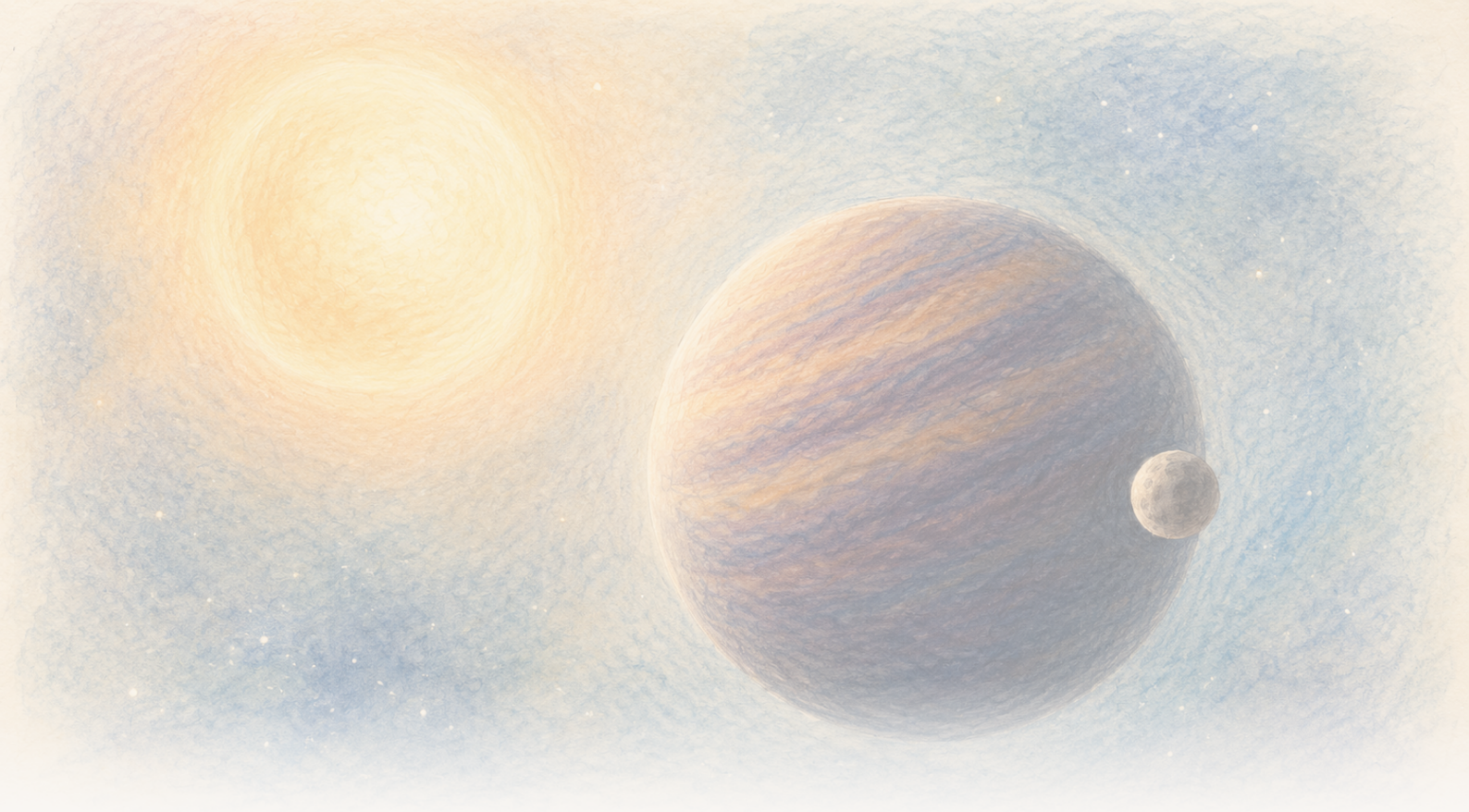


The Clean Paper

WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

Hnědý trpaslík se zřejmě každých 171 dní zakolébá. Tahat za něj může jeden skrytý svět, data však stále připouštějí dva

Dvacet tři kvalitních spekter odhalilo silný periodický posun v pohybu CD-35 2722 B. Upřednostňovaným modelem je jeden excentrický průvodce s minimální hmotností blízkou Jupiteru, stejný signál však může napodobit model se dvěma objekty, pomalá proměnlivost hnědého trpaslíka zůstává principiálně možná a slovo „exoměsíc" zde nemá ustálenou hranici.

