

Objav úzko smerovaných výtryskov zo symbiotickej sústavy Z Andromedae

Výtrysky hmoty z astrofyzikálnych objektov, ktoré sú smerované do úzkeho priestorového uhla, a to často pri extrémnych rýchlostiach, patria k veľmi vzrušujúcim javom vo vesmíre. Napriek tomu, že sú pozorované u širokej škály objektov (napr.: dvojhviezdy, obsahujúce čiernu dieru, neutrónovú hviezdu, prípadne bieleho trpaslíka), ich detekcia je zriedkavá. Spoločným “menovateľom” všetkých objektov, produkujúcich takýto typ výtryskov, je prítomnosť centrálnej hviezdy, ktorá prijíma materiál od svojho súputníka v spoločnom systéme. Proces prenosu hmoty od jednej hviezdy, tzv. darcu, na druhú hviezdu, tzv. príjemcu (podľa anglickej terminológie, *akrétora*), vedie ku tvorbe rozsiahleho diskového útvaru – tzv. *akréčného disku*, ktorý centrálnu hviezdu obopína v mieste jej rovníka (Obr. 1). To naznačuje, že akréčne disky hrajú dôležitú rolu pri formácii tohto typu vysoko rýchlostného odtoku hmoty zo systému. Je však potrebné poznamenať, že napriek enormnému úsiliu astrofyzikov na celom svete, presný mechanizmus formácie výtryskov, najmä aký je pôvod hnacej sily a čo spôsobuje ich vysokú smerovanosť, nie je stále dostatočne vysvetlený.

Symbiotické hviezdy – naše vesmírne laboratóriá

Sľubnými kandidátmi pre výskyt vysoko rýchlostných výtryskov sú tzv. *symbiotické hviezdy*, ktoré patria k hlavným smerom výskumu stelárnej astrofyziky na Astronomickom ústave SAV. Sú to dvojhviezdy, ktoré sa skladajú z obrej chladnej hviezdy s polomerom asi 100-krát väčším než je naše Slnko, tzv. *červeného obra*, a maličkšej horúcej hviezdy s polomerom asi 100-krát menším než je naše Slnko, tzv. *bieleho trpaslíka*. Obidve hviezdy symbiotického páru obiehajú okolo seba (presnejšie okolo spoločného ťažiska) s periódou obehu 1 až 3 roky a sú od seba vzdialené asi dvojnásobkom vzdialenosti našej Zeme od Slnka. Napriek tomu, že ide o rozsiahle sústavy, na oblohe ich pozorujeme len ako jednu svietiacu bodku. Na ich rozlíšenie nám nepomôžu ani tie najväčšie ďalekohľady. To znamená, že všetky informácie o týchto dvojhviezdach možno získať výlučne len analýzou ich svetla. Poznáme však niektoré základné vlastnosti ako červených obrov tak bielych trpaslíkov, čo nám pomáha správne interpretovať pozorované charakteristiky a zmeny v ich spektrách (t.j. v svetle rozloženom do „dúhy“). Červení obri odľahujú do priestoru svoju vonkajšiu atmosféru, z ktorej malá časť sa dostáva do gravitačného pôsobenia kompaktného bieleho trpaslíka. Tento proces formuje prenášanú hmotu okolo centrálnej hviezdy do akréčného disku, ktorý účinne transformuje gravitačno-

potenciálnu energiu akreujúceho materiálu na žiarenie, čo vedie k extrémnemu zohriatiu povrchu akrétora až na stovky tisíc stupňov a zvýšeniu jeho svietivosti približne na 100 – 10000 svietivostí Slnka. Prítomnosť akréčných diskov v symbiotických hviezdach tak zaraďuje tieto sústavy medzi sľubných kandidátov, produkujúcich úzko smerované výtrysky. V dôsledku postupného hromadenia akreovaného materiálu na povrchu bieleho trpaslíka alebo v disku, môže dôjsť k náhlemu uvoľňovaniu energie termonukleárnym horením vodíka alebo nestabilitou akréčného disku, čo sa prejaví 10 až 15-násobným zjasnením hviezdy. Tieto *vzplanutia* symbiotických hviezd nastávajú približne na časových škálach 15 až 20 rokov, presne ich však predpovedať nevieme. Počas vzplanutí dochádza k expanzii vonkajších vrstiev bieleho trpaslíka pri rýchlostiach niekoľko stoviek km/s, čo vedie k jeho prudkému ochladeniu. Avšak výtrysky hmoty rýchlosťami niekoľkých tisíc km/s, smerovaných do veľmi úzkeho priestorového uhla kolmo na rovinu akréčného disku, sú pre symbiotické hviezdy zriedkavým javom. Doteraz boli prejavy tohto typu odtoku hmoty indikované len pre 3 z celkového počtu asi 200 známych symbiotických sústav. Takáto zriedkavosť je pravdepodobne daná tým, že ide o prechodný jav, viazaný na relatívne krátke obdobie v okolí maxima vzplanutí.

