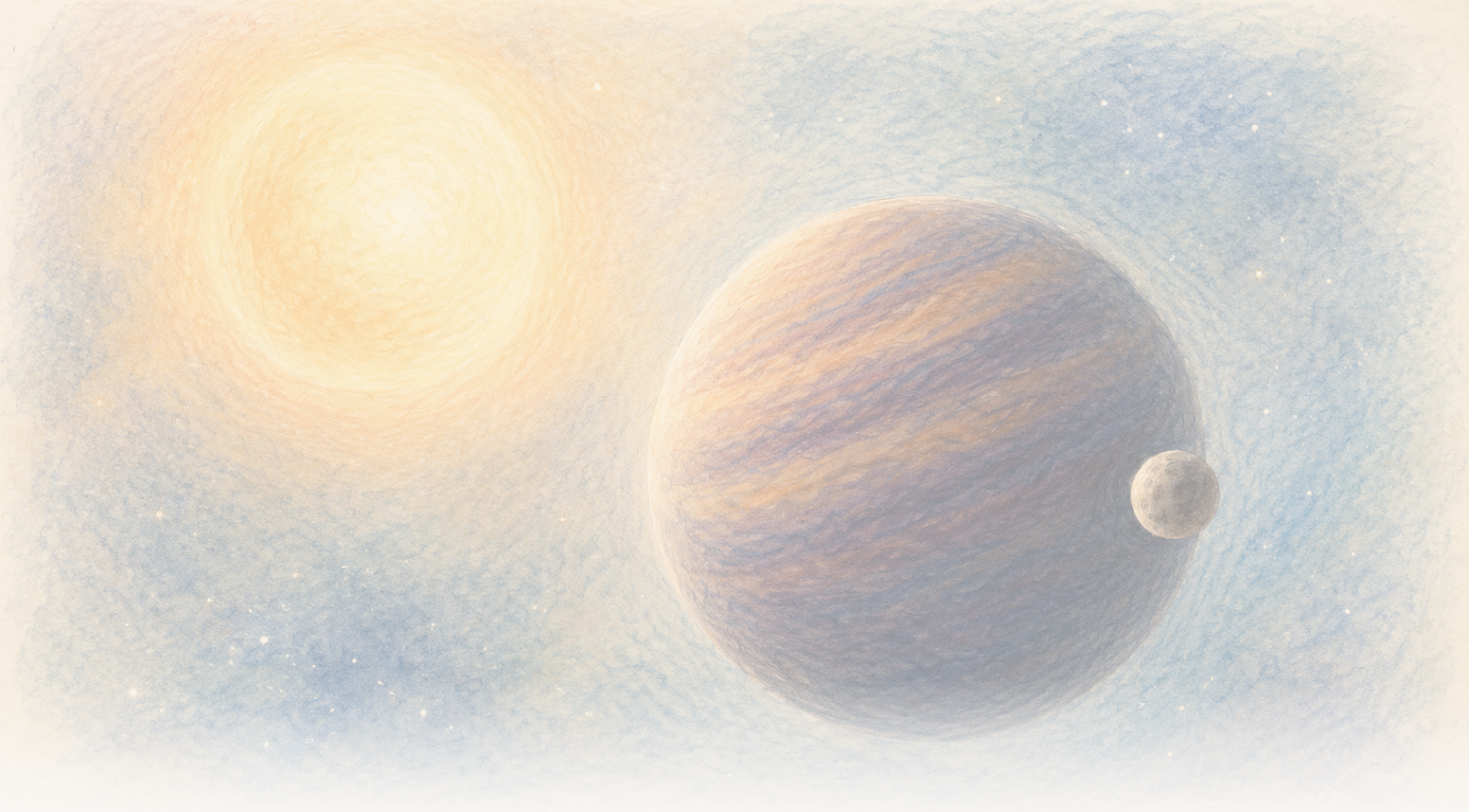


The Clean Paper

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

Čini se da smeđi patuljak poskakuje svakih 171 dan. Možda ga vuče jedan skriveni svijet, ali podaci još dopuštaju dva

Dvadeset i tri visokokvalitetna spektra otkrivaju snažan periodični pomak u gibanju CD-35 2722 B. Preferirani model ima jednog ekscentričnog pratioca s minimalnom masom blizu Jupiterove, ali model s dva objekta može oponašati isti signal, spora promjenjivost smeđeg patuljka načelno ostaje moguća, a riječ 'egzomjesec' ovdje nema ustaljenu granicu.

