.

Vnější struktura ve tvaru přesýpacích hodin se rozšiřuje balisticky a její věk byl odhadnut na 685 let. Tato struktura má uzlovitou morfologii a je výraznější v čarách kovů s nižší ionizací, zatímco v čarách odpovídajícím vyššímu stupni ionizace je difúznější a slabší. Útvar ve tvaru přesýpacích hodin se rozprostírá 2,5 obloukových minut východo-západním směrem a přibližně 1,7 obloukových minut severo-j jižním směrem. Modelování spektrálních dat ukázalo, že tato struktura je nakloněna o 18 stupňů vzhledem k rovině oblohy a její rovníkový pás se rozšiřuje rychlostí 55 km/s.

Uvnitř přesýpacích hodin nalezneme bipolární mlhoviny, která sdílí s vnější mlhovinou stejnou osu a má i podobné hodnoty radiálních rychlostí. Tato vnitřní struktura je menší než vnější bipolární mlhovina a je protáhlá v severojižním směru. Vnitřní mlhovina také sdílí stejný úhel sklonu vůči rovině oblohy jako vnější mlhovina a její rovníkový pás se rozšiřuje rychlostí 32 km/s.

Spirálový filament má komplexní morfologii. Krátce po objevu bylo pozorováno, že severní část jetu je převážně modře posunutá a jižní část červeně posunutá. Avšak vysoce rozlišená data z roku 2012 ukazují opačný obraz, což je přičítáno velmi složitým profilům čar v různých místech filamentu a vyššímu spektrálnímu a prostorovému rozlišení nových dat. Byly zaznamenány velké morfologické a jasové změny v evoluci jednotlivých rysů jetu během více než dvou desetiletí.

R Aqr se stala cílem nové studie, na níž se podílela i Tiina Liimets ze Stelárního oddělení ASU. Autoři získali nová vysokodisperzní spektra s pomocí spektrografu MES (Manchester Echelle Spectrograph) namontovaného na 2,1m teleskopu v Observatorio Astronómico Nacional v San Pedro Mártir v

Mexiku. Autoři si všímali zejména oblasti v okolí vodíkové čáry $H\alpha$ a pak také v okolí zakázané čáry dvakrát ionizovaného kyslíku okolo 500 nm, kde je nejlépe pozorovatelný zakroucený filament. Spektra byla zpracována pomocí standardních kalibračních rutin.

Data byla interpretována prostřednictvím navrženého morfologicko-kinematického modelu, aby odhalila mechanismus formování mlhoviny spojené s tímto symbiotickým systémem. Autoři identifikovali v mlhovině tři struktury: vnější strukturu přesýpacích hodin, vnitřní bipolární strukturu a spirálovitý filament. Každá struktura má odlišné vzory expanze, které souvisejí jejich kinematické stáří. Spirálovitý filament pravděpodobně označuje oblasti interakce precesního jetu s materiálem obklopujícím hvězdu, což zároveň vyřezává vnitřní bipolární strukturu.

Model pro každou strukturu odvodil jiné kinematické stáří. Pro vnější strukturu přesýpacích hodin 450 let (což je významně méně, než se uvádělo v literatuře dříve), pro bipolární strukturu 270 let a pro filament 285 let. Kinematické stáří filamentu a bipolární mlhoviny je téměř identické, což podporuje hypotézu, že tyto dvě struktury spolu úzce souvisí a zřejmě jde o důsledek precedujícího bipolárního výtrysku ze symbiotické hvězdy. Pokud podobný proces vytvořil i velkou přesýpací strukturu, znamená to, že činnost jetu ustala přibližně na 230 let a vnější a vnitřní útvary se tedy kinematicky oddělily. Znamenalo by to, že v symbiotických systémech může být činnost výtrysku přechodná, což by odpovídalo určitým pekuliaritám, zejména náhlému zjasnění, zaznamenaným v rentgenovém záření jiných symbiotických hvězd.

Tato studie tedy poskytuje hluboký vhled do složitých procesů formování a evoluce mlhoviny kolem symbiotického systému R Aquarii. Použitím pokročilých observačních technik a detailní analýzy spektrálních dat autoři vytvořili komplexní model, který vysvětluje pozorovanou morfologii a dynamiku tohoto fascinujícího objektu. Tento přístup nejenže přináší nové poznatky o R Aqr, ale také nabízí metodologický rámec pro studium dalších symbiotických systémů a jejich mlhovin.

E. Santamaría, J. A. Toalá, T. Liimets a kol., *Shaping the nebula around the symbiotic system R Aquarii*, Montly Notices of the Royal Astronomical Society v tisku, preprint arXiv:2404.17710.

<https://www.asu.cas.cz/articles/2286/19/na-cem-pracujeme-vsechny-tvary-mlhoviny-v-okoli-r-aquarii>