Z Andromedae – prototyp symbiotických hviezd

Jednou z intenzívne sledovaných symbiotických sústav je ich prototyp – Z Andromedae (ďalej len Z And). Ďalekohľadmi AsÚ SAV sledujeme vývoj jej jasnosti asi 20 rokov, podrobnejšie informácie získavame zo spektier v rámci medzinárodnej spolupráce (Česko, Japonsko, Taliansko). Na jeseň r. 2000 sme ako prví zaznamenali začiatok hlavného vzplanutia, čo vyprovokovalo širokú medzinárodnú kampaň na jej sledovanie. Žiarenie Z And bolo merané vesmírnymi ďalekohľadmi v oblasti X-lúčov (družicami XMM a Chandra), ďalej UV oblasti (FUSE) ako aj pozemskými ďalekohľadmi v optickom a rádiovom obore vlnových dĺžok. Na základe týchto pozorovaní bola testovaná podstata vzplanutí ako kombinácie nestability akréčného disku ako „zapaľovača“ termonukleárneho horenia vodíka na povrchu bieleho trpaslíka (viď Sokoloski a kol. 2006, *Astrophysical Journal*, 636, 1002). Nám sa podarilo zrekonštruovať štruktúru horúcej hviezdy počas celého vzplanutia (2000-03), ktorá pozostávala z hrubého expandujúceho disku v rovine rovníka centrálnej hviezdy, zatiaľ čo z vyšších hviezdnych širok bieleho trpaslíka unikali ionizované častice vo forme hviezdneho vetra rýchlosťami až 2000 km/s (viď Skopal a kol. 2006, *Astronomy and Astrophysics*, 453, 279). Napriek mohutnosti tohto vzplanutia, charakteristiky úzko smerovaných výtryskov neboli, tak ako nikdy pred tým, pozorované. Koncom roka 2005 hlavná aktivita Z And ustala, jej jasnosť poklesla na hodnoty blízke mimo vzplanutia, avšak podivné chovanie jej

farieb (jasnosť zväčšia meriame v troch základných farbách – fialovej, modrej a žltej) naznačovalo, že sa sústava chystá na novú aktivitu.

Historické vzplanutie v roku 2006

Prvé naše pozorovanie zo 7.4. 2006, po krátkej pauze, keď Z And nebola pozorovateľná, ukázalo, že sústava výrazne zmodrala v porovnaní s jej farbou v januári 2006. Stala sa ústredným objektom v pozorovacom programe symbiotických hviezd pre ďalekohľady na Skalnatom Plese a pavilónoch na starolesnianských lúkach. Na strane druhej jej sledovanie inými prístrojmi vo svete bolo prakticky prerušené. Družicové programy sú totiž striktne obmedzené schválenými návrhmi a pre pozemské observatóriá nebola Z And prioritným objektom, keďže bolo známe, že jej aktivita uhasla. Z tohto hľadiska mali naše pozorovania zásadný význam aj pre koordináciu spektroskopických meraní väčšími ďalekohľadmi. Postupný nárast jasnosti Z And sme pozorovali až do konca júla, kedy objekt dosiahol svojho historického maxima (Obr. 2). Na túto skutočnosť som upozornil zahraničných kolegov, aby podľa možností získali spektrum Z And s vysokým rozlíšením. Navyše, kolega Theodor Pribulla bol toho času na pracovnom pobyte na observatóriu Davida Dunlopa (Univerzita Toronto, Kanada), kde mal možnosť pozorovať tamojším 1.88-m ďalekohľadom. A práve tu sa 30. augusta podarilo získať prvé spektrum, ktoré presvedčivo ukázalo kvalitatívne nový výsledok .