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

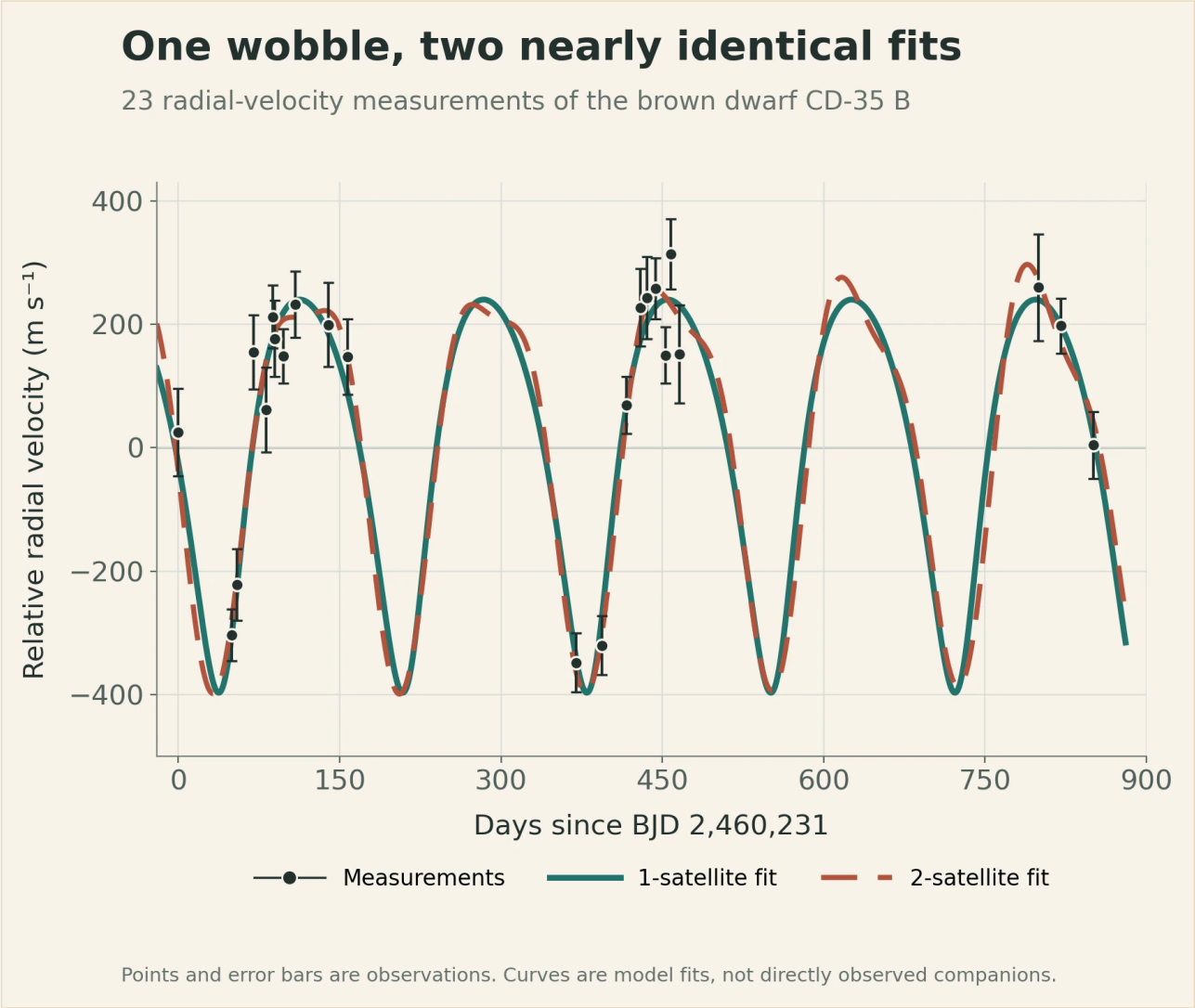
Čini se da smeđi patuljak poskakuje svakih 171 dan. Možda ga vuče jedan skriveni svijet, ali podaci još dopuštaju dva

Astronomi mogu vidjeti CD-35 2722 B kao zasebnu točku svjetlosti, odvojenu od zvijezde oko koje kruži. To je smeđi patuljak, objekt mase između divovskih planeta i zvijezda: s približno 37 masa Jupitera masivniji je od tipičnog divovskog planeta, ali nije obična zvijezda koja sagorijeva vodik. Ne mogu vidjeti manji objekt koji možda kruži oko samog smeđeg patuljka. Ako se potvrdi, taj bi najunutarnji objekt učinio ovaj sustav prvom opaženom hijerarhijom satelita oko većeg podzvjezdanog objekta koji i sam kruži oko zvijezde.

Umjesto toga vide ritam. Nekih noći svjetlost smeđeg patuljka malo je pomaknuta dok se kreće prema Zemlji. Drugih je pomaknuta dok se smeđi patuljak udaljava. Uzorak se ponavlja otprilike svakih **171 dan**.

