

Na čem pracujeme: Ukradené planety v okolí pulsarů: Jde o realistický scénář?

24.6.2026 - | Astronomický ústav AV ČR

Planety obíhající kolem pulsarů patří k nejpodivnějším světům, které astronomové znají. Jak mohou vzniknout u objektů, jež prošly katastrofickou explozí supernovy? Nová studie ukazuje, že jednou z možností je gravitační „krádež“ planet z cizích hvězdných soustav. Přestože takové zachycené planety zpočátku obíhají po chaotických drahách, numerické simulace naznačují, že některé systémy se mohou během miliard let překvapivě uklidnit a stát se dlouhodobě stabilními. Diplomovou práci s tímto tématem vypracoval Matyáš Fuksa z MFF UK pod vedením Václava Pavlíka a Vladimíra Karase z ASU a Stevena Shorea z Univerzity v Pise.

Málo se to zdůrazňuje, ale vůbec první exoplanety, jež byly objevené na počátku devadesátých let, neobíhaly běžné hvězdy podobné Slunci, ale pulsary. Pulsary jsou extrémně husté neutronové hvězdy vzniklé zhroucením jádra masivní hvězdy po výbuchu supernovy. Rotují vysokou rychlostí a vysílají úzké svazky elektromagnetického záření, které lze ze Země pozorovat jako pravidelné pulsy. Právě díky mimořádné přesnosti těchto pulsů lze odhalovat i velmi malé změny pohybu pulsaru způsobené gravitačním působením obíhajících planet. Tak byly v roce 1992 objeveny první potvrzené exoplanety u pulsaru PSR B1257+12.

Samotná existence planet kolem pulsarů však představuje dlouhodobou záhadu. Výbuch supernovy je natolik kataklyzmický proces, že se zdá nepravděpodobné, že by jej mohly přežít planety obíhající původní hvězdu. Astronomové proto navrhli ještě dva alternativní scénáře. Planety mohly vzniknout až po výbuchu, a to z materiálu zbylého v okolí neutronové hvězdy, nebo mohly být zachyceny při těsném setkání pulsaru s jinou hvězdou, která již vlastnila planetární systém. Každý z těchto mechanismů má své výhody i problémy a dosud není jasné, který z nich převládá.

Scénář gravitačního zachycení (čili „krádeže“) je obzvláště zajímavý. Při blízkém průletu neutronové hvězdy kolem jiné hvězdy může dojít k tomu, že některé planety změni svého gravitačního „majitele“ a začnou obíhat kolem pulsaru. Dřívější práce však naznačovaly, že takto získané planety by měly obíhat po velmi výstředních drahách a více zachycených planet by vedlo k silně chaotickému vývoji celého systému. To se zdá být v rozporu s některými pozorovanými pulsarovými exoplanetami, jejichž dráhy jsou relativně klidné. Právě na tuto otázku se zaměřuje výše uvedená diplomová práce a následná rozšiřující studie Václava Pavlíka a spoluautorů.

Otázka samotná je zdánlivě jednoduchá: může proces gravitačního zachycení skutečně vytvořit stabilní planetární systém kolem pulsaru, nebo chaos nevyhnutelně vede k rozpadu takové soustavy? Namísto složitých analytických výpočtů se rozhodli problém studovat pomocí numerických simulací založených na klasické nebeské mechanice. Cílem nebylo vytvořit definitivní model konkrétního pulsarového systému, ale ověřit, zda je vůbec možné dosáhnout dlouhodobě stabilního uspořádání po počátečním chaotickém období.

Výchozí scénář vychází z představy těsného setkání kompaktního hvězdného pozůstatku s již existující planetární soustavou, v tomto konkrétním případě se používají parametry Sluneční soustavy. Během takového gravitačního tance může být jedna nebo více planet zachycena pulsarem. Dřívější práce Pavlíka a Shorea ukázala, že počet zachycených planet závisí na hmotnosti, rychlosti a směru pohybu „zloděje“. Zachycené planety typicky získávají velmi výstředné dráhy náchylné k dalším gravitačním poruchám. Výsledky provedené v novém experimentu jsou s tímto očekáváním v

souladu. Zde však příběh nekončí.