Objav výtryskov

V spektre boli intenzívne emisné čiary atómu vodíka symetricky obklopené slabšími satelitnými emisiami, ktoré tu nikdy pred tým neboli prítomné (Obr. 2). Tento neočakávaný jav bol neskôr 10. septembra potvrdený našimi talianskymi kolegami na observatóriu Asiago (Univerzita Padova) a kolegom Markom Wolfom na observatóriu Ondřejov (AV ČR) ešte 18. októbra 2006. Ľahko sme vylúčili prípad, že by tieto emisie vznikali prechodom v iných atómoch než vo vodíkovom atóme. To znamená, že museli byť spôsobené len tým istým prechodom v atomárnom vodíku, ktorý dával vznik hlavnej centrálnej emisii. Ich vyžarovanie v rozdielnych vlnových dĺžkach, v našom prípade vo vzdialenosti $\Delta\lambda = \pm 27 \text{ \AA}$ ($1\text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm}$) od laboratórnej vlnovej dĺžky daného prechodu, ukazoval na prítomnosť svietiacej hmoty v sústave, ktorá sa ku nám približuje, ale aj vzdialuje vysokými rýchlosťami $\pm 1250 \text{ km/s}$ (tzv. radiálna rýchlosť, ktorá predstavuje zložku celkovej rýchlosti v smere pozorovania). Tento posun je spôsobený Dopplerovým efektom, podľa ktorého sa žiarenie zdroja, ktorý sa ku pozorovateľovi približuje, respektíve vzdialuje, posune ku kratším, respektíve dlhším, vlnovým dĺžkam vzhľadom na kludový stav. Ďalšiu dôležitú

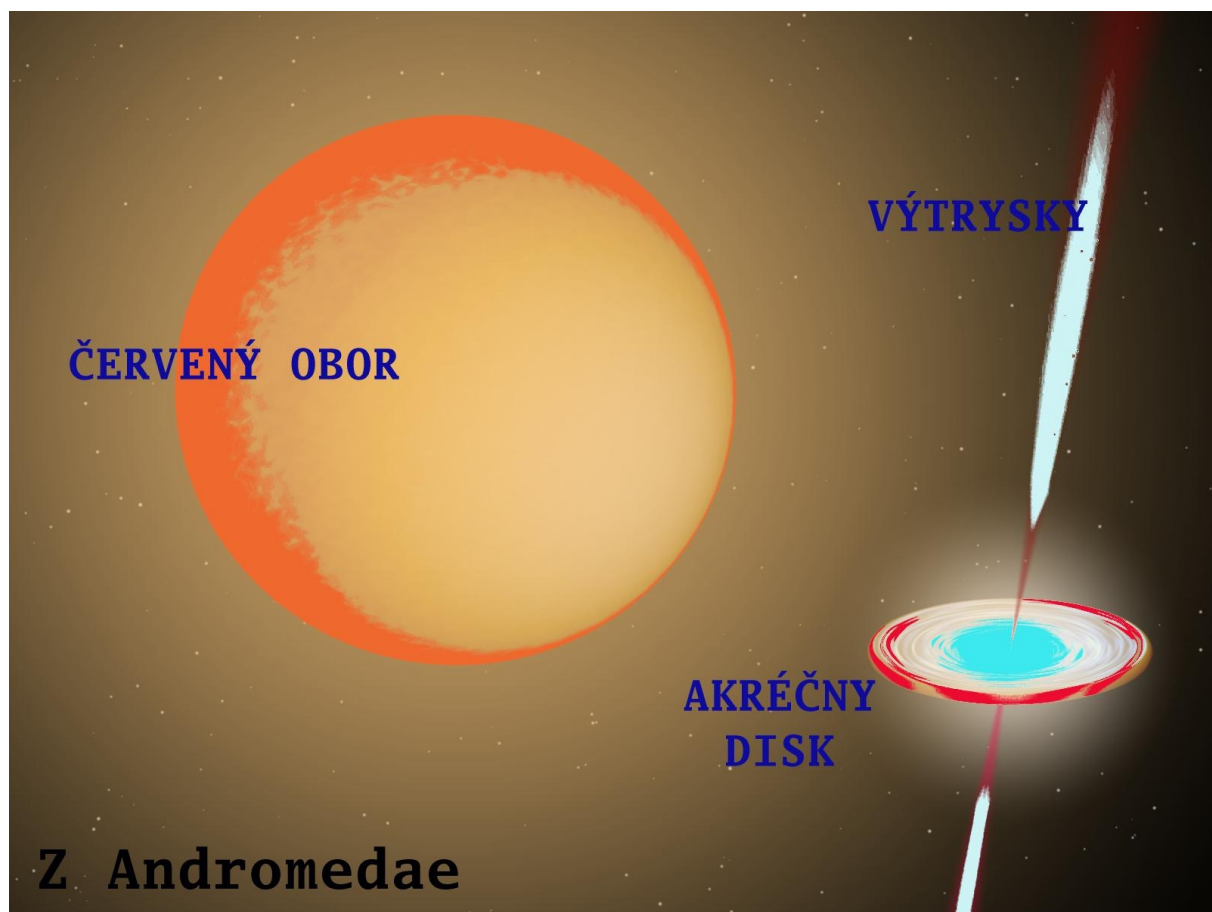
informáciu o kinematike nám poskytuje šírka satelitných emisií. Táto bola malá, len okolo 4.5 Å. To implikuje, že v rámci objemu tejto rýchlo sa pohybujúcej svietiacej látky (či už ku alebo od pozorovateľa) je rozptyl žiariacich atómov relatívne malý. Tieto vlastnosti satelitných emisií umožnili stotožniť ich zdroj s úzko smerovanými výtryskami hmoty kolmo na každú stranu akréčneho disku (Obr. 1). Keďže sklon roviny akréčneho disku je rovnaký ako sklon dráhy dvojhviezdy (76°), ľahko z radiálnej rýchlosti výtrysku určíme jeho celkovú rýchlosť ako $1250/\cos(76^\circ) \approx 5200$ km/s. Pozorovania výtryskov pre ostatné objekty ukazujú, že rýchlosť výtryskov zvyčajne dosahuje hodnôt únikovej rýchlosti z povrchu centrálnej hviezdy. Táto vlastnosť nám potom umožňuje určiť hmotnosť akrétora. V našom prípade úniková rýchlosť 5200 km/s a typický polomer bieleho trpaslíka, 0.01 polomeru Slnka, odpovedajú jeho hmotnosti 0.7 hmotnosti Slnka. Nakoniec, zo svietivosti výtryskov (t.j. množstva vyžarovanej energie, napr. vo Wattoch) je možné odhadnúť aj množstvo unikajúcej hmoty za časovú jednotku. Z pozorovanej svietivosti, 0.76 Slnk ($= 2.9 \times 10^{26}$ W), a rýchlosti tryskajúcej hmoty (5200 km/s) sme určili tempo úniku hmoty na 2×10^{-6} hmotnosti Slnka za rok.