Takvo gibanje naprijed-natrag može proizvesti nevidljivi pratilac: dok dva objekta kruže oko zajedničkog središta mase, manji putuje oko većega, ali i veći opisuje mnogo manju petlju. Ako je ovaj ritam orbitalan, novi rad u Natureu predstavlja jedan objekt planetarne mase kao preferirano objašnjenje petlje izmjerene oko CD-35 2722 B.

To je izvanredna mogućnost, a ne fotografija mjeseca. Dvadeset i tri visokokvalitetne noći promatranja otkrivaju snažan periodični signal. Pretvaranje tog signala u svijet zahtijeva model, a trenutačni podaci još dopuštaju više od jedne arhitekture. Također ne isključuju u potpunosti spore promjene u samom smeđem patuljku.



Crne točke i granice pogreške 23 su noćna mjerenja radijalne brzine. Puna i isprekidana krivulja najbolji su modeli s jednim odnosno dvama satelitima. Njihovo gotovo potpuno preklapanje pokazuje zašto podaci mogu otkriti periodično poskakivanje, a da još ne određuju arhitekturu sustava; nijedna krivulja nije izravna slika pratioca.

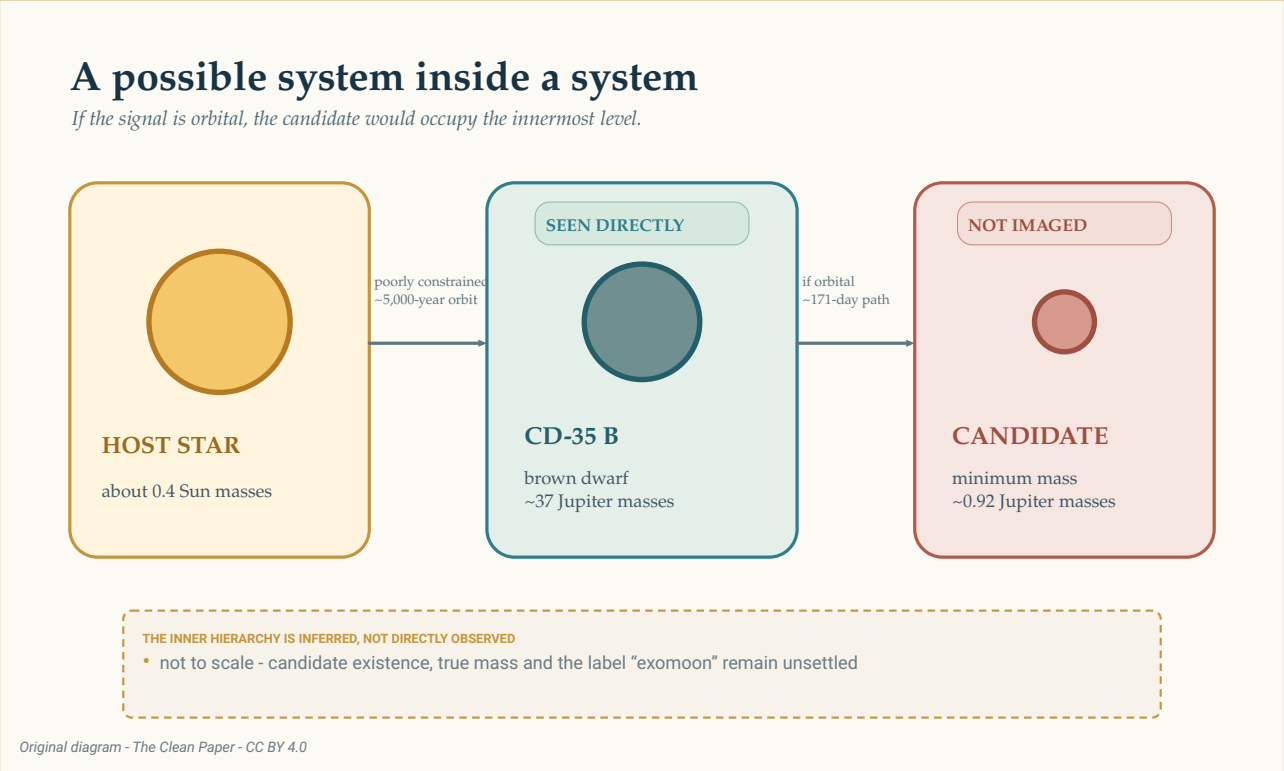
Original chart — The Clean Paper; data from Hoy et al., Nature (2026), Figure 1 source workbook CC BY 4.0

Sustav unutar sustava

CD-35 2722 B je **smeđi patuljak**: objekt između poznatih kategorija. Masivniji je od tipičnog divovskog planeta, ali nema dovoljno mase da sjaji kao obična zvijezda koja sagorijeva vodik. Rad koristi procijenjenu masu od oko **37 Jupitera**.