Written by Cinzia Vaglio · Cross-checked by Matteo · Edited by Michele Renda · Figures by Cinzia Vaglio, Laura Nesso and Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

Paper: *Planetary-mass exosatellite detected around the substellar companion of a star*, Kevin Hoy, Alice Zurlo, Pablo A. Pena R., Jana Kohler, Silvano Desidera, Raffaele Gratton, Cecilia Lazzoni, Simon Petrus, Florian Rodler, Jonathan Smoker, Valentina D'Orazi, Ilaria Carleo and Ilaria Giovannini, Nature 655, 865-869 (2026) · DOI: 10.1038/s41586-026-10751-w

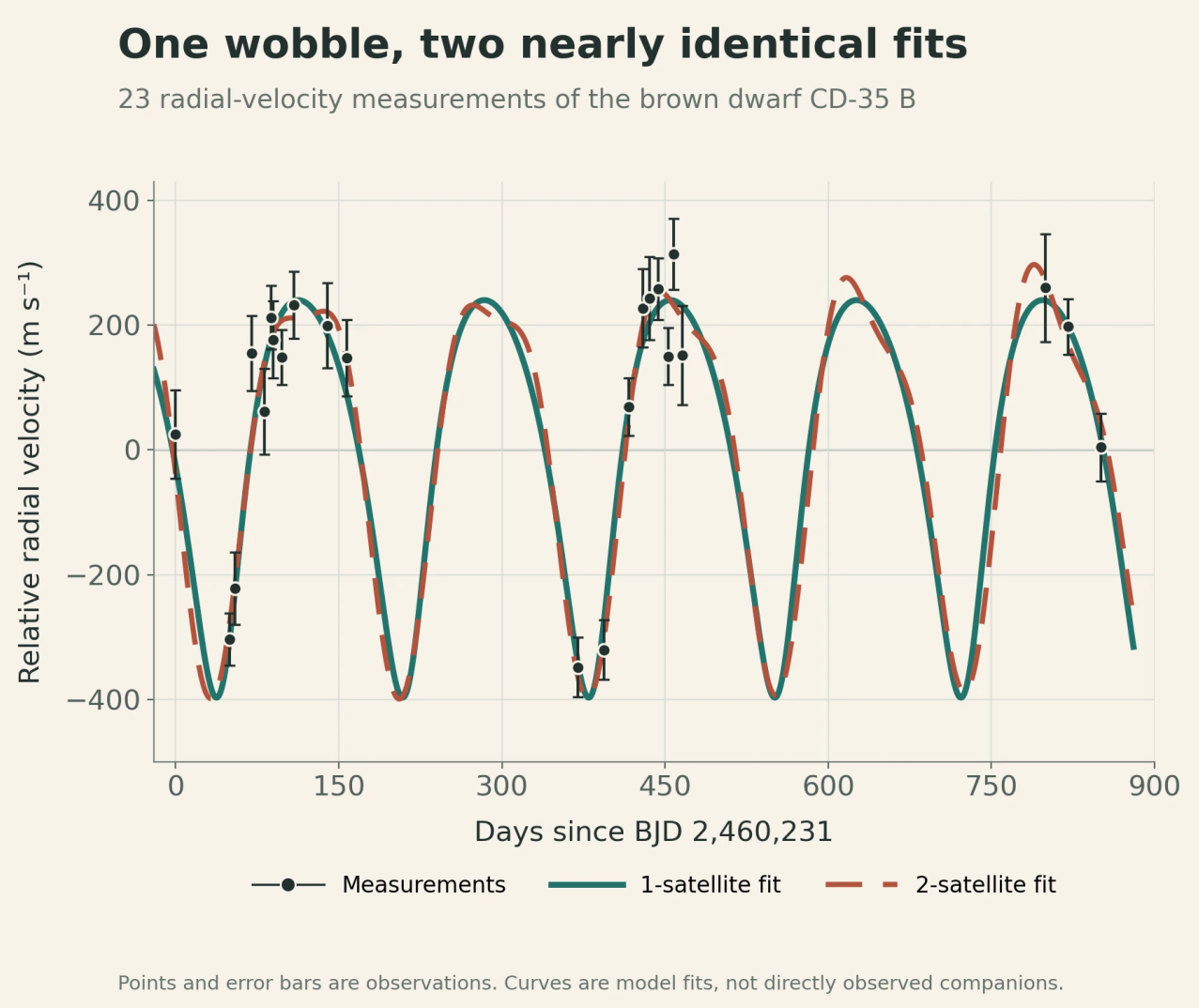
Hnědý trpaslík se zřejmě každých 171 dní zakolébá. Tahat za něj může jeden skrytý svět, data však stále připouštějí dva

Astronomové dokážou CD-35 2722 B vidět jako samostatný bod světla, oddělený od hvězdy, kolem níž obíhá. Jde o hnědého trpaslíka, objekt hmotnostně mezi obřími planetami a hvězdami: při zhruba 37 hmotnostech Jupiteru je hmotnější než běžná obří planeta, ale není normální hvězdou spalující vodík. Menší objekt, který možná obíhá samotného hnědého trpaslíka, vidět nedokážou. Pokud by byl potvrzen, vytvořil by první pozorovanou hierarchii, v níž satelit obíhá větší substelární objekt a ten sám obíhá hvězdu.

