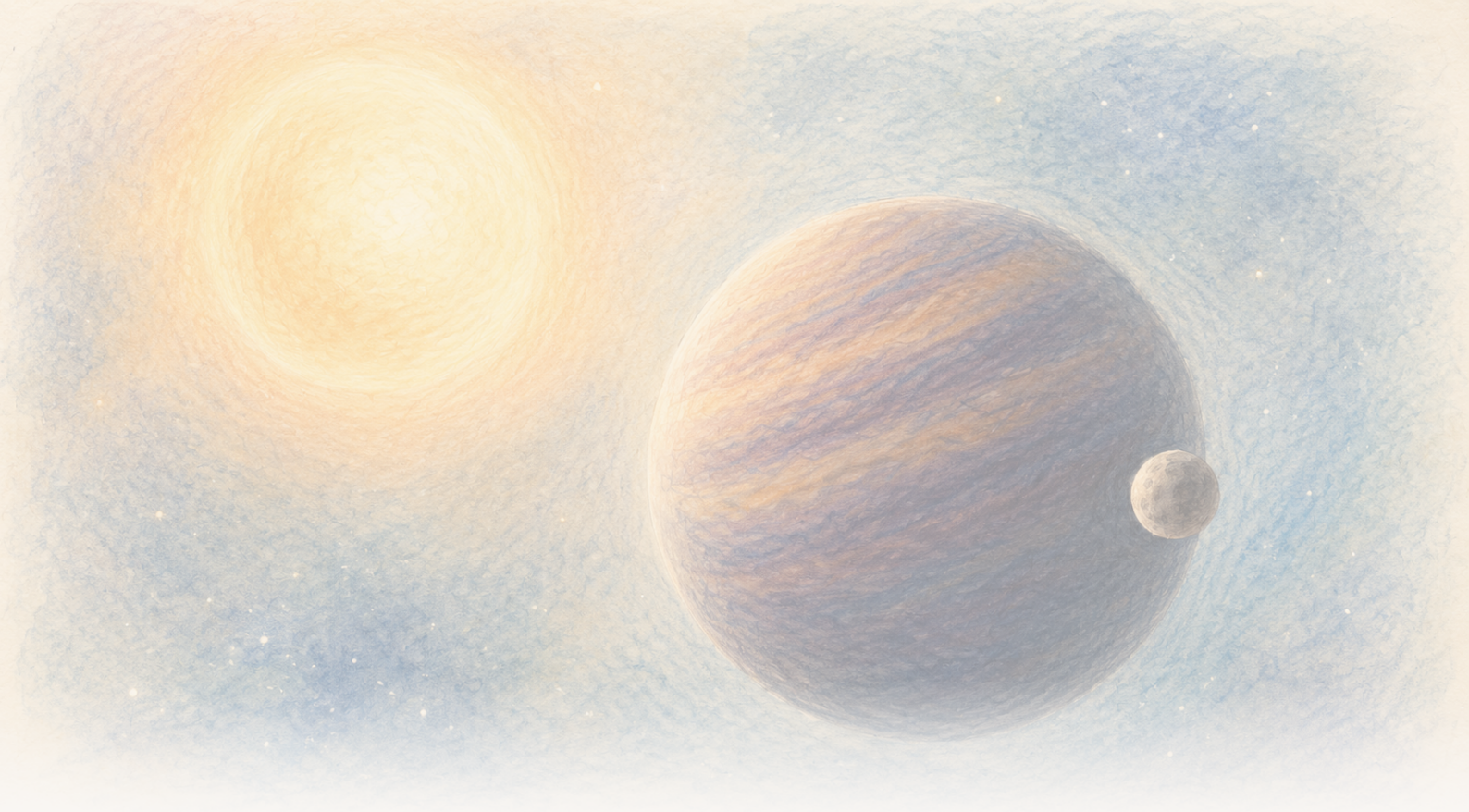


The Clean Paper

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 svet, ali podaci još dozvoljavaju dva

Dvadeset i tri visokokvalitetna spektra otkrivaju snažan periodični pomak u kretanju 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 promenljivost smeđeg patuljka načelno ostaje moguća, a reč 'egzomesec' ovde 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