Smeđi patuljak otkriven je izravnim snimanjem, što znači da su teleskopi razlučili njegovu svjetlost od svjetlosti matične zvijezde. Na nebu se nalazi oko 2,8 lučnih sekundi od zvijezde. Široka orbita koja ih povezuje slabo je poznata, ali trenutačne procjene upućuju na vrlo izduženu putanju koja traje približno **5.000 godina**.

Ako je periodični signal orbitalan, zaključena arhitektura postavila bi kandidata jednu razinu dublje: zvijezdu oko koje kruži smeđi patuljak, oko kojeg pak kruži pratilac planetarne mase.



Ako je signal orbitalan, kandidat bi zauzimao najunutarniju razinu ove moguće hijerarhije. Samo je smeđi patuljak izravno viđen. Vanjska orbita oko zvijezde slabo je ograničena, dok je unutarnja putanja od približno 171 dan izvedena iz izmjerenog poskakivanja smeđeg patuljka. Veličine i udaljenosti nisu u mjerilu.

The Clean Paper CC BY 4.0

Tu je moguću hijerarhiju lako nacrtati. Njezina fizička stvarnost i nazivlje nisu riješeni. Računa li se tijelo planetarne mase koje kruži oko smeđeg patuljka kao mjesec, planet ili jednostavno satelit? Astronomi nemaju prihvaćeno pravilo koje to rješava. Rad zato koristi širi izraz **egzosatelit**.

Kako su 23 noći postale poskakivanje

Tim je promatrao CD-35 2722 B (pogledajte njegov unos u NASA Eyes on Exoplanets) instrumentom CRIRES+, spektrografom visoke rezolucije na Vrlo velikom teleskopu Europskog južnog opservatorija. Između listopada 2023. i veljače 2026. prikupili su 26 epoha promatranja. Jedna je imala premalo signala, a dvije snimljene po lošem vremenu odbačene su i ponovljene, pa su ostale **23 visokokvalitetne noći**.

Spektrograf razlaže svjetlost u detaljan uzorak linija. Kada se izvor kreće prema Zemlji ili od nje, te se linije vrlo malo pomiču. Ponovljena mjerenja tog gibanja duž vidne linije zovu se **radijalne brzine**. Ona ne prikazuju skriveno tijelo. Prikazuju kako se opažano tijelo možda giba pod nevidljivim gravitacijskim povlačenjem.

Najjača periodičnost u mjerenjima nalazi se blizu 170 dana. Prelazi **prag vjerojatnosti lažnog alarma od 0,1%** u studiji. Taj prag pita koliko bi često šum, uz pretpostavke testa, proizveo vrh periodograma barem ovoliko jak. Nije riječ o 99,9% vjerojatnosti da satelit postoji i sam po sebi ne govori ništa o tome postoji li jedan pratilac ili dva.

> **Što signal radijalne brzine može utvrditi?**
>
> Radijalna brzina pretvara ponovljene pomake spektralnih linija u mjerenja gibanja prema promatraču i od njega. Ponavljajući obrazac može se prilagoditi orbitalnim jednadžbama, omogućujući istraživačima da zaključe period, veličinu izmjerenog poskakivanja i minimalnu masu pratioca.
> Ali metoda ne fotografira pratioca izravno. Zvjezdana ili podzvjezdana atmosfera također može pomicati spektralne linije, raspored promatranja može stvoriti lažne ritmove, a različiti orbitalni rasporedi mogu oponašati jedni druge. Signal, njegovo fizičko objašnjenje i naziv dan zaključenu objektu odvojena su pitanja.

Prije orbitalnog odgovora vrijedi obratiti pozornost na uzorkovanje. Četiri osobito niska mjerenja radijalne brzine imaju znatan utjecaj na obrazac. Dogodila su se u dvama parovima, uz dobre prijavljene uvjete, i nijedno samo nije stvorilo signal kada su autori ponovili analizu uklanjajući jednu točku po jednu. Ipak, uzorkovan je samo dio mogućih orbitalnih faza. Dvadeset i tri noći raspoređene kroz više od dvije godine nisu isto što i kontinuirana pokrivenost.

Autori su također testirali mogući polugodišnji artefakt. Nesavršen ispravak Zemljina promjenjivog gibanja ili profila instrumenta mogao bi stvoriti lažni godišnji signal koji uzorkovanje preslikava na pola Zemljine godine, odnosno **182,5 dana**. Njihov preferirani period iznosi **171,11 dana**, s nesigurnošću +0,53/-0,36 dana; autori navode da je to oko 20 standardnih devijacija od 182,5 dana. Također ne nalaze korelaciju sa Zemljinim promjenjivim gibanjem, seeingom, atmosferskom vodenom parom ili svojstvima instrumenta koja su ispitali. To su važne kontrole. Čine orbitalno objašnjenje dovoljno uvjerljivim za modeliranje, ali same ne identificiraju objekt.

