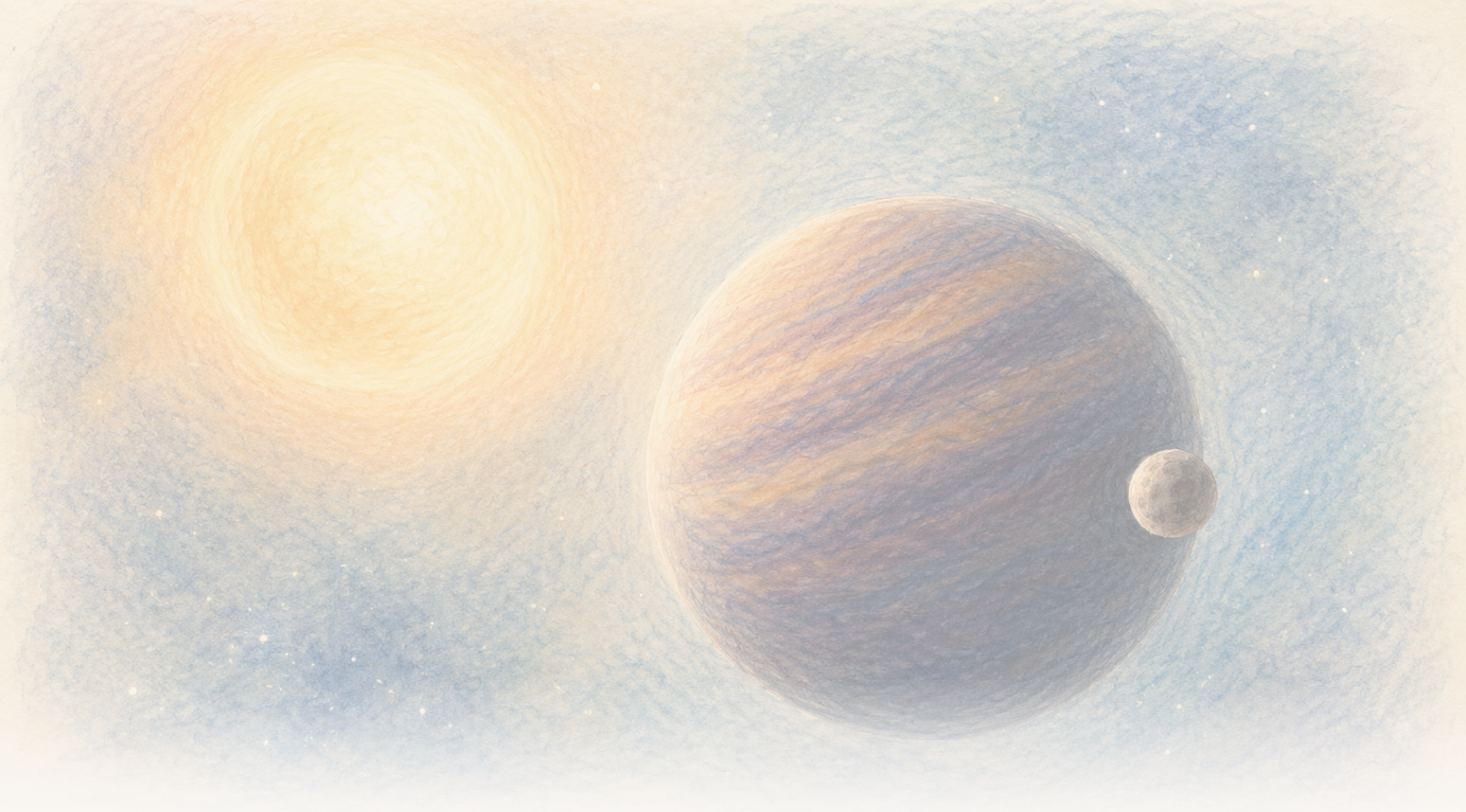


The Clean Paper

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

Hnedý trpaslík zrejme kmitá každých 171 dní. Môže ho ťahať jeden skrytý svet, no dáta stále pripúšťajú aj dva

Dvadsaťtri kvalitných spektier odhaľuje silný periodický posun pohybu CD-35 2722 B. Uprednostňovaný model obsahuje jedného excentrického sprievodcu s minimálnou hmotnosťou blízkou Jupiteru, ale rovnaký signál môže napodobniť model s dvoma objektmi, pomalá premenlivosť hnedého trpaslíka zostáva principiálne možná a výraz „exomesiac" tu nemá ustálenú hranicu.