Místo toho vidí rytmus. Některé noci je světlo hnědého trpaslíka nepatrně posunuto, když se pohybuje k Zemi. Jindy se posune opačně, když se hnědý trpaslík vzdaluje. Vzorec se opakuje přibližně každých **171 dní**.

Takový pohyb tam a zpět může vyvolat neviditelný průvodce: když dva objekty obíhají společné těžiště, menší putuje kolem většího, ale i větší opisuje mnohem menší smyčku. Pokud je rytmus orbitální, nový článek v Nature nabízí jako upřednostňované vysvětlení smyčky naměřené kolem CD-35 2722 B jeden objekt planetární hmotnosti.

Je to pozoruhodná možnost, ne fotografie měsíce. Dvacet tři kvalitních pozorovacích nocí odhalilo silný periodický signál. Přeměna tohoto signálu na svět však vyžaduje model a současná data stále dovolují více než jednu architekturu. Rovněž zcela nevylučují pomalé změny uvnitř samotného hnědého trpaslíka.



Černé body a chybové úsečky představují 23 nočních měření radiální rychlosti. Plná a přerušovaná křivka jsou nejlepší modely s jedním a dvěma satelity. Jejich téměř úplné překrytí ukazuje, proč mohou data odhalit periodické kolébání, ale zatím neurčují architekturu systému; žádná křivka není přímým snímkem průvodce.

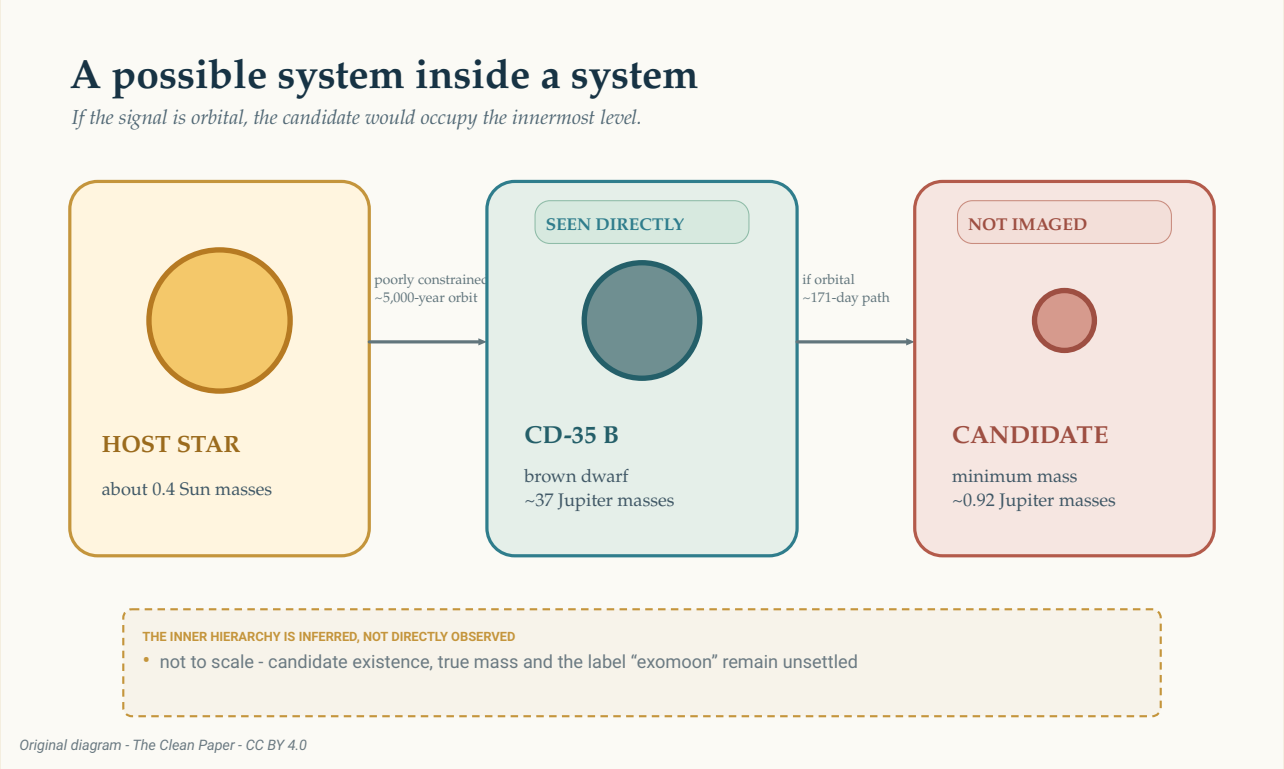
Original chart — The Clean Paper; data from Hoy et al., Nature (2026), Figure 1 source workbook CC BY 4.0

Systém uvnitř systému

CD-35 2722 B je **hnědý trpaslík**: objekt mezi známými kategoriemi. Je hmotnější než typická obří planeta, ale nemá dost hmoty, aby zářil jako běžná hvězda spalující vodík. Článek používá odhadovanou hmotnost přibližně **37 Jupiterů**.