Najjednostavniji orbitalni odgovor: jedan pratilac

U preferiranom modelu jedan objekt slijedi ekscentričnu, odnosno donekle izduženu orbitu oko smeđeg patuljka svakih 171,11 dana. Prilagođena orbita ima ekscentricitet oko **0,27** i veliku poluos oko **0,200 astronomskih jedinica** — otprilike jednu petinu prosječne udaljenosti Zemlje od Sunca.

Izmjereno poskakivanje ima amplitudu oko **318 metara u sekundi**. Iz tog gibanja model daje pratiocu minimalnu masu od oko **0,92 Jupiterove mase**.

Riječ *minimalna* je važna. Radijalna brzina mjeri samo dio orbitalnog gibanja usmjeren prema nama i od nas. Ako orbitu gledamo s boka, većina se gibanja projicira na tu liniju. Ako je gledamo više odozgo, mnogo gibanja prelazi preko neba, pa bi za isto izmjereno poskakivanje bio potreban masivniji pratilac.

Astronomi rezultat zapisuju kao **m sin(i)**: masa pomnožena sa sinusom nepoznate inklinacije orbite, odnosno kuta gledanja. Podaci ograničavaju taj umnožak, a ne samu pravu masu. Oko 0,92 Jupiterove mase zato je donja granica, ne mjerenje točne mase objekta.

> **Zašto kut gledanja skriva masu?**
>
> Zamislite da kružnu stazu gledate sa strane. Trkač se stalno kreće prema vama i od vas, pa je tu komponentu gibanja lako izmjeriti. Sada gledajte istu stazu odozgo. Trkač se uglavnom pomiče preko vašeg vidnog polja, a gotovo nimalo prema vama ili od vas.
> Radijalna brzina vidi samo prvu komponentu. Matematički faktor `sin(i)` opisuje koliko orbitalnog gibanja pokazuje duž naše vidne linije. Dok inklinacija `i` nije poznata, izvedena masa ostaje minimalna.

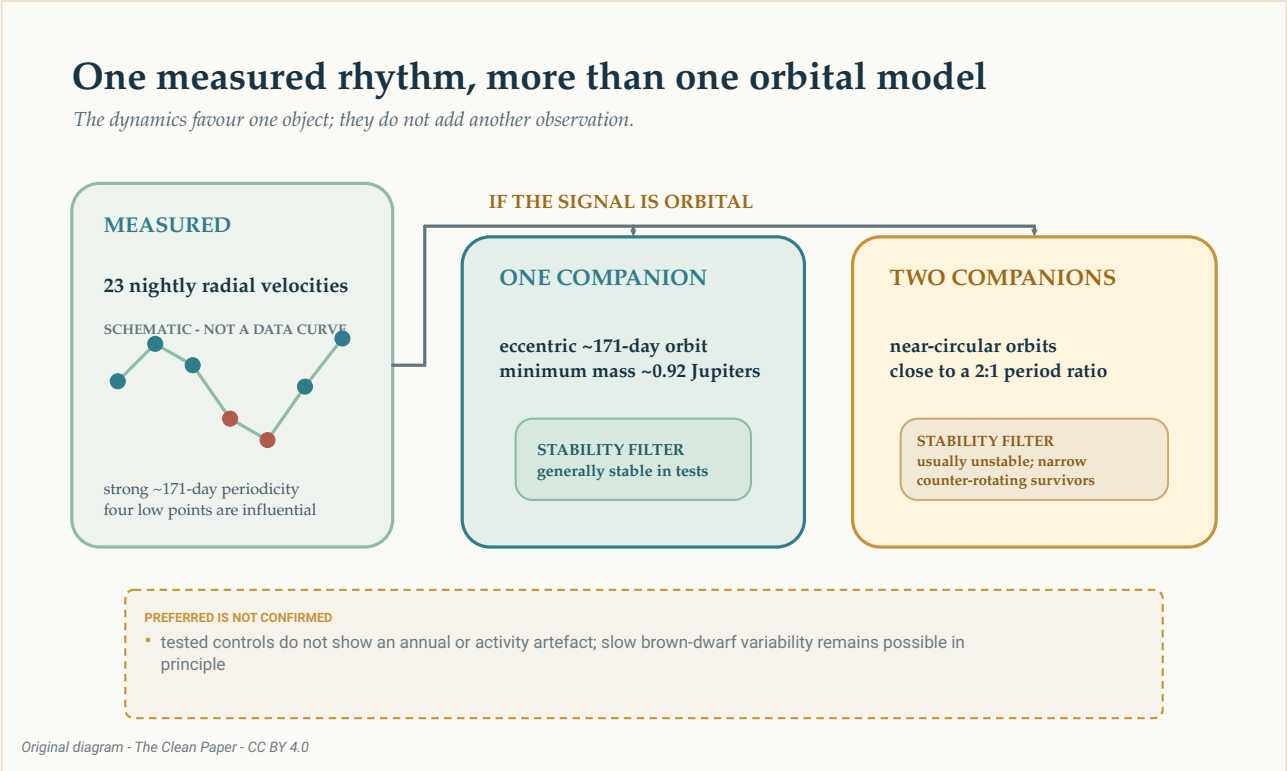
Autori su zatim pitali može li ta orbita opstati, a ne brzo se raspasti. Njihovi numerički testovi pronašli su da je model s jednim pratiocem uglavnom stabilan. To ga čini fizički plausibilnim tumačenjem signala. Ne čini ga drugom detekcijom.

