

# Na čem pracujeme: Sklon oběžných drah plynných obrů v cizích planetárních soustavách

29.4.2025 - | Astronomický ústav AV ČR

**Od objevu první exoplanety v roce 1992 se počet známých planet mimo naši Sluneční soustavu dramaticky zvýšil. V současnosti je známo více než 7 400 exoplanet v přes 5 000 planetárních soustavách, z nichž asi 1 000 je vícenásobných, tedy obsahujících více než jednu planetu.**

Studium geometrie oběžných drah exoplanet v těchto vícenásobných systémech poskytuje cenné informace o jejich vzniku a dynamickém vývoji. V naší Sluneční soustavě jsou oběžné dráhy planet přibližně zarovnané s rovníkem Slunce, což naznačuje klidný proces formování z protoplanetárního disku. Nicméně, u některých exoplanetárních systémů byly zjištěny výrazné sklony oběžných drah vůči rotační ose hvězdy. Například v systému HD 3167 jsou oběžné dráhy dvou planet skloněny vůči sobě o téměř  $90^\circ$ , což naznačuje složitější dynamickou historii.

Rozdíly v zarovnání oběžných drah mohou odrážet různé scénáře vývoje planetárních systémů. Klidná migrace planet v protoplanetárním disku obvykle vede k zarovnaným drahám. Naopak, gravitační interakce s dalšími planetami, blízkými hvězdami nebo procházejícími oblaky plynu mohou způsobit významné sklony drah. Například přiblížení dalšího oblaku plynu k disku může změnit jeho sklon a urychlit tvorbu planet, což může vést k rozhození oběžných drah budoucích planet a zvýšit pravděpodobnost existence horkých jupiterů. Některé planety mohou být dokonce ze systému vyhozeny. Porozumění těmto konfiguracím je klíčové pro pochopení mechanismů formování a evoluce planetárních soustav, což může mít důsledky pro hledání obyvatelných světů a studium jejich potenciální obyvatelnosti.

Představovaný článek, jehož hlavním autorem je Jiří Žák ze Stelárního oddělení ASU, se zabývá studií 8 planetárních systémů. Hlavní náplní bylo studium sklonu planetárních rovin vůči rotačním osám hvězd u osmi plynných obrů s krátkou oběžnou dobou. Autoři využili archivní data z vysoce přesných spektrografů HARPS a HARPS-N a zaměřili se na měření úhlu, který vyjadřuje projekci sklonu rotační osy hvězdy vzhledem k dráze planety. Tento údaj měřili na základě pozorování tzv. Rossiterova-McLaughlinova efektu.

Rossiterův-McLaughlinův jev nastává, když planeta přechází před diskem hvězdy a postupně zakrývá různé části rotující hvězdy. Zakryje-li například nejprve část hvězdy, která se díky rotaci pohybuje směrem k nám, pozorujeme dočasný posun spektrálních čar k delším vlnovým délkám (červený posuv). Jak tranzit pokračuje, zakrytá část se přesune na opačnou stranu, kde hvězda rotuje směrem od nás, což způsobí modrý posuv. Měřením těchto změn lze určit mimo jiné úhel mezi projektovanou rotační osou hvězdy a orbitální rovinou planety.

Studie ukazuje, že zatímco většina planet má dobře vyrovnané oběžné dráhy, u některých objektů jsou patrné známky dynamických procesů, které mohly ovlivnit jejich současné postavení. Nejvýraznější výjimkou je exoplaneta HAT-P-50b, u níž byl naměřen projektovaný úhel  $41^\circ$  (s poměrně velkou nejistotou), což naznačuje, že její oběžná dráha není plně srovnaná s rovníkem hvězdy. Tato skutečnost naznačuje, že planeta mohla projít fází migrace s vysokou excentricitou, což je proces, při němž se planeta přesouvá z původní vzdálenější dráhy blíže k hvězdě po rozplynutí protoplanetárního disku. Přítomnost blízkého hvězdného společníka dále podporuje hypotézu, že

gravitační interakce mezi hvězdami mohly hrát roli v evoluci systému.

Z těchto výsledků vyplývá, že většina planet zřejmě prošla procesem migrace uvnitř protoplanetárního disku, což je relativně klidná evoluční cesta, při níž dochází k postupnému přibližování planety k hvězdě bez dramatických gravitačních interakcí s jinými tělesy. U čtyřech planet bylo navíc možné určit skutečný sklon rotační osy hvězdy vůči rovině orbity planety. Získané hodnoty naznačují, že hvězdy těchto exoplanetárních systémů nejsou dokonale vyrovnané s rovinou oběžné dráhy planet, což může souviset s jejich rotačním vývojem a historií gravitačních interakcí v mladém systému.

Zajímavým zjištěním studie je také přehodnocení stáří dvou hvězdných systémů. Pro TOI-2046 autoři nově odhadují stáří na alespoň 700 milionů let a pro systém Qatar-4 na 350–500 milionů let. To se liší od předchozích odhadů, které uvažovaly spíše stáří kolem 150 milionů let, a může mít dopad na pochopení vývoje těchto planetárních soustav.

Celkově článek přináší významný příspěvek k poznání dynamiky exoplanetárních systémů, zejména v souvislosti s mechanismy planetární migrace a interakcemi mezi planetami a jejich mateřskými hvězdami. Výsledky podporují myšlenku, že většina studovaných planet vzniká a migruje v rámci disku, ale u některých dochází k narušení dráhy v důsledku složitějších gravitačních procesů. To může mít důležité implikace pro porozumění vývoji podobných systémů i v naší Galaxii.

J. Žák a kol., *Stellar obliquities of eight close-in gas giant exoplanets*, Astronomy & Astrophysics v tisku, preprint arXiv:2501.05615

<https://www.asu.cas.cz/articles/2402/19/na-cem-pracujeme-sklon-obeznych-drah-plynnnych-obru-v-cizi-ch-planetarnich-soustavach>