Hnědý trpaslík byl objeven přímým zobrazením, což znamená, že dalekohledy rozlišily jeho světlo od světla hostitelské hvězdy. Na obloze se nachází asi 2,8 obloukové sekundy od hvězdy. Široká dráha spojující dvojici je málo známá, současné odhady však naznačují velmi protáhlou oběžnou dráhu trvající zhruba **5 000 let**.

Pokud je periodický signál orbitální, odvozená architektura by kandidáta umístila o jednu úroveň hlouběji: hvězda obíhaná hnědým trpaslíkem a planetárně hmotný průvodce obíhající tento hnědý trpaslík.



Pokud je signál orbitální, kandidát by zaujímal nejvnitřnější úroveň této možné hierarchie. Přímo byl pozorován pouze hnědý trpaslík. Vnější dráha kolem hvězdy je špatně omezená, zatímco vnitřní dráha dlouhá přibližně 171 dní je odvozena z naměřeného kolébání hnědého trpaslíka. Velikosti a vzdálenosti nejsou v měřítku.

The Clean Paper CC BY 4.0

Takovou možnou hierarchii lze snadno nakreslit. Její fyzická skutečnost a slovník však nejsou ustálené. Je těleso planetární hmotnosti obíhající hnědého trpaslíka měsícem, planetou, nebo prostě satelitem? Astronomové nemají přijaté pravidlo, které by otázku rozhodlo. Článek proto používá širší pojem **exosatelit**.

Jak se z 23 nocí stalo kolébání

Tým pozoroval CD-35 2722 B (viz jeho záznam NASA Eyes on Exoplanets) pomocí CRIRES+, spektrografu s vysokým rozlišením na dalekohledu Very Large Telescope Evropské jižní observatoře. Od října 2023 do února 2026 získal 26 pozorovacích epoch. Jedna měla příliš slabý signál a dvě pořízené za špatného počasí byly odmítnuty a zopakovány, takže zůstalo **23 kvalitních nocí**.

Spektrograf rozkládá světlo do podrobného vzoru čar. Když se zdroj pohybuje k Zemi nebo od ní, čáry se nepatrně posunou. Opakovaná měření tohoto pohybu ve směru zorného paprsku se nazývají **radiální rychlosti**. Skryté těleso neukazují. Ukazují, jak se pozorovaný objekt může pohybovat pod

působením neviditelné přitažlivosti.

Nejsilnější periodicita v měřeních leží poblíž 170 dní. Překračuje **práh pravděpodobnosti falešného poplachu 0,1 %** použitý ve studii. Tento práh se ptá, jak často by šum za předpokladů testu vytvořil vrchol periodogramu přinejmenším tak silný. Není to 99,9% pravděpodobnost existence satelitu a sám o sobě neříká nic o tom, zda je průvodce jeden nebo dva.

> **Co může signál radiální rychlosti prokázat?**
>
> Radiální rychlost převádí opakované posuny spektrálních čar na měření pohybu k pozorovateli a od něj. Opakující se vzorec lze proložit rovnicemi oběžné dráhy a odvodit periodu, velikost naměřeného kolébání a minimální hmotnost průvodce.
> Metoda však průvodce přímo nefotografuje. Atmosféra hvězdy nebo substelárního objektu může rovněž posouvat spektrální čáry, rozvrh pozorování může vytvářet zavádějící rytmy a rozdílné orbitální konfigurace se mohou napodobovat. Signál, jeho fyzické vysvětlení a název odvozeného objektu jsou tři oddělené otázky.

Než přijmeme orbitální odpověď, zaslouží si pozornost vzorkování. Čtyři zvlášť nízká měření radiální rychlosti mají ve vzorci značnou váhu. Objevila se ve dvou dvojicích za údajně dobrých podmínek a žádné jediné měření signál nevytvořilo, když autoři analýzu opakovali s postupným vynecháním jednotlivých bodů. Přesto je vzorkována pouze část možných orbitálních fází. Dvacet tři nocí rozložených do více než dvou let není totéž jako nepřetržité pokrytí.