Neugodan odgovor: dva pratioca mogu oponašati jednoga

Ekscentrični signal radijalne brzine ima poznatu dvosmislenost. U nekim uvjetima dva objekta na gotovo kružnim orbitama, pri čemu jednom treba približno dvostruko više vremena nego drugome, mogu zajedno proizvesti uzorak sličan jednom objektu na izduženoj orbiti.

Ta se dvosmislenost pojavljuje i ovdje. Model s dvama pratiocima može odgovarati trenutačnim mjerenjima s vanjskim signalom blizu 171 dan i kraćim unutarnjim signalom. Budući da vremena promatranja ne uzorkuju svaku fazu jednako, kraći signal ima nekoliko aliasa. Budući da 23 odabrane noći ostavljaju duge praznine, različiti probni periodi mogu između posjeta sadržavati različit broj neopaženih ciklusa i ipak se poravnati s istim mjerenjima. Kandidatski periodi oko 14, 70, 88 i 115 dana zato su alternativne prilagodbe jednog slabo uzorkovanog kraćeg signala, a ne četiri neovisno detektirana ritma.

Autori odbacuju slabo ograničen prozor od 13 do 17 dana. U tom području prilagodba ne izdvaja jedan uvjerljiv period: mnogo gusto zbijenih rješenja ispod približno 20 dana može reproducirati mjerenja niske kadence, zbog čega je cijeli prozor vjerojatno artefakt uzorkovanja. Među preostalim prozorima rješenje od približno 88 dana odgovara bolje od alternativa oko 70 i 115 dana, ali ne dovoljno da bi rad tvrdio da je drugi period poznat. U tabličnom najboljem modelu minimalna masa vanjskog objekta oko je 0,87 Jupiterove mase, a unutarnjeg oko 0,22 Jupiterove mase. Ti brojevi opisuju manje preferiran model; nisu mjerenja dvaju potvrđenih svjetova.



Ako je signal od približno 171 dan orbitalan, isti opći obrazac radijalne brzine može se opisati jednim ekscentričnim pratiocem ili dvama gotovo kružnim pratiocima blizu omjera perioda dva prema jedan. Testovi stabilnosti favoriziraju tumačenje s jednim objektom, ali model ne pretvaraju u sliku niti isključuju svaki oblik spore promjenjivosti smeđeg patuljka.

The Clean Paper CC BY 4.0

Izračuni stabilnosti izoštravaju usporedbu. Većina testiranih rasporeda s dva pratioca izbacila je jedan objekt unutar nekoliko stotina simuliranih godina. Preživjele konfiguracije zauzimale su usko i neobično područje u kojem su orbite bile gotovo u istoj ravnini, ali su se kretale u suprotnim smjerovima. Matična zvijezda uvela je dodatna nestabilna područja.

To je razlog da se jedan ekscentrični pratilac preferira nad testiranim sustavima s dva pratioca. Nije dokaz da je priroda odabrala jednostavniji model. Stabilnost filtrira moguća tumačenja nakon što su radijalne brzine izmjerene; ne dodaje još jednu opaženu točku krivulji.

Kako jedna ekscentrična orbita može izgledati kao dvije kružne?