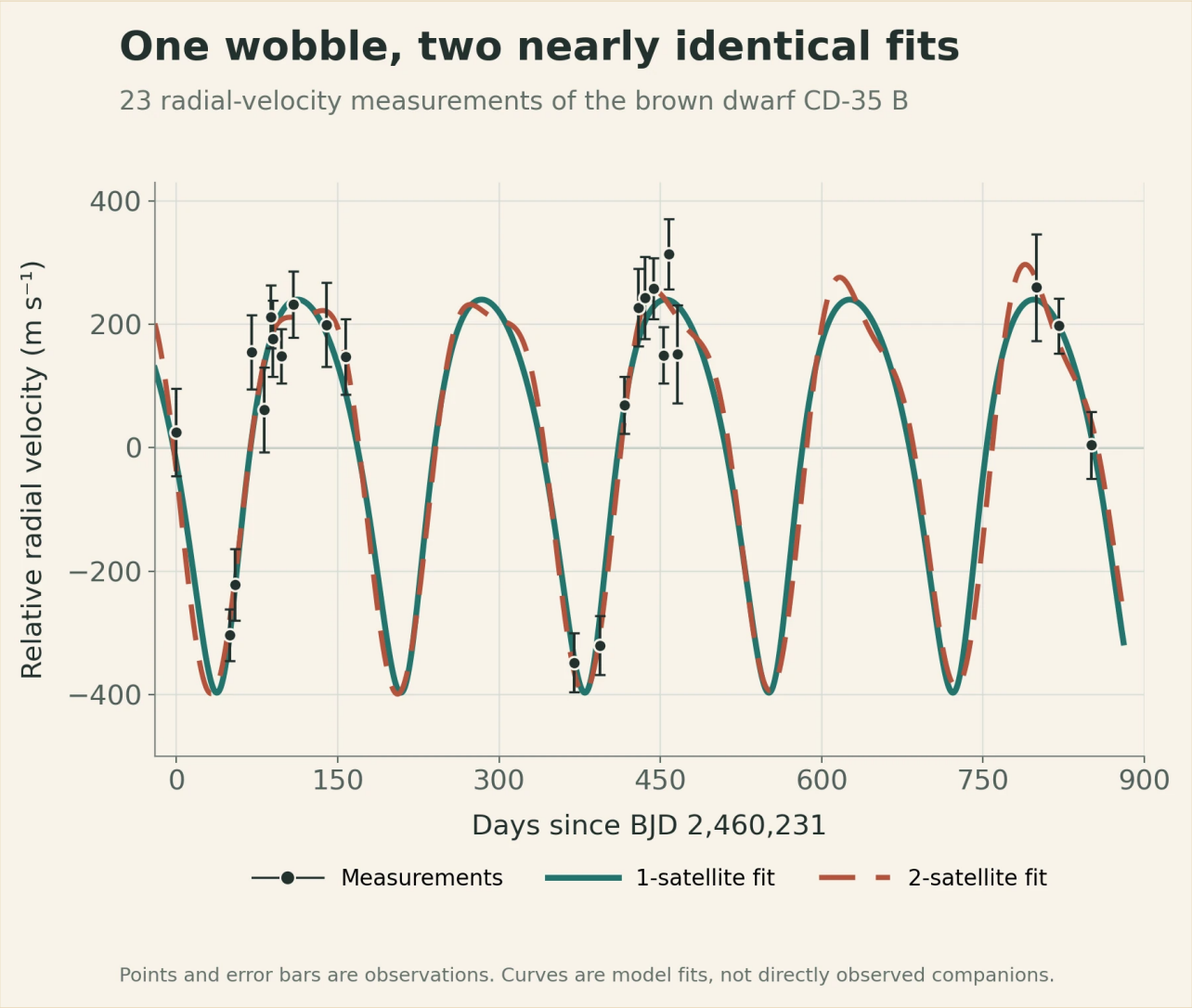
Čini se da smeđi patuljak poskakuje svakih 171 dan. Možda ga vuče jedan skriveni svet, ali podaci još dozvoljavaju dva

Astronomi mogu videti CD-35 2722 B kao zasebnu tačku svetlosti, odvojenu od zvezde oko koje kruži. To je smeđi patuljak, objekt mase između divovskih planeta i zvezda: s približno 37 masa Jupitera masivniji je od tipičnog divovskog planeta, ali nije obična zvezda koja sagoreva vodonik. Ne mogu videti manji objekt koji možda kruži oko samog smeđeg patuljka. Ako se potvrdi, taj bi najunutrašnjiji objekt učinio ovaj sistem prvom opaženom hijerarhijom satelita oko većeg podzvezdanog objekta koji i sam kruži oko zvezde.

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

Takvo kretanje napred-nazad može proizvesti nevidljivi pratilac: dok dva objekta kruže oko zajedničkog centra 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 izmerene oko CD-35 2722 B.

To je izvanredna mogućnost, a ne fotografija meseca. Dvadeset i tri visokokvalitetne noći posmatranja otkrivaju snažan periodični signal. Pretvaranje tog signala u svet zahteva model, a trenutni podaci još dozvoljavaju više od jedne arhitekture. Takođe ne isključuju u potpunosti spore promene u samom smeđem patuljku.



Crne tačke i granice greške 23 su noćna merenja radijalne brzine. Puna i isprekidana krivulja najbolji su modeli s jednim odnosno dva satelita. Njihovo gotovo potpuno preklapanje pokazuje zašto podaci mogu otkriti periodično poskakivanje, a da još ne određuju arhitekturu sistema; nijedna krivulja nije direktna slika pratioca.

