

# Na čem pracujeme: Objev mini-Neptunu TOI-2458 b nám poskytuje nový náhled na formování planetárních systémů

12.11.2024 - | Astronomický ústav AV ČR

**Objev první extrasolární planety 51 Pegasi b v roce 1995 byl průlomem hned z několika hledisek. Jednak přirozeně proto, že tato planeta byla prvním důkazem o existenci takových objektů u jiných Slunci-podobných hvězd než je právě Slunce. Ale také proto, že svým charakterem tato planeta vybočovala z toho, co známe ze Sluneční soustavy. Planeta velikosti Jupiteru na velmi blízké oběžné dráze se stala prvním zástupcem nové třídy planet, tzv. horkých jupiterů. Od té doby se objevila celá řada dalších specifických planetárních typů, které v solárním systému nenalezneme.**

Horké jupitery však zůstávají záhadnými objekty, protože je obtížné vysvětlit jejich původ z hlediska vývoje planetárních systémů. Ve hře jsou v současnosti dvě hlavní hypotézy. Tou první je planetární migrace masivního planetárního jádra v protoplanetárním disku směrem k hvězdě, a druhou cirkularizace původně vysoce excentrické orbity vybuzené působením dalších těles v systému. Třetí, nepříliš oblíbenou alternativou je možnost vzniku obří planety blízko hvězdy. Vývojové teorie toto nevylučují, ale současně předpovídají, že takové planety by měly být v jejich okolí doprovázeny i menšími planetami. Úvaha však může jít dál. Systémy s malými planetami blízko hvězdy jsou opravdu běžné. Chybí tu ale ti horké jupitery. Nebylo by však možné, že v průběhu času byla obří planeta v některých systémech pohlcena hvězdou vlivem slapových interakcí?

J. Šubjak vedl studii, která především oznámila objev planety TOI-2458 b. Planeta je typu mini-neptun a obíhá kolem hvězdy typu F. Tento objev byl umožněn kombinací fotometrických dat z družice TESS a spektroskopických pozorování z přístroje HARPS na observatoři La Silla v Chile. Planeta byla poprvé detekována jako tranzitující objekt, což znamená, že při svém oběhu přechází před mateřskou hvězdou a způsobuje pravidelné poklesy její jasnosti. Dodatečná pozorování z různých pozemských přístrojů prokázala, že tyto poklesy nejsou způsobeny kontaminací signálu okolními hvězdami. Ze světelné křivky tak bylo možné určit základní vlastnosti planety, jako je velikost a oběžná doba. Pomocí spektroskopických měření byly pak potvrzeny její hmotnost a další parametry. TOI-2458 b má hmotnost zhruba 13,3násobek hmotnosti Země a její poloměr činí asi 2,8násobek Země. Její oběžná dráha je velmi blízká mateřské hvězdě, přičemž jeden oběh dokončí za pouhé 3,74 dne. To znamená, že se nachází ve velmi horkém prostředí, které by nebylo vhodné pro život, jak ho známe. Autoři vyvinuli snahu z dostupných pozorování více odvodit o možném charakteru planety jako takové, objekt se však nachází v oblasti rozhraní typů. Může tedy jít o vodní svět stejně dobře jako o kamennou planetu s tenkou vodíkovou atmosférou.

Mateřská hvězda TOI-2458 má hmotnost o něco vyšší než Slunce a průměrnou teplotu povrchu kolem 6000 K. Fundamentální parametry hvězdy byly určeny na základě pozorování hned několika nezávislými modely, které dospěly k přijatelné shodě. Hvězda se nachází ve fázi, kdy opouští hlavní posloupnost a její věk byl určen na 5,7 miliardy let. Ukázalo se, že hvězda má velmi rychlou rotaci (přibližně 9 dní) a krátkou periodu aktivity, která trvá zhruba 54 dnů.

Takto krátký cyklus není obvyklý pro hvězdy typu F. Studie uvádí, že podobné krátké cykly aktivity byly objeveny pouze u několika dalších hvězd. Cyklus pozorován u hvězdy TOI-2458 je druhý nejkratší, který byl kdy zaznamenán u hvězdy tohoto spektrálního typu. Tento fenomén je podobný hvězdě  $\tau$  Boo, která je známá svou neobvyklou aktivitou a přítomností horkého jupiteru na velmi

krátké oběžné dráze. J. Šubjak se zamýšlí, že by tyto cykly mohly být způsobeny interakcemi mezi hvězdou a planetárními objekty.

Vědci také zjistili, že kromě TOI-2458 b existuje v systému další planeta, která obíhá ve větší vzdálenosti od hvězdy. Tato planeta má oběžnou dobu přibližně 16,5 dne a dynamické modelování stability systému ohraničilo její hmotnost mezi 10 až 25 hmotnostmi Země. Další pozorování jsou však potřeba k přesnějšímu určení parametrů.

Celkově vypadá systém TOI-2458 velmi zajímavě. Dvě planety, jejichž výskyt je v souladu s formací přímo na místě bez nutnosti migrace. Navíc hvězda v minulosti pravděpodobně pohltila jiný planetární objekt, což by vysvětlovalo její rychlou rotaci i krátký cyklus magnetické aktivity. Tento jev je v souladu s hypotézou, že v systému původně existoval horký jupiter, který vlivem slapových interakcí spiráloval do hvězdy a byl nakonec pohlcen. Přitom k pohlcení mohlo dojít poměrně rychle, simulace ukazují, celý proces by mohl trvat jen asi miliardu let. Analýza navíc ukázala, že mini-neptun TOI-2458 b obíhá kolem pólů své mateřské hvězdy. Takto velký sklon orbity lze vysvětlit gravitačním působením hmotného tělesa uvnitř orbity této planety. To představuje další nezávislý důkaz o minulé existenci horkého jupiteru v tomto systému.

Pečlivě provedené detailní studie jednotlivých planetárních soustav, jako je tato o TOI-2458, přináší důležité poznatky pro pochopení toho, jak se formují a vyvíjejí planetární systémy. Vědci se dosud přikláněli k teorii, že většina horkých Jupiterů migrovala blíže ke svým hvězdám z větších vzdáleností. Objev TOI-2458 b však silně podporuje možnost, že některé horké jupitery vznikly přímo na místě, kde je dnes pozorujeme. Tento model je podporován i dalšími objevy z nedávné doby, například u systémů jako WASP-47 nebo Kepler-730, kde byly objeveny horké jupitery s málo hmotnými planetami v jejich okolí.

Proces formování planet je tak možná mnohem rozmanitější, než se dříve předpokládalo. Hvězda TOI-2458 a její planetární systém je však dobrým cílem pro další, mnohem detailnější pozorování, která by mohla tajemství vzniku planet dále poodhalit. Mohli bychom se dozvědět více o systému jako takovém, o vnitřní struktuře planet, jejich složení a atmosférách. Studie podobných systémů by mohly také přispět k odhalení toho, jak běžné jsou takové planetární systémy v naší Galaxii a jaké podmínky jsou potřebné k tomu, aby se mohly vytvořit.

<https://www.asu.cas.cz/articles/2341/19/na-cem-pracujeme-objev-mini-neptunu-toi-2458-b-nam-poskytuje-novy-nahled-na-formovani-planetarnich-systemu>