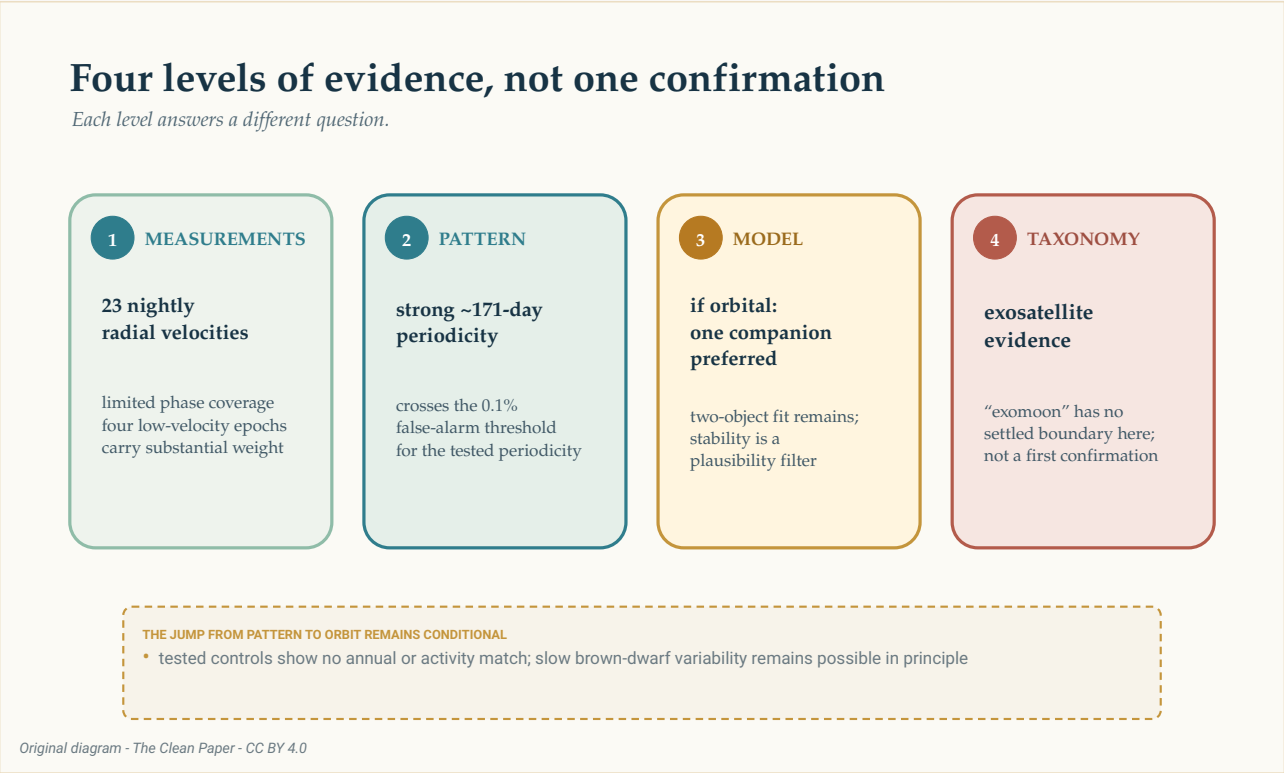
Savršena kružna orbita proizvodi jednostavan ponavljajući val radijalne brzine. Ekscentrična orbita dodaje izobličenja tom valu. Dvije kružne orbite s periodima blizu omjera dva prema jedan mogu se zbrojiti tako da jedan signal daje glavni ritam, a drugi slično izobličenje.
To je **orbitalna degeneracija**: različiti fizički sustavi proizvode slična mjerenja. Više opažanja u trenucima kada modeli predviđaju različite brzine može razriješiti dvosmislenost. Dinamički test pomaže pitanjem može li svaki predloženi sustav opstati, ali ne može zamijeniti ta opažanja.

Može li ritam dolaziti iz smeđeg patuljka?

Smeđi patuljak nije tiha testna masa. Njegova atmosfera rotira, stvara oblake i može imati magnetsku aktivnost. Promjenjivi površinski obrasci mogu mijenjati oblike spektralnih linija i oponašati gibanje.

Procijenjeni maksimalni period rotacije CD-35 2722 B oko je **0,65 dana**, daleko kraći od 171 dana. Tim nije pronašao snažan kratki rotacijski signal niti uvjerljiv signal nalik oblacima ili granulaciji u modelima aktivnosti koje je testirao. Također su ispitali godišnje uzorkovanje i instrumentalne veličine bez pronalaska podudaranja s ritmom od 171 dan.

Te provjere sužavaju alternative, ali rad ne tvrdi da je sva intrinzična promjenjivost eliminirana. Dugotrajna magnetska aktivnost ili atmosferska cirkulacija u smeđem patuljku načelno se ne mogu isključiti. Ta preostala mogućnost pripada uz orbitalne modele, a ne skrivena iza njih.



Dokazi se penju kroz odvojene razine: 23 noćne radijalne brzine s ograničenom pokrivenošću faze, snažna periodičnost od približno 171 dan, preferirani model s jednim pratiocem ako je signal orbitalan i naposljetku neriješena oznaka „egzomjesec". Ljestvica odvaja mjerenje, statistički obrazac, fizičko tumačenje i taksonomiju; nije strelica potvrde.

