

Na čem pracujeme: Poodhalování záhad rentgenové dvojhvězdy Cyg X-1

18.3.2025 - | Astronomický ústav AV ČR

Rentgenové dvojhvězdy jsou vždy podobné konfigurace jako zmíněná dvojhvězda Cygnus X-1. Obě hvězdy jsou si blízko, takže v pozdních fázích jejich vývoje dochází k přetokům látky na druhou složku. Materiál z hvězdného větru nadobrá je akretován na černou díru, kde vytváří akreční disk vyzařující silné rentgenové záření. Systém Cygnus X-1 byl objeven v roce 1964 a od té doby se stal klíčovou laboratoří pro studium akrece hmoty na kompaktní objekty. Dnes již s velkou jistotou víme, že kompaktní složka soustavy je černá díra o hmotnosti přibližně 21 sluncí, zatímco její hvězdný souputník je modrý nadobr s hmotností asi 40 sluncí.

Systémy rentgenových dvojhvězd vykazují značnou proměnnost světelného výkonu v různých spektrálních oblastech. Vývoj úzce souvisí s množstvím akrece a tedy významností akrečního disku. V tzv. nízkém tvrdém stavu vzniká měkké rentgenové záření na vnitřním okraji akrečního disku, v rámci disku ale (Comptonovým) rozptylem na volných elektronech získává energii a tvrdne. V okolí akrečního disku (přesná geometrie je stále cílem studií) vzniká horká koróna. Naproti tomu ve vysokém měkkém stavu je rentgenové záření dominováno tepelnou emisí z disku. Záření je měkké než v tvrdém stavu, ale je ho významně více.

Ne všechny rentgenové dvojhvězdy se chovají takto ukázkově a Cyg X-1 patří mezi ty výjimky. Systém nikdy nedosáhne vysokého měkkého stavu, ale zůstane na půli cesty v tzv. měkkém přechodném stavu. V tomto případě sice dominuje tepelné záření z disku, ale stále je přítomno i tvrdé záření z koróny. Množství i charakter rentgenového záření Cyg X-1 se mění se stavem akrece. Optické záření vykazuje navíc i změny v průběhu jednoho oběhu, tyto změny zřejmě souvisejí s úhlem pohledu na hvězdný vítr. Obecně se soudí, že by odpovědným jevem mohly být shluky ve hvězdném větru. Celkově je tedy Cyg X-1 skutečně zajímavou laboratoří, která stojí za poodhalení procesů spojených s akrecí látky. Důležitou roli v tomto systému také hraje silný hvězdný vítr, který je tvořen nabitými částicemi proudícími od nadobrá. Tento vítr je poháněn tlakem záření a šíří se od hvězdy rychlostí několika tisíc kilometrů za sekundu. Hvězdný vítr interaguje s rentgenovým zářením z akrečního disku, vzniká složitá dynamika mezi jednotlivými složkami systému.

Tým astronomů v výraznou českou převahou získal v průběhu let 2020 až 2023 celou řadu nových pozorování. K dispozici měl jednak optická data pořízená 2metrovým Perkovým dalekohledem v Ondřejově. Zde byla pozorována především spektra s vysokým rozlišením získaná spektrografem OES, která se stala základem pro rozdělení celkového měření na jednotlivé složky. Doplňková měření pocházela z širokopásmové fotometrie s pomocí robotických dalekohledů na McDonaldově observatoři ve Spojených státech a na Kanárských ostrovech. Využita byla i vysokokadenční pozorování z fotometrické družice TESS. A konečně autoři zužitkovali také měření z rentgenového monitoru MAXI, který je umístěn na vědecké platformě Mezinárodní kosmické stanice.

Cílem představovaného článku je analýza změn spektrálních čar v různých akrečních stavech soustavy Cygnus X-1. Cílem bylo oddělit příspěvek hvězdné atmosféry a tzv. „soustředěného větru“, která vane mezi hvězdou a akrečním diskem. Metodicky byla využita metoda tzv. rozkladu (disentanglingu) spekter a to konkrétně její implementace ve Fourierově prostoru, jejímž autorem je Petr Hadrava z ASU, který je také spoluautorem článku.

Studie ukazuje, že vodíková čára $H\alpha$ má tzv. P-Cygni profil v atmosféře hvězdy, což je znakem

silného větru proudícího ven z hvězdy. Tento vítr způsobuje absorpci a emisi v různých částech spektrální čáry. Zatímco linie He I 667,8 nm byla detekována pouze v absorpci v atmosféře hvězdy, čára He II 468,6 nm se objevuje v emisním profilu v soustředěném větru. To naznačuje, že ionizované He II je ovlivněno vysokou hustotou a nehomogenitami v tomto větru, které mohou být důsledkem interakcí mezi různě rychlými proudy hmoty.

Autoři našli antikorelaci mezi zářením v optické a rentgenové oblasti. Když je Cygnus X-1 v (rentgenově) tvrdém stavu s menším celkovým rentgenovým tokem, spektrální čáry H α a He II jsou intenzivnější. Naopak v měkkém stavu, kdy je rentgenový tok výraznější, jsou tyto jmenované čáry slabší. To znamená, že rentgenové záření přímo ovlivňuje ionizaci větru a jeho dynamiku, což má vliv na celkové chování hmoty v systému. Mění se i rychlost větru během různých akrečních stavů. V tvrdém stavu je vítr rychlejší a hustší, zatímco v měkkém stavu je pomalejší a více ionizovaný. Ve stavech s nižší rychlostí větru je pozorována vyšší akreční rychlost na černou díru, což naznačuje, že zpomalení větru vede k efektivnějšímu přenosu hmoty do akrečního disku. Tento jev může hrát důležitou roli v dlouhodobé evoluci těchto systémů a může mít vliv na rychlost růstu černých děr ve vesmíru.

Celkově přispívá představovaná práce k lepšímu pochopení dynamiky interakce mezi hvězdným větrem, akrecí na černou díru a vlivem rentgenového záření na celý tento proces. Navazující práce zaměřené například na podrobnější modelování dynamiky větru v různých akrečních stavech by určitě poodhalily další tajemství fyzikálních procesů, které řídí chování těchto extrémních kosmických objektů.

M. Brigitte, P. Hadrava, B. Kubátová, a kol., *Disentangling the stellar atmosphere and the focused wind in different accretion states of Cygnus X-1*, Astronomy & Astrophysics v tisku, preprint arXiv:2502.07989

<https://www.asu.cas.cz/articles/2392/19/na-cem-pracujeme-poodhalovani-zahad-rentgenove-dvojhvezdy-cyg-x-1>