Autoři testovali i možný půlroční artefakt. Nedokonalá oprava měnícího se pohybu Země nebo profilu přístroje by mohla vytvořit falešný roční signál, který se kvůli vzorkování aliasuje na polovinu pozemského roku, tedy **182,5 dne**. Upřednostňovaná perioda je **171,11 dne** s nejistotou +0,53/-0,36 dne; autoři uvádějí, že se od 182,5 dne liší asi o 20 směrodatných odchylek. Rovněž nehlásí žádnou korelaci s měnícím se pohybem Země, kvalitou obrazu, atmosférickou vodní párou ani zkoumanými vlastnostmi přístroje. Jde o důležité kontroly. Díky nim je orbitální vysvětlení dost přesvědčivé pro modelování, samy však objekt neidentifikují.

Nejjednodušší orbitální odpověď: jeden průvodce

V upřednostňovaném modelu obíhá jeden objekt hnědého trpaslíka po excentrické, tedy poněkud protáhlé dráze každých 171,11 dne. Proložená dráha má excentricitu přibližně **0,27** a velkou poloosu asi **0,200 astronomické jednotky** — zhruba pětinu průměrné vzdálenosti Země od Slunce.

Naměřené kolébání má amplitudu přibližně **318 metrů za sekundu**. Z tohoto pohybu model odvozuje minimální hmotnost průvodce asi **0,92 hmotnosti Jupiteru**.

Slovo *minimální* je důležité. Radiální rychlost měří pouze část orbitálního pohybu směřující k nám a od nás. Je-li dráha pozorována zboku, většina pohybu se projeví podél tohoto směru. Je-li pozorována více shora, velká část pohybu probíhá napříč oblohou a k vytvoření stejného naměřeného kolébání je nutný hmotnější průvodce.

Astronomové zapisují výsledek jako **m sin(i)**: hmotnost vynásobená sinem neznámého sklonu dráhy, tedy pozorovacího úhlu. Data omezují tento součin, nikoli samotnou skutečnou hmotnost. Přibližně 0,92 hmotnosti Jupiteru je proto dolní mez, ne měření přesné hmotnosti objektu.

> **Proč pozorovací úhel skrývá hmotnost?**
>
> Představte si kruhovou dráhu pozorovanou ze strany. Běžec se opakovaně pohybuje k vám a od vás, takže tuto složku pohybu lze snadno změřit. Nyní se na stejnou dráhu podívejte shora. Běžec se pohybuje převážně napříč vaším zorným polem a téměř ne k vám nebo od vás. Radiální rychlost vidí pouze první složku. Matematický faktor `sin(i)` popisuje, jak velká část orbitálního pohybu míří podél našeho zorného paprsku. Dokud není znám sklon `i`, zůstává odvozená hmotnost minimem.

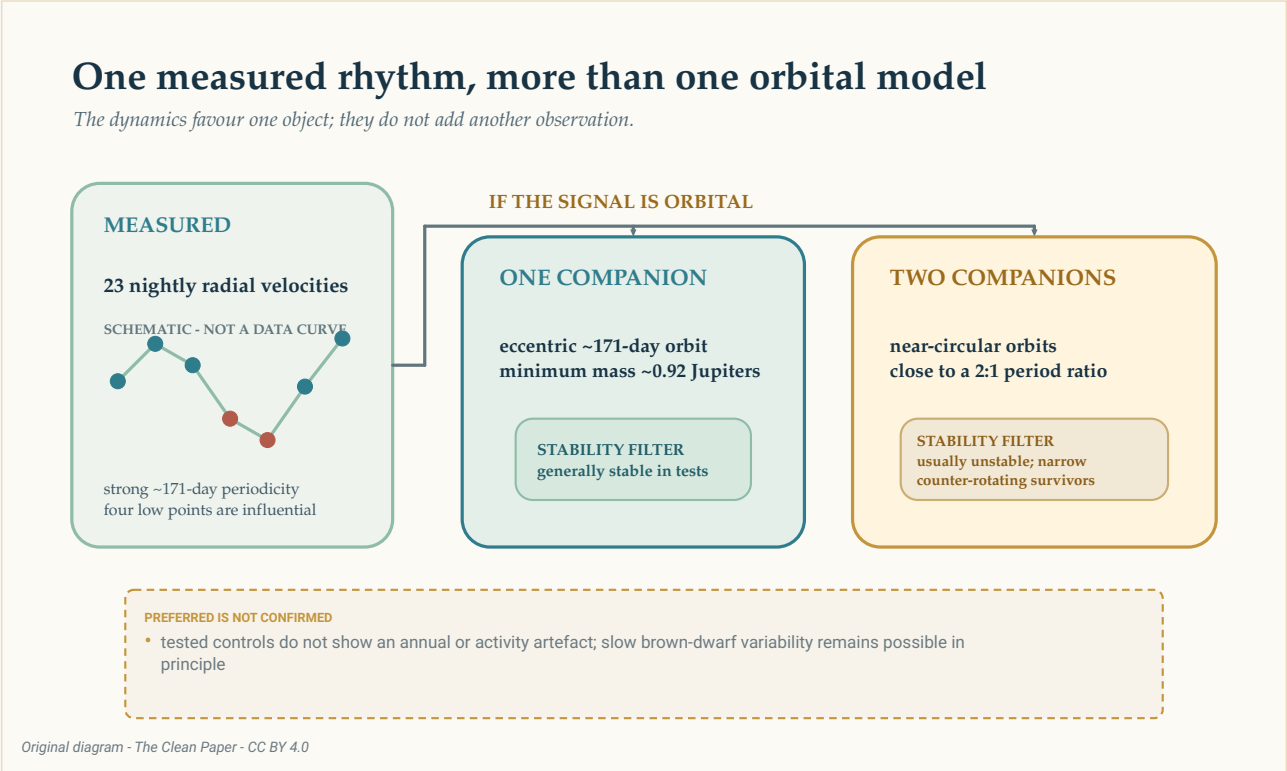
Autoři se poté ptali, zda by dráha mohla dlouhodobě přetrvat místo rychlého sebezničení. Jejich numerické testy zjistily, že model s jedním průvodcem je obecně stabilní. To z něj činí fyzicky věrohodnou interpretaci signálu. Nejde o druhou detekci.