The Clean Paper CC BY 4.0

Je li to egzomjesec?

U Sunčevu sustavu mjesec kruži oko planeta. CD-35 2722 B je smeđi patuljak, a prava masa izvedenog pratioca još nije poznata. Poznati nazivi počinju pucati kada se jedan objekt nalazi blizu granice planet-smeđi patuljak, a drugi blizu granice mjesec-planet.

Rad ne tvrdi da je otkriven prvi potvrđeni egzomjesec. Kaže da nijedan egzomjesec još nije pouzdano detektiran, prikazuje dokaze za **egzosatelit** planetarne mase i sustav naziva korakom prema nedvosmislenoj detekciji. Rasprava o mogućoj novosti počinje uvjetno: ako se signal pokaže stvarnim.

Taj oprez ne čini rezultat praznim. Mjerenje radijalnih brzina izravno iz slabog pratioca smeđeg patuljka teško je. Ako nastavak opažanja očuva signal, sustav bi pokazao da metode traženja planeta mogu dosegnuti još jednu razinu dublje u nebeskoj hijerarhiji.

Još jedna sezona opažanja može učiniti više od dodavanja točaka. Modeli s jednim i dvama pratiocima predviđaju različite brzine u određenim budućim vremenima. Mjerenja koja popune nedostajuće orbitalne faze mogu testirati opstaje li ritam od 171 dan, smanjiti utjecaj četiriju niskih točaka i učiniti da se konkurentske krivulje raziđu.

Za sada najpoštenija slika nije novi mjesec koji visi kraj smeđeg patuljka. To je spektar, ponavljan iz noći u noć, koji nosi mali periodični pomak. U tom ritmu možda postoji svijet. Postignuće je naučiti koliko iz njega možemo zaključiti bez pretvaranja da je zaključivanje već dovršeno.

Sažetak bez uljepšavanja

Astronomi su izmjerili radijalnu brzinu izravno snimljenog smeđeg patuljka CD-35 2722 B tijekom 23 visokokvalitetne noći između listopada 2023. i veljače 2026. Njegove spektralne linije pokazuju snažan periodični pomak blizu 171 dan. Preferirani orbitalni model ima jednog ekscentričnog pratioca minimalne mase oko 0,92 Jupiterove mase, ali prava masa nije poznata jer inklinacija orbite nije poznata. Dva gotovo kružna pratioca mogu oponašati isti opći signal, iako je većina testiranih konfiguracija s dva objekta bila dinamički nestabilna. Četiri epohe niske brzine utjecajne su, a pokrivenost orbitalne faze ostaje ograničena: opažanja uzorkuju samo odabrane dijelove mogućeg ciklusa od 171 dan umjesto da ga kontinuirano prate kroz svaku fazu. Testovi nisu identificirali rotaciju, godišnje uzorkovanje, vrijeme ili ispitana svojstva instrumenta kao izvor, ali dugotrajna promjenjivost smeđeg patuljka načelno se ne može isključiti. Nevidljivi objekt nije izravno snimljen, model s jednim objektom preferiran je, a ne potvrđen, i ne postoji usuglašeno pravilo prema kojem bi tijelo planetarne mase oko smeđeg patuljka nužno bilo egzomjesec.

Provjera bez okolišanja

Što je opaženo: Dvadeset i tri noćna mjerenja radijalne brzine CD-35 2722 B sadržavaju snažnu periodičnost od približno 171 dan. Sam smeđi patuljak izravno je snimljen; predloženi pratilac nije.

Što autori preferiraju: Ako je signal orbitalan, jedan ekscentrični pratilac minimalne mase blizu Jupiterove daje najjednostavnije dinamički plausibilno tumačenje trenutačnih podataka.

Što ostaje otvoreno: Dva pratioca mogu odgovarati radijalnim brzinama, iako su testirani sustavi uglavnom nestabilni; dugotrajna promjenjivost smeđeg patuljka načelno nije isključena; a nepoznat kut gledanja ostavlja pravu masu pratioca neodređenom.

Što rad ne utvrđuje: Prvi potvrđeni egzomjesec, izravno viđen satelit, točno jedan orbitalni objekt, pravu masu od 0,92 Jupiterove mase ili 99,9% vjerojatnosti da je preferirani fizički model točan.

Što bi povećalo povjerenje: Nastavak mjerenja radijalne brzine koji pokriva više orbitalnih faza, testira opstaje li signal od 171 dan i uzorkuje trenutke kada modeli s jednim i dva pratioca daju različita predviđanja.

Izvori

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