

Na čem pracujeme: Modrý podtrpaslík v dvojhvězdě s ultrakrátkou oběžnou dobou

19.3.2024 - | Astronomický ústav AV ČR

Vývoj hvězd ve vícenásobných systémech často přináší vývojové zvraty. Čím těsněji u sebe dvojhvězdy obíhají, tím větší se pravděpodobnost, že si budou navzájem intenzivně zasahovat do života.

Nečekané vývojové změny nastávají například v případě, že se obě složky v dvojhvězdě obklopi společnou obálkou. Výsledky vývoje ve společné obálce jsou v zásadě dva: buď dojde ke splnutí hvězd, nebo naopak tyto hvězdy společnou obálku společnými silami odvrhnou. Modely předpovídají, že výsledkem druhého scénáře by mohl být systém obsahující horkou modrou podtrpasličí hvězdu obíhající druhou složku po velmi těsné oběžné dráze. Tak těsné, že by ve ztrátě momentu hybnosti hrálo velkou roli vyzařování gravitačních vln, čímž by došlo k dalšímu zkracování oběžné dráhy. Předpokládaný teoretický limit oběžné periody takové neinteragující dvojhvězdy je kolem 20 minut. V literatuře jsou známy čtyři případy modrých podtrpasličích hvězd v neinteragujících dvojhvězdách s oběžnou periodou pod hodinu, ale žádný z nich se nepřibližuje k teoretickému limitu.

Pátý systém byl oznámen v představované práci přijaté k publikaci v časopise Nature Astronomy. Tento objekt byl objeven čínským dalekohledem TMTS (Tsinghua University – Ma Huateng Telescope for Survey), který pořizuje světelné křivky hvězd s minutovou kadencí. Hvězda s označením TMTS J052610.43+593445.1 (dále jen J0526) vykazovala prominentní 10,3-minutovou fotometrickou proměnnost. Tato skutečnost byla týmem astronomů doložena i díky pozorováním z dalších světových dalekohledů. Z nich se také podařilo získat celou řadu spektroskopických pozorování, využity byly mimo jiné desetimetrové dalekohledy Keck I a Gran Telescopio Canarias. Ze spektroskopických měření bylo možné určit periodu tzv. křivky radiálních rychlostí, která obvykle souvisí s vlastním pohybem zdroje světla při oběhu kolem druhého tělesa. Takto určená perioda činila 20,5 minuty. Jde tedy o ultrakompaktní dvojhvězdu, tak těsnou, že je jednak dobře patrná slapová deformace viditelné složky, ale také relativistické zesilování záření ve směru jejího pohybu. Zde je třeba poznamenat, že druhá složka dvojhvězdy není ve spektrech na první pohled vůbec patrná.

Autoři využili pořízená spektra k modelování atmosféry jasnější složky. V tomto spektru byly dobře patrné vodíkové čáry kontaminované čarami hélia, což svědčí mimo jiné pro vysokou povrchovou teplotu. Naproti tomu spektrum nevykazovalo přítomnost emisních čar, v systému tedy zřejmě nedochází k přetoku látky z hvězdy na hvězdu. Atmosférický model sestavený volně dostupným programem TLUSTY, jehož autorem je Čech Ivan Hubený, odhalil, že povrchová teplota hvězdy činí kolem 25 000 K, gravitační zrychlení odpovídá rozměrově malé hvězdě se zvýšeným zastoupením hélia. Zřetelně šlo o malou hvězdu spektrálního typu B. Spektrální indikátory svědčily spíše pro podtrpasličí hvězdu typu sdB než o bílého trpaslíka.