Klíčovým výsledkem článku je podrobný rozbor jednoho případu, v němž se planeta o hmotnosti srovnatelné s Jupiterem po zachycení dostala do série gravitačních interakcí s dalšími planetami. Tyto interakce vedly k opakovaným těsným setkáním, výměnám orbitální energie a nakonec i k vyvržení některých těles ze systému, takže z původně šesti zachycených planet Sluneční soustavy zůstaly na oběžné dráze kolem neutronové hvězdy pouze Jupiter a Venuše. Na první pohled jde o proces, který by měl stabilitu spíše zhoršovat. Paradoxně však právě tato chaotická fáze umožnila systému postupně se „pročistit“. Nestabilní konfigurace byly odstraněny a zbylé planety skončily na mnohem pravidelnější orbitě. Výsledná excentricita přeživšího Jupiteru dosáhla hodnoty přibližně 0,146. To je výrazně nižší hodnota, než jaká bývá bezprostředně po zachycení očekávána. Jinými slovy, planeta se nakonec pohybovala po dráze, která byla relativně blízká kružnici. Takový výsledek naznačuje, že vysoká excentricita zachycené planety nemusí být trvalým znakem systému. Chaotický vývoj může v některých případech fungovat jako mechanismus přirozeného výběru, který odstraní nejproblematictější konfigurace a ponechá pouze dlouhodobě stabilní řešení. Zde dodejme, že přeživší Venuše se stabilizovala na vnitřní oběžné dráze s podstatně větší výstředností asi 0,85.

Výsledky je třeba interpretovat opatrně. Jeden zaznamenaný pozitivní scénář neznamená, že jde o definitivní vysvětlení všech pulsarových planet. Spíše ukazuje, že dosavadní námitka založená na očekávaných vysokých excentricitách a nestabilitě systému není tak silná, jak se mohlo zdát. Existence alespoň jednoho realistického scénáře vedoucího ke stabilní nízkoexcentrické dráze znamená, že dynamický mechanismus zachycení zůstává životaschopnou možností. K posouzení jeho skutečné četnosti budou zapotřebí rozsáhlejší soubory simulací a podrobnější porovnání s pozorovanými systémy, kterých však zatím není mnoho.

Vědecký rozměr studie je ale jen částí výsledné práce. Jde o ukázkou práce s volně dostupným N-částicovým integrátorem. Práce má tedy i rozměr pedagogický. Autoři správně poukazují na skutečnost, že gravitační působení těles a nebeská mechanika se na školách prezentuje jako něco ne zcela aktuálního, jako něco, co bylo intenzivně vyučováno především v minulosti, a nyní nedosahuje přitažlivosti kvantové nebo jaderné fyziky. Přitom pohyb více těles přináší často překvapivé výsledky, které jsou tu a tam dokonce v rozporu s intuitivním očekáváním. Dostupnost moderních výpočetních programů tak umožňuje zařadit zpět do výuky fyziky na různých stupních vzdělávání řešení úloh reprezentujících svět kolem nás. Takové příklady mohou například velmi názorně demonstrovat problém tzv. deterministického chaosu, tedy situace, kdy se vývoj dvou velmi podobných fyzikálních systémů v čase exponenciálně vzdaluje.

Článek tak na konkrétním příkladu dává lekci z nebeské mechaniky, která není samoúčelná. V astrofyzice často existuje tendence hodnotit určitý scénář podle jeho bezprostředních důsledků nebo aktuálního stavu. Pokud zachycená planeta vzniká na excentrické dráze, může se zdát, že tím je celý mechanismus diskvalifikován jako vysvětlení pozorovaných téměř kruhových drah. Studie však připomíná, že planetární systémy jsou nelineární dynamické soustavy a že pokud se výpočet ukončí předčasně, mohou být závěry chybné. Práce ukazuje, že dlouhodobý vývoj chaotických systémů může vést k výsledkům značně odlišným od počátečního stavu. Současný vzhled systému proto nemusí přímo odrážet podmínky jeho vzniku. A to je důležité i z pedagogického hlediska.

V. Pavlík a kol., *Formation of stable exoplanetary systems around pulsars by capture: An exercise in computational classical mechanics*, European Journal of Physics 47 (2026) id.035607, preprint preprint arXiv:2605.12591.

<https://www.asu.cas.cz/articles/2580/19/na-cem-pracujeme-ukradene-planety-v-okoli-pulsaru-jde-o-re>

[alisticky-scenar](#)