Význam pre ďalší výskum

Parametre, ktoré bolo možné určiť priamo z pozorovaní, kladú dôležité podmienky na teoretické modelovanie mechanizmu produkujúceho výtrysky. Napríklad, detekcia úzko smerovaných výtryskov hmoty priamo súvisí s podstatou fáz aktivity, čo je ústredný problém výskumu symbiotických hviezd. Tu hrá zásadnú úlohu tempo akrécie hmoty bielym trpaslíkom. Všeobecne platí, že tempo *úniku* hmoty výtryskami by malo byť porovnateľné s tempom *akrécie*. Avšak prenášaná hmota hviezdnyim vetrom červeného obra umožňuje bielemu trpaslíkovi zachytiť len nepatrný zlomok toho, čo potom vypúšťa vo forme výtryskov. To znamená, že v prvých fázach vzplanutí, ešte pred maximom jasnosti, muselo dôjsť k prekotnej akrécii veľmi vysokým tempom, aby mohol vzniknúť vysoko rýchlostný výtrysk s masívnym tempom úniku hmoty zo systému. Lepšie porozumenie týchto makroskopických procesov je možné len na základe nových pozorovaní zo začiatku vzplanutí a ich teoretické modelovanie.

Záverom by som poznamenal, že objavné oznámenie o detekcii bipolárnych výtryskov z prototypickej symbiotickej hviezdy Z And sme ohlásili formou astronomického telegramu (viď <http://www.astronomerstelegram.org/> č. 882 a 930). Preklad prvého telegramu bol zverejnený aj v časopise KOZMOS 5/2006. Detailná štúdia nášho objavu pre časopis Astronomy and Astrophysics je v príprave.

Obr. 1 Schematické znázornenie symbiotickej dvojhviezdy Z Andromedae počas vzplanutia. Červený obor odfukuje svoju atmosféru do vonkajšieho priestoru, ktorej malá časť je zachytávaná bielym trpaslíkom, čo vedie k tvorbe akrečného disku. V ojedinelých prípadoch z centra disku začne tryskať úzko smerovaný prúd hmoty rýchlosťami prevyšujúcimi únikovú rýchlosť. Pre Z And sme tento jav objavili ako prví počas jej vzplanutia v r. 2006.



Obr. 2 Horný panel ukazuje svetelnú krivku Z And vo fialovej (filter U), modrej (B) a žltej (V) farbe zmeraná d'alekohľadmi AsÚ SAV. Historické maximum nastalo koncom júla 2006. Po maxime boli po prvýkrát v spektre Z And pozorované bipolárne výtrysky (jety) ionizovanej hmoty od centrálnej hviezdy (viď Obr. 1). Spodný panel ukazuje indikáciu týchto výtryskov (označené ako J- a J+, respektíve šípkami) v profile vodíkovej čiary H α na spektrách získaných na observatóriu David Danlop (DDO) a Asiago.