Pro hvězdu je známa vzdálenost určená astrometricky družicí Gaia, ta je přibližně 850 pc. Z průběhu spektrální distribuce energie při známé vzdálenosti lze usoudit, že hvězda má rozměr asi 0,06 poloměru Slunce (je jen sedmkrát větší než Země) a celkovou svítivost asi 1,7 svítivosti Slunce. Ne zcela jednoznačné řešení bylo nalezeno pro hmotnost viditelné hvězdy. Systém je natolik slabý, že ani desetimetrové dalekohledy neumožňují získat spektra s dostatečným poměrem signálu k šumu. Autory preferované řešení mluví o hmotnosti 0,36 hmotnosti Slunce. Jde tedy o jednu z nejmenších známých nedegenerovaných hvězd a její průměrná hustota 1200krát přesahuje průměrnou hustotu našeho Slunce. Autoři tak preferují řešení, že pozorovatelná složka dvojhvězdy J0526 je héliovou sdB

hvězdou s velmi tenkou vodíkovou atmosférou. Ze změřené míry dopplerovského zesílení a elipsoidální proměnnosti, jejíž podstatou je deformace tvaru hvězdy slapovými silami od druhého tělesa, bylo možné vypočítat sklon oběžné dráhy dvojhvězdy vůči směru k pozorovateli, a to pak použít k výpočtu hmotnosti druhého, nepozorovatelného tělesa. Horkého modrého podtrpaslíka tak doprovází hvězda s hmotností 0,73 hmotnosti Slunce a jedná se zřejmě o uhlíko-kyslíkového bílého trpaslíka. Pro ně je známa relace mezi hmotností a rozměrem, s jejím využitím tedy byl odvozen rozměr bílého trpaslíka na 0,011 poloměru Slunce. Zjištěná geometrie systému je konzistentní s faktem, že jde o nezákrytovou dvojhvězdu, odvozená projektovaná rotační rychlost je také konzistentní s nálezem ve spektrech.

Blízká dráha s krátkou oběžnou periodou předurčuje tento systém jako zdroj gravitačních vln s milihertzovým pásmu, které by měly být detekovatelné gravitačními detektory nadcházející generace, jakými je například chystaný kosmický experiment LISA.

Jakmile jsou známy parametry systému, je možné využít služeb programů modelujících hvězdný vývoj a podívat se na budoucnost tohoto systému. Dvojhvězda zůstane zdánlivě neměnná po dobu 1,5 milionu let, pouze se kvůli vyzařování gravitačních vln bude zkracovat její perioda a tedy i vzdálenost mezi oběma složkami. Za 1,5 milionu let vyplní podtrpasličí složka svůj Rocheův lalok a na bílého trpaslíka začne přetékat látka z dárcovské hvězdy. V té době bude orbitální perioda asi 14 minut. Na obloze se objeví další kataklyzmická proměnná hvězda vzácného typu AM CVn. Kvůli ztrátě hmoty se poloměr podtrpasličí hvězdy bude dále zmenšovat, což ještě podpoří ztrátu momentu hybnosti gravitačními vlnami a kontrakci oběžné dráhy. Současně bude docházet k utlumování v současnosti probíhající termojaderné reakce hélia, a podtrpaslík začne kolabovat a procházet procesem elektronové degenerace. Na místě vznikne druhý bílý trpaslík. Orbitální perioda dosáhne svého minima: jednoho oběhu za 9 minut. V samotném závěru přijde původně podtrpasličí hvězda o tolik hmoty, že z ní vznikne buď těleso podobné plynným planetám, nebo bude kompletně roztrháno slapovými silami bílého trpaslíka.

Systém J0526 tak představuje vpravdě unikátní vesmírnou laboratoř umožňující téměř v přímém přenosu studovat extrémní jevy spojené s vývojem v těsných dvojhvězdách. Současně je tento systém na hraně předpovědí současných modelů vývoje hvězd. I v tomto extrémním případě jsou pozorovaná zjištění s těmito modely v souladu, což je silnou podporou pro správnost těchto modelů.

J. Lin, Ch. Wu, H. Xiong, X. Wang, P. Németh a kol., *A seven-Earth-radius helium-burning star inside a 20.5-min detached binary*, Nature Astronomy v tisku, preprint arXiv:2312.13612

<https://www.asu.cas.cz/articles/2242/19/na-cem-pracujeme-modry-podtrpaslik-v-dvojhvezde-s-ultrakratkou-obeznou-dobou>