Nepohodlná odpověď: dva průvodci mohou napodobit jednoho

Excentrický signál radiální rychlosti má známou nejednoznačnost. Za určitých podmínek mohou dva objekty na téměř kruhových drahách, z nichž jeden obíhá zhruba dvakrát déle než druhý, vytvořit společný vzorec připomínající jeden objekt na protáhlé dráze.

Tato nejednoznačnost se objevuje i zde. Model se dvěma průvodci může současná měření popsat vnějším signálem poblíž 171 dní a vnitřním signálem s kratší periodou. Protože časy pozorování nevzorkují všechny fáze rovnoměrně, má kratší signál několik aliasů. Dlouhé mezery mezi 23 vybranými nocemi dovolují různým zkušebním periodám započítat mezi návštěvami různý počet nepozorovaných cyklů a přesto se shodnout se stejnými měřeními. Kandidátní periody kolem 14, 70, 88 a 115 dní jsou tedy alternativními proloženími jednoho špatně vzorkovaného kratšího signálu, nikoli čtyřmi nezávisle detekovanými rytmy.

Autoři odmítají špatně omezené okno 13 až 17 dní. V této oblasti proložení nevybírá jednu přesvědčivou periodu: mnoho těsně rozestoupených řešení pod přibližně 20 dní dokáže reprodukovat měření s nízkou kadencí, takže celé okno je pravděpodobně artefaktem vzorkování. Mezi zbývajícími okny odpovídá řešení kolem 88 dní lépe než alternativy kolem 70 a 115 dní, ale ne natolik, aby článek tvrdil, že je známa druhá perioda. V tabulkovém nejlepším proložení má vnější objekt minimální hmotnost asi 0,87 hmotnosti Jupiteru a vnitřní asi 0,22 hmotnosti Jupiteru. Tato čísla popisují méně upřednostňovaný model; nejsou měřeními dvou potvrzených světů.



Pokud je přibližně 171denní signál orbitální, lze stejný hrubý vzorec radiální rychlosti vyjádřit jedním excentrickým průvodcem nebo dvěma téměř kruhovými průvodci blízko poměru period dvě ku jedné. Testy stability upřednostňují interpretaci s jedním objektem, ale nemění model ve snímek ani nevylučují všechny formy pomalé proměnlivosti hnědého trpaslíka.

The Clean Paper CC BY 4.0

Výpočty stability srovnání zpřesňují. Většina testovaných konfigurací se dvěma průvodci vypudila jeden objekt během několika stovek simulovaných let. Přežívající konfigurace ležely v úzké a neobvyklé oblasti, kde se dráhy nacházely téměř ve stejné rovině, ale pohybovaly se opačnými směry. Hostitelská hvězda přidala další oblasti nestability.

Je to důvod upřednostnit jednoho excentrického průvodce před testovanými systémy se dvěma průvodci. Není to důkaz, že příroda zvolila jednodušší model. Stabilita filtruje možné interpretace po změření radiálních rychlostí; nepřidává do křivky další pozorovaný bod.

Jak může jedna excentrická dráha vypadat jako dvě kruhové?

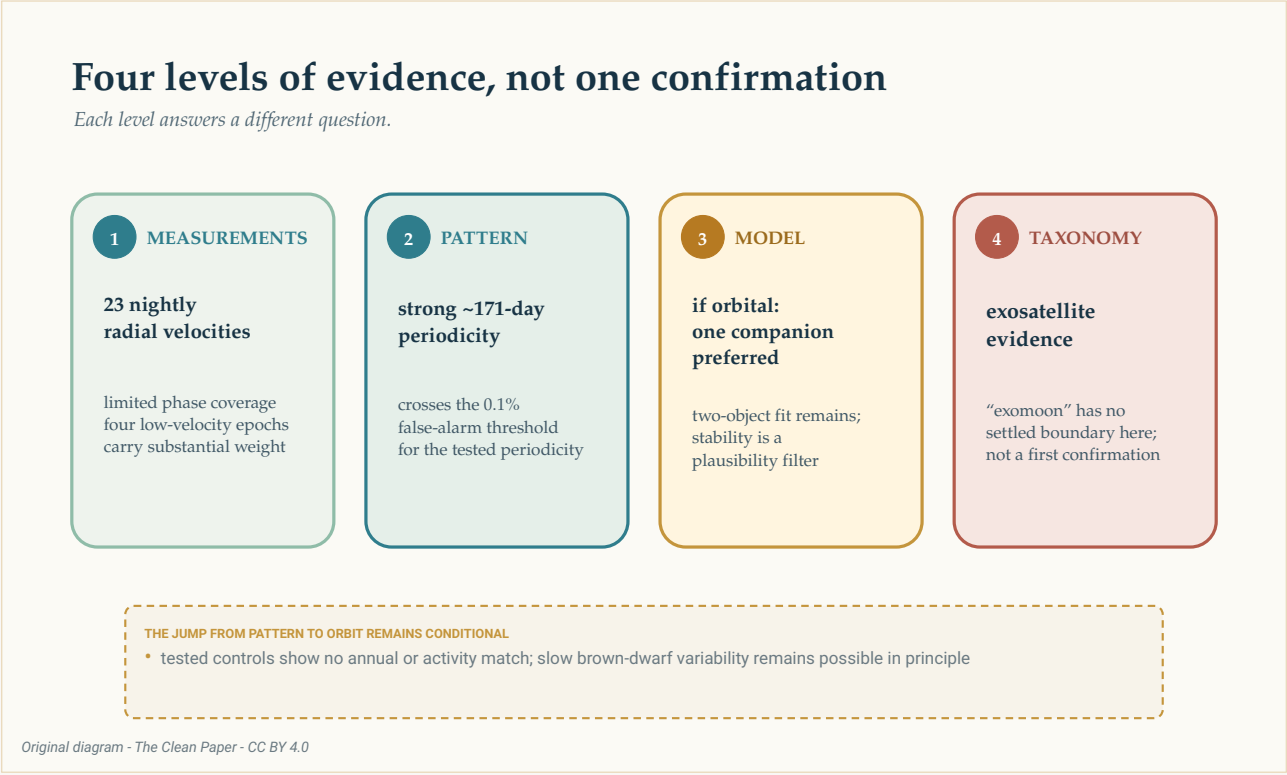
Dokonalá kruhová dráha vytváří jednoduchou opakující se vlnu radiální rychlosti. Excentrická dráha do ní přidává deformace. Dvě kruhové dráhy s periodami blízko poměru dvě ku jedné se mohou spojit tak, že jeden signál vytvoří hlavní rytmus a druhý podobnou deformaci.
Jde o **orbitální degeneraci**: různé fyzické systémy vytvářejí podobná měření. Další pozorování v časech, kdy modely předpovídají rozdílné rychlosti, mohou nerozhodnost odstranit. Dynamický test pomáhá otázkou, zda by navržený systém mohl přežít, ale tato pozorování nenahrazuje.

Mohl by rytmus pocházet z hnědého trpaslíka?

Hnědý trpaslík není tichá testovací hmota. Jeho atmosféra rotuje, vytváří oblaka a může vykazovat magnetickou aktivitu. Měnící se povrchové útvary mohou přetvářet spektrální čáry a napodobovat pohyb.

Odhadovaná maximální rotační perioda CD-35 2722 B je přibližně **0,65 dne**, mnohem kratší než 171 dní. Tým v testovaných modelech aktivity neobnovil silný krátký rotační signál ani přesvědčivý signál připomínající oblaka či granulaci. Zkoumal také roční vzorkování a přístrojové veličiny, aniž našel shodu se 171denním rytmem.

Tyto kontroly zužují alternativy, článek však netvrdí, že byla odstraněna veškerá vnitřní proměnlivost. Dlouhodobou magnetickou aktivitu nebo atmosférickou cirkulaci hnědého trpaslíka nelze principiálně vyloučit. Tato zbývající možnost patří vedle orbitálních modelů, ne skrytá za nimi.



Důkazy stoupají přes odlišné úrovně: 23 nočních radiálních rychlostí s omezeným pokrytím fází, silná periodicita přibližně 171 dní, upřednostňovaný model s jedním průvodcem, pokud je signál orbitální, a nakonec neustálené označení „exoměsíc“. Žebřík odděluje měření, statistický vzorec, fyzickou interpretaci a taxonomii; není šipkou potvrzení.

The Clean Paper CC BY 4.0

Je to exoměsíc?