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

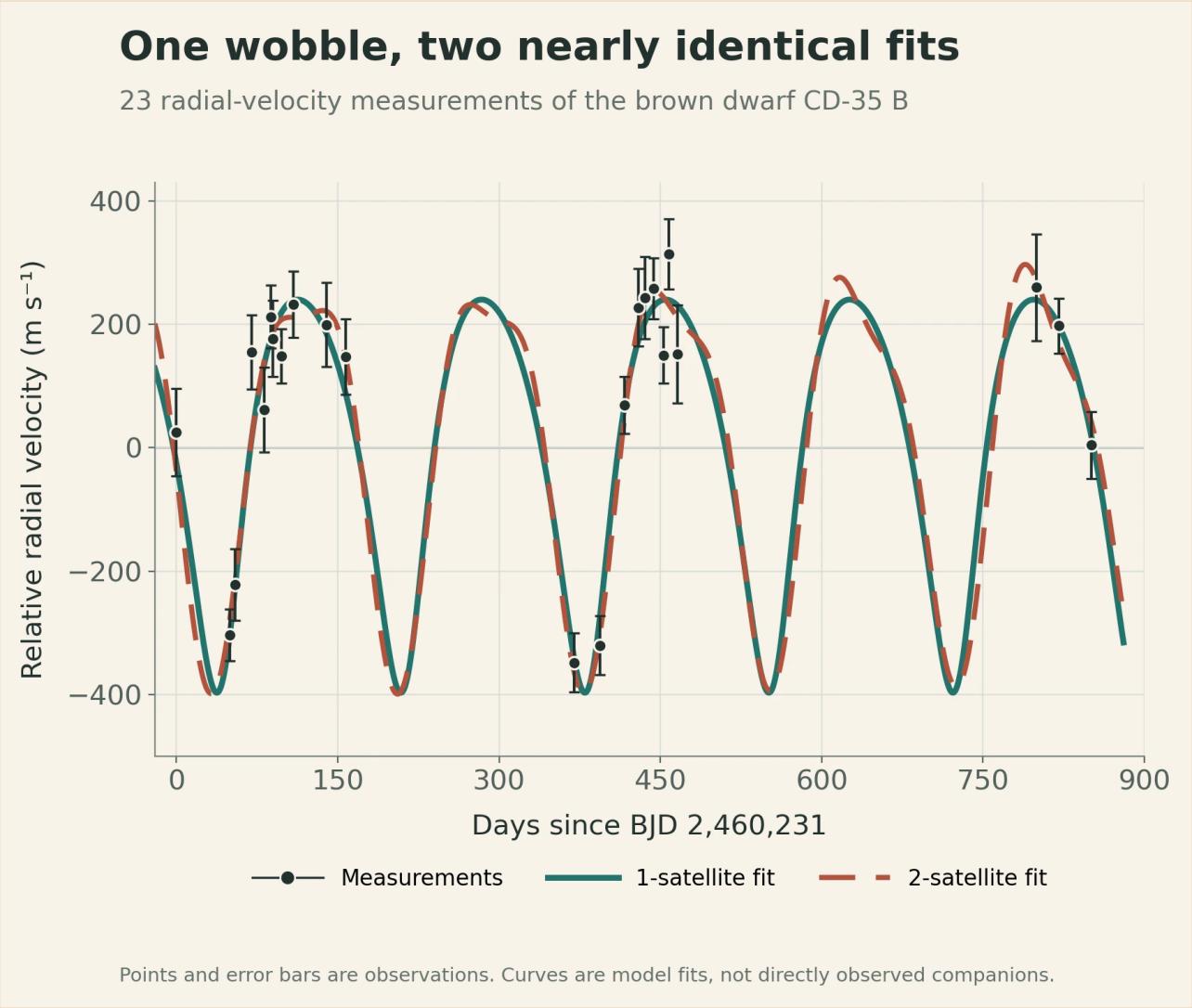
Hnedý trpaslík zrejme kmitá každých 171 dní. Môže ho ťahať jeden skrytý svet, no dáta stále pripúšťajú aj dva

Astronómovia dokážu CD-35 2722 B vidieť ako samostatný bod svetla oddelený od hviezdy, okolo ktorej sa pohybuje. Je to hnedý trpaslík v hmotnostnom pásme medzi obrovskými planétami a hviezdami: s približne 37 hmotnosťami Jupitera je hmotnejší než typická obria planéta, ale nie je bežnou hviezdou spaľujúcou vodík. Menší objekt, ktorý možno obieha okolo samotného hnedého trpaslíka, vidieť nedokážu. Ak by sa potvrdil, vytvoril by prvú pozorovanú hierarchiu satelitu okolo väčšieho substelárneho objektu, ktorý sám obieha hviezdu.

Namiesto objektu vidia rytmus. Počas niektorých nocí je svetlo hnedého trpaslíka mierne posunuté, keď sa pohybuje k Zemi. Počas iných nocí je posunuté opačne, keď sa vzďaľuje. Vzor sa opakuje približne každých **171 dní**.

Takýto pohyb tam a späť môže vytvárať neviditeľný sprievodca: keď dva objekty obiehajú spoločné ťažisko, menší obieha okolo väčšieho, no aj väčší vykonáva omnoho menší oblúk. Ak je rytmus orbitálny, nový článok v Nature predstavuje jeden objekt s planetárnou hmotnosťou ako uprednostňované vysvetlenie slučky nameranej pri CD-35 2722 B.

Je to pozoruhodná možnosť, nie fotografia mesiaca. Dvadsaťtri kvalitných pozorovacích nocí odhaľuje silný periodický signál. Premeniť tento signál na svet si vyžaduje model a súčasné dáta stále pripúšťajú viac než jednu architektúru. Zároveň úplne nevylučujú pomalé zmeny samotného hnedého trpaslíka.



Čierne body a chybové úsečky sú 23 nočných meraní radiálnej rýchlosti. Plná a prerušovaná krivka sú najlepšie modely s jedným a dvoma satelitmi. Ich takmer úplné prekrytie ukazuje, prečo dáta môžu odhaliť periodické kmitanie bez toho, aby už určili architektúru sústavy; ani jedna krivka nie je priamym obrazom sprievodcu.

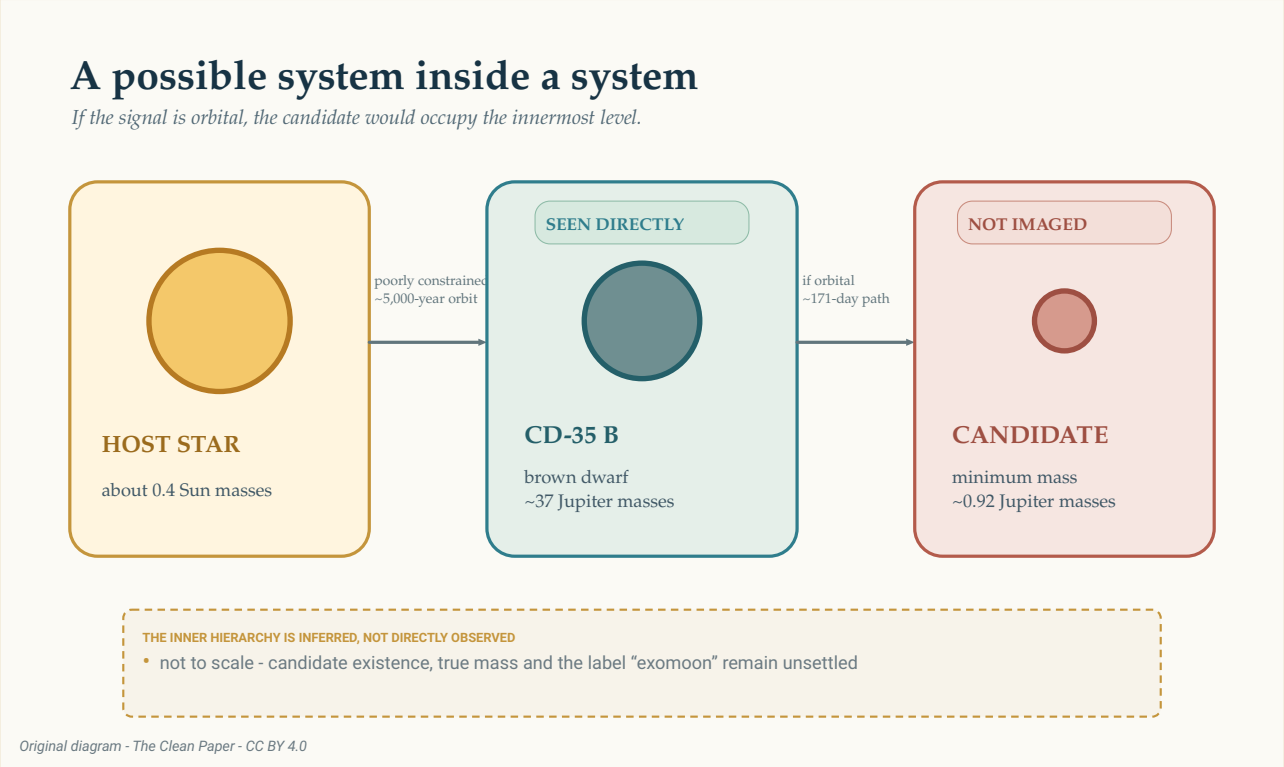
Original chart — The Clean Paper; data from Hoy et al., Nature (2026), Figure 1 source workbook CC BY 4.0

Sústava vo vnútri sústavy

CD-35 2722 B je **hnedý trpaslík**: objekt medzi známymi kategóriami. Je hmotnejší než typická obria planéta, ale nie natoľko, aby žiaril ako normálna hviezda spaľujúca vodík. Práca používa odhadovanú hmotnosť približne **37 Jupiterov**.

Hnedého trpaslíka objavili priamym zobrazením, teda ďalekohľady rozlíšili jeho svetlo oddelene od svetla hostiteľskej hviezdy. Na oblohe sa nachádza približne 2,8 oblúkovej sekundy od hviezdy. Široká dráha spájajúca dvojicu je slabo známa, ale súčasné odhady naznačujú veľmi pretiahnutú dráhu s obdobím približne **5 000 rokov**.