Ve Sluneční soustavě měsíc obíhá planetu. CD-35 2722 B je hnědý trpaslík a skutečná hmotnost odvozeného průvodce zatím není známá. Známé názvy se začínají napínat, když jeden objekt leží poblíž hranice planeta–hnědý trpaslík a druhý poblíž hranice měsíc–planeta.

Článek netvrdí, že jde o první potvrzený exoměsíc. Uvádí, že dosud nebyl spolehlivě detekován žádný exoměsíc, předkládá důkazy pro **exosatelit** planetární hmotnosti a nazývá systém krokem směrem k nesporné detekci. Diskuse o možné novosti začíná podmíněně: pokud se signál ukáže jako skutečný.

Tato opatrnost výsledek nevyprazdňuje. Měřit radiální rychlosti přímo u slabého průvodce typu hnědého trpaslíka je obtížné. Pokud pokračující pozorování signál zachovají, systém by ukázal, že metody hledání planet mohou dosáhnout o další úroveň níže v nebeské hierarchii.

Další pozorovací sezona může udělat víc než jen přidat body. Modely s jedním a dvěma průvodci předpovídají v konkrétních budoucích časech rozdílné rychlosti. Měření, která zaplní chybějící orbitální fáze, mohou ověřit přetrvávání 171denního rytmu, snížit vliv čtyř nízkých bodů a nechat konkurenční křivky rozevřít.

Prozatím nejpoctivějším obrazem není nový měsíc visící vedle hnědého trpaslíka. Je jím spektrum, opakované noc za nocí, nesoucí malý periodický posun. Uvnitř rytmu může být svět. Úspěchem je zjistit, kolik lze odvodit, aniž bychom předstírali, že odvození je již úplné.

Stručné shrnutí

Astronomové změřili radiální rychlost přímo zobrazeného hnědého trpaslíka CD-35 2722 B během 23 kvalitních nocí mezi říjnem 2023 a únorem 2026. Jeho spektrální čáry vykazují silný periodický posun poblíž 171 dní. Upřednostňovaný orbitální model obsahuje jednoho excentrického průvodce s minimální hmotností kolem 0,92 hmotnosti Jupiteru, skutečná hmotnost je však neznámá, protože není znám sklon dráhy. Dva téměř kruhoví průvodci mohou stejný hrubý signál napodobit, většina testovaných konfigurací se dvěma objekty však byla dynamicky nestabilní. Čtyři epochy s nízkou rychlostí mají velký vliv a pokrytí orbitální fáze zůstává omezené: pozorování vzorkují jen vybrané části možného 171denního cyklu, nikoli nepřetržitě každou fázi. Testy neidentifikovaly rotaci, roční vzorkování, počasí ani zkoumané vlastnosti přístroje jako zdroj, dlouhodobou proměnlivost hnědého trpaslíka však nelze principiálně vyloučit. Neviditelný objekt nebyl přímo zobrazen, model s jedním objektem je upřednostňován, nikoli potvrzen, a neexistuje ustálené pravidlo, podle něhož by těleso planetární hmotnosti obíhající hnědého trpaslíka bylo exoměsícem.

Kontrola bez příkras

Co bylo pozorováno: Dvacet tři nočních měření radiální rychlosti CD-35 2722 B obsahuje silnou periodicitu přibližně 171 dní. Samotný hnědý trpaslík byl přímo zobrazen; navrhovaný průvodce

nikoli.

Co autoři upřednostňují: Pokud je signál orbitální, nejjednodušší dynamicky věrohodnou interpretaci současných dat poskytuje jeden excentrický průvodce s minimální hmotností blízkou Jupiteru.

Co zůstává otevřené: Radiální rychlosti mohou popsat dva průvodci, přestože testované systémy jsou obvykle nestabilní; dlouhodobá proměnlivost hnědého trpaslíka není principiálně vyloučena; a neznámý pozorovací úhel ponechává skutečnou hmotnost neurčenou.

Co článek neprokazuje: První potvrzený exoměsíc, přímo spatřený satelit, přesně jeden obíhající objekt, skutečnou hmotnost 0,92 hmotnosti Jupiteru ani 99,9% pravděpodobnost správnosti upřednostňovaného fyzického modelu.

Co by zvýšilo důvěru: Pokračující měření radiální rychlosti, která pokryjí více orbitálních fází, ověří přetrvávání 171denního signálu a budou provedena v časech, kdy modely s jedním a dvěma průvodci dávají odlišné předpovědi.

Zdroje

Hoy et al., Planetary-mass exosatellite detected around the substellar companion of a star, Nature 655, 865-869 (2026)
https://doi.org/10.1038/s41586-026-10751-w

Hoy et al., reduced data and analysis code for Nature_Hoy-2026
https://github.com/kevinmhoy/Nature_Hoy-2026