Ak je periodický signál orbitálny, odvodená architektúra by kandidáta umiestnila o jednu úroveň hlbšie: hviezda obiehaná hnedým trpaslíkom, ktorý je sám obiehaný sprievodcom s planetárnou hmotnosťou.



Ak je signál orbitálny, kandidát by ležal na najvnútornejšej úrovni tejto možnej hierarchie. Priamo pozorovaný bol iba hnedý trpaslík. Vonkajšia dráha okolo hviezdy je slabo určená, zatiaľ čo vnútorná dráha s obdobím približne 171 dní je odvodená z nameraného kmitania hnedého trpaslíka. Veľkosti a vzdialenosti nie sú v mierke.

The Clean Paper CC BY 4.0

Možná hierarchia sa ľahko kreslí. Jej fyzická realita aj slovník zostávajú neustálené. Je teleso s planetárnou hmotnosťou obiehajúce hnedého trpaslíka mesiacom, planétou alebo jednoducho satelitom? Astronómovia nemajú prijaté pravidlo, ktoré by otázku rozhodlo. Článok preto používa širší výraz **exosatelit**.

Ako sa z 23 nocí stalo kmitanie

Tím pozoroval CD-35 2722 B — pozri jeho záznam v NASA Eyes on Exoplanets — pomocou CRIRES+, vysokorozlišovacieho spektrografu na Very Large Telescope Európskeho južného observatória. Od októbra 2023 do februára 2026 získal 26 pozorovacích epoch. Jedna mala príliš slabý signál a dve zaznamenané počas zlého počasia boli odmietnuté a zopakované, takže zostalo **23 kvalitných nocí**.

Spektrograf rozkladá svetlo na podrobný vzor čiar. Keď sa zdroj pohybuje k Zemi alebo od nej, čiary sa nepatrne posunú. Opakované merania tohto pohybu pozdĺž zorného smeru sa nazývajú **radiálne rýchlosti**. Nezobrazujú skryté teleso. Ukazujú, ako sa pozorovaný objekt môže pohybovať

pod vplyvom neviditeľného ťahu.

Najsilnejšia periodicita v meraniach leží blízko 170 dní. Prekračuje **hranicu pravdepodobnosti falošného poplachu 0,1 %** použitú v štúdii. Táto hranica sa pýta, ako často by šum pri predpokladoch testu vytvoril v periodograme vrchol aspoň takej sily. Nie je to 99,9-percentná pravdepodobnosť existencie satelitu a sama osebe nehovorí, či je sprievodca jeden alebo dvaja.

> **Čo môže stanoviť signál radiálnej rýchlosti?**
>
> Radiálna rýchlosť premieňa opakované posuny spektrálnych čiar na merania pohybu k pozorovateľovi a od neho. Opakujúci sa vzor možno prispôsobiť rovnicami dráhy a odvodiť z neho periódu, veľkosť kmitania pozorovaného objektu a minimálnu hmotnosť sprievodcu. Metóda však sprievodcu priamo nefotografuje. Atmosféra hviezdy alebo substelárneho objektu môže tiež posúvať spektrálne čiary, harmonogram pozorovaní môže vytvoriť zavádzajúce rytmy a rozličné orbitálne usporiadania sa môžu navzájom napodobniť. Signál, jeho fyzikálne vysvetlenie a názov odvodeného objektu sú tri samostatné otázky.

Pred orbitálnou odpoveďou si pozornosť zaslúži vzorkovanie. Štyri obzvlášť nízke merania radiálnej rýchlosti majú vo vzore značnú váhu. Vyskytli sa v dvoch dvojiciach za uvádzaných dobrých podmienok a žiadny jediný bod nevytvoril signál sám, keď autori analýzu opakovali s postupným vynechávaním jednotlivých meraní. Napriek tomu bola pozorovaná iba časť možných orbitálnych fáz. Dvadsaťtri nocí rozložených počas viac než dvoch rokov nie je nepretržité pokrytie.

Autori skúmali aj možný polročný artefakt. Nedokonalá korekcia meniaceho sa pohybu Zeme alebo profilu prístroja by mohla vytvoriť falošný ročný signál, ktorý by vzorkovanie aliasovalo na polovicu pozemského roka, teda **182,5 dňa**. Uprednostňovaná perióda je **171,11 dňa** s neistotou +0,53/-0,36 dňa; autori uvádzajú rozdiel približne 20 smerodajných odchýlok od 182,5 dňa. Neuvádzajú ani koreláciu so zmenami pohybu Zeme, kvalitou obrazu, atmosférickou vodnou parou alebo skúmanými vlastnosťami prístroja. Sú to dôležité kontroly. Orbitálne vysvetlenie robia dostatočne presvedčivým na modelovanie, ale samy objekt neurčujú.

Najjednoduchšia orbitálna odpoveď: jeden sprievodca

V uprednostňovanom modeli obieha jeden objekt po excentrickej, teda mierne pretiahnutej dráhe okolo hnedého trpaslíka každých 171,11 dňa. Prispôsobená dráha má excentricitu približne **0,27** a veľkú polos približne **0,200 astronomickej jednotky** — asi pätinu priemernej vzdialenosti Zeme od Slnka.

Namerané kmitanie má amplitúdu približne **318 metrov za sekundu**. Model z tohto pohybu odvodzuje minimálnu hmotnosť sprievodcu približne **0,92 hmotnosti Jupitera**.

Slovo *minimálna* je podstatné. Radiálna rýchlosť meria iba časť orbitálneho pohybu smerujúcu k nám a od nás. Ak dráhu vidíme zboku, väčšina pohybu sa premieta do tohto smeru. Ak ju vidíme viac zhora, veľká časť pohybu prebieha naprieč oblohou a na vytvorenie rovnakého nameraného kmitania by bol

potrebný hmotnejší sprievodca.

Astronómovia výsledok zapisujú ako **m sin(i)**: hmotnosť vynásobená sínusom neznámeho sklonu dráhy, teda pozorovacieho uhla. Dáta obmedzujú tento súčin, nie skutočnú hmotnosť samotnú. Približne 0,92 hmotnosti Jupitera je preto dolná hranica, nie presné meranie hmotnosti objektu.

> **Prečo pozorovací uhol skrýva hmotnosť?**
>
> Predstavte si kruhovú bežeckú dráhu zboku. Bežec sa opakovane pohybuje k vám a od vás, takže túto zložku pohybu ľahko zmeriate. Teraz sa na rovnakú dráhu pozrite zhora. Bežec sa pohybuje najmä naprieč vaším zorným poľom a takmer vôbec k vám alebo od vás.
> Radiálna rýchlosť vidí iba prvú zložku. Matematický faktor `sin(i)` opisuje, aká časť orbitálneho pohybu smeruje pozdĺž nášho zorného smeru. Kým nie je známy sklon `i`, odvodená hmotnosť zostáva minimom.

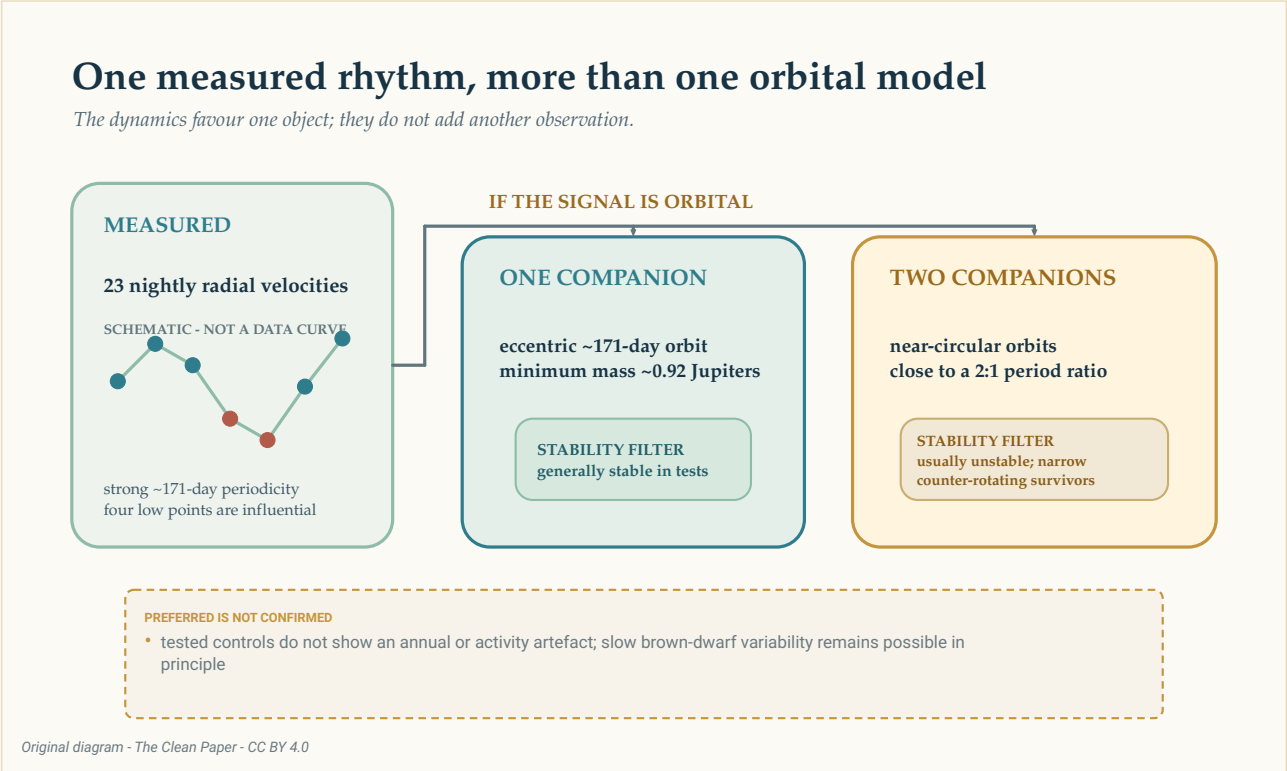
Autori sa potom pýtali, či by dráha mohla pretrvať a rýchlo sa nezničiť. Ich numerické testy zistili, že model s jedným sprievodcom je vo všeobecnosti stabilný. To z neho robí fyzikálne vierohodnú interpretáciu signálu. Nejde však o druhú detekciu.

Nepríjemná odpoveď: dvaja sprievodcovia môžu napodobniť jedného

Excentrický signál radiálnej rýchlosti má známu nejednoznačnosť. Za určitých podmienok môžu dva objekty na takmer kruhových dráhach, pričom jeden obeh trvá približne dvakrát dlhšie než druhý, vytvoriť spoločný vzor podobný jednému objektu na pretiahnutej dráhe.

Táto nejednoznačnosť sa objavuje aj tu. Model s dvoma sprievodcami dokáže prispôsobiť súčasné merania s vonkajším signálom blízko 171 dní a kratším vnútorným signálom. Keďže časy pozorovania nevzorkujú každú fázu rovnomerne, kratší signál má viacero aliasov. Dvadsaťtri vybraných nocí zanecháva dlhé medzery, takže rozličné skúšobné periódy môžu medzi návštevami obsahovať rozdielny počet nepozorovaných cyklov a napriek tomu sa zhodovať s rovnakými meraniami. Kandidátske periódy blízko 14, 70, 88 a 115 dní sú preto alternatívne prispôsobenia jedného slabo vzorkovaného kratšieho signálu, nie štyri nezávisle zistené rytmy.

Autori odmietajú slabo určené okno 13 až 17 dní. Prispôsobenie v ňom neizoluje jedinú presvedčivú periódu: nízku kadenciu dokáže napodobniť množstvo tesne susediacich riešení pod približne 20 dní, takže celé okno je pravdepodobne artefaktom vzorkovania. Spomedzi zostávajúcich okien sa približne 88-dňové riešenie prispôsobuje lepšie než alternatívy okolo 70 a 115 dní, ale nie natoľko, aby článok tvrdil, že druhá perióda je známa. V tabuľkovom najlepšom prispôsobení má vonkajší objekt minimálnu hmotnosť približne 0,87 Jupitera a vnútorný približne 0,22 Jupitera. Tieto čísla opisujú znevýhodnený model; nie sú meraniami dvoch potvrdených svetov.



Ak je približne 171-dňový signál orbitálny, rovnaký všeobecný vzor radiálnej rýchlosti možno opísať jedným excentrickým sprievodcom alebo dvoma takmer kruhovými sprievodcami s pomerom periód blízkym dva ku jednej. Testy stability zvýhodňujú interpretáciu s jedným objektom, ale nemenia model na obraz ani nevylučujú všetky formy pomalej premenlivosti hnedého trpaslíka.

The Clean Paper CC BY 4.0

Výpočty stability porovnanie spresňujú. Väčšina skúšaných usporiadaní s dvoma sprievodcami vyhodila jeden objekt zo sústavy počas niekoľkých stoviek simulovaných rokov. Prežívajúce konfigurácie ležali v úzkej a nezvyčajnej oblasti, kde boli dráhy takmer v rovnakej rovine, ale objekty sa pohybovali opačnými smermi. Hostiteľská hviezda pridávala ďalšie nestabilné oblasti.

Je to dôvod uprednostniť jedného excentrického sprievodcu pred skúšanými dvojobjektovými sústavami. Nie je to dôkaz, že príroda zvolila jednoduchší model. Stabilita filtruje možné interpretácie po zmeraní radiálnych rýchlostí; nepridáva do krivky ďalší pozorovaný bod.

Ako môže jedna excentrická dráha vyzerať ako dve kruhové?

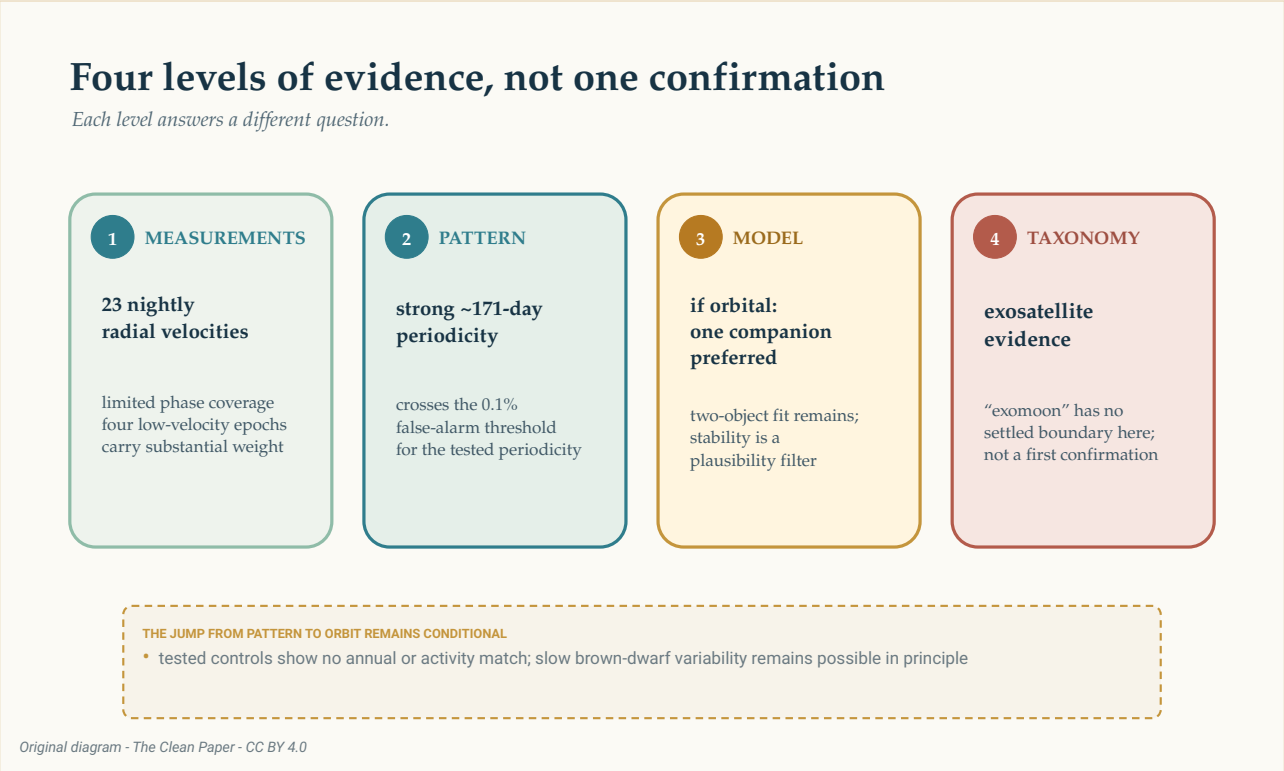
Dokonalá kruhová dráha vytvára jednoduchú opakujúcu sa vlnu radiálnej rýchlosti. Excentrická dráha pridáva do vlny deformácie. Dve kruhové dráhy s periódami v pomere blízkom dva ku jednej sa môžu spojiť tak, že jeden signál poskytne hlavný rytmus a druhý podobnú deformáciu.
Ide o **orbitálnu degeneráciu**: rozličné fyzikálne sústavy vytvárajú podobné merania. Ďalšie pozorovania v časoch, keď modely predpovedajú rozdielne rýchlosti, môžu rozhodnúť. Dynamický test pomáha otázkou, či by každý navrhnutý systém mohol prežiť, ale pozorovania nenahradí.

Mohol by rytmus pochádzať zo samotného hnedého trpaslíka?

Hnedý trpaslík nie je nemenné testovacie teleso. Jeho atmosféra rotuje, vytvára oblaky a môže mať magnetickú aktivitu. Meniace sa povrchové štruktúry môžu deformovať spektrálne čiary a napodobniť pohyb.

Odhadovaná maximálna rotačná perióda CD-35 2722 B je približne **0,65 dňa**, omnoho kratšia než 171 dní. Tím v testovaných modeloch aktivity nenašiel silný krátky rotačný signál ani presvedčivý signál podobný oblačnosti či granulácii. Skúmal aj ročné vzorkovanie a prístrojové veličiny bez zhody so 171-dňovým rytmom.

Tieto kontroly zužujú alternatívy, ale článok netvrdí, že odstránil všetku vnútornú premenlivosť. Dlhodobú magnetickú aktivitu alebo atmosférickú cirkuláciu v hnedom trpaslíkovi nemožno principiálne vylúčiť. Táto zostávajúca možnosť patrí vedľa orbitálnych modelov, nie ukrytá za nimi.



Dôkazy stúpajú po oddelených úrovniach: 23 nočných radiálnych rýchlostí s obmedzeným pokrytím fázy, silná približne 171-dňová periodicita, uprednostnený model s jedným sprievodcom za predpokladu orbitálneho signálu a napokon neustálené označenie „exomesiac“. Rebrík oddeľuje meranie, štatistický vzor, fyzikálnu interpretáciu a taxonómiu; nie je šípkou potvrdenia.

The Clean Paper CC BY 4.0

Je to exomesiac?

V Slnečnej sústave obieha mesiac planétu. CD-35 2722 B je hnedý trpaslík a skutočná hmotnosť odvodeného sprievodcu zatiaľ nie je známa. Známe názvy sa začínajú napínať, keď jeden objekt leží pri hranici planéty a hnedého trpaslíka a druhý pri hranici mesiaca a planéty.

Článok netvrdí, že ide o prvý potvrdený exomesiac. Uvádza, že zatiaľ nebol spoľahlivo zistený žiadny exomesiac, predstavuje dôkazy o **exosatelite** s planetárnou hmotnosťou a nazýva sústavu krokom k nepochybnej detekcii. Diskusia o možnom prvenstve sa začína podmienene: ak sa ukáže, že signál je skutočný.

Táto opatrnosť nerobí výsledok prázdnym. Priame meranie radiálnych rýchlostí slabého sprievodného hnedého trpaslíka je náročné. Ak ďalšie pozorovania signál zachovajú, sústava ukáže, že metódy hľadania planét dokážu zostúpiť o ďalšiu úroveň nebeskej hierarchie.

Ďalšia pozorovacia sezóna môže urobiť viac než pridať body. Model s jedným a dvoma sprievodcami predpovedá v určitých budúcich časoch rozdielne rýchlosti. Merania vypĺňajúce chýbajúce orbitálne fázy môžu overiť pretrvanie 171-dňového rytmu, znížiť vplyv štyroch nízkych bodov a nechať konkurenčné krivky rozísť sa.

Najpoctivejším obrazom zatiaľ nie je nový mesiac visiaci vedľa hnedého trpaslíka. Je ním spektrum opakované noc čo noc, ktoré nesie malý periodický posun. V tomto rytme môže byť svet. Úspech spočíva v tom, koľko z neho možno odvodiť bez predstierania, že odvodenie je už úplné.

Stručné zhrnutie

Astronómovia zmerali radiálnu rýchlosť priamo zobrazeného hnedého trpaslíka CD-35 2722 B počas 23 kvalitných nocí od októbra 2023 do februára 2026. Jeho spektrálne čiary vykazujú silný periodický posun blízko 171 dní. Uprednostnený orbitálny model obsahuje jedného excentrického sprievodcu s minimálnou hmotnosťou približne 0,92 Jupitera, ale skutočná hmotnosť nie je známa, pretože nie je známy sklon dráhy. Rovnaký všeobecný signál môžu napodobniť dvaja takmer kruhoví sprievodcovia, hoci väčšina skúšaných dvojobjektových konfigurácií bola dynamicky nestabilná. Štyri epochy nízkej rýchlosti sú vplyvné a pokrytie orbitálnej fázy zostáva obmedzené: pozorovania vzorkujú iba vybrané časti možného 171-dňového cyklu, nie jeho celý priebeh. Testy neurčili rotáciu, ročné vzorkovanie, počasie ani skúmané prístrojové vlastnosti ako zdroj signálu, no dlhodobú premenlivosť hnedého trpaslíka nemožno principiálne vylúčiť. Neviditeľný objekt nebol priamo zobrazený, model s jedným objektom je uprednostnený, nie potvrdený, a neexistuje ustálené pravidlo, podľa ktorého by teleso s planetárnou hmotnosťou obiehajúce hnedého trpaslíka bolo exomesiacom.

Kontrola bez príkras

Čo bolo pozorované: Dvadsaťtri nočných meraní radiálnej rýchlosti CD-35 2722 B obsahuje silnú periodicitu približne 171 dní. Samotný hnedý trpaslík bol priamo zobrazený; navrhovaný sprievodca nie.

Čomu dávajú autori prednosť: Ak je signál orbitálny, najjednoduchším dynamicky vierohodným vysvetlením súčasných dát je jeden excentrický sprievodca s minimálnou hmotnosťou blízkou Jupiteru.

Čo zostáva otvorené: Radiálne rýchlosti dokážu opísať aj dvaja sprievodcovia, hoci skúšané sústavy sú zvyčajne nestabilné; dlhodobá premenlivosť hnedého trpaslíka nie je principiálne vylúčená; a neznámy pozorovací uhol ponecháva skutočnú hmotnosť sprievodcu neurčenú.

Čo práca nestanovuje: Prvý potvrdený exomesiac, priamo videný satelit, presne jeden obiehajúci objekt, skutočnú hmotnosť 0,92 Jupitera ani 99,9-percentnú pravdepodobnosť správnosti uprednostneného fyzikálneho modelu.

Čo by zvýšilo dôveru: Pokračujúce merania radiálnej rýchlosti pokrývajúce viac orbitálnych fáz, overujúce pretrvanie 171-dňového signálu a vzorkujúce časy, v ktorých modely s jedným a dvoma sprievodcami poskytujú rozdielne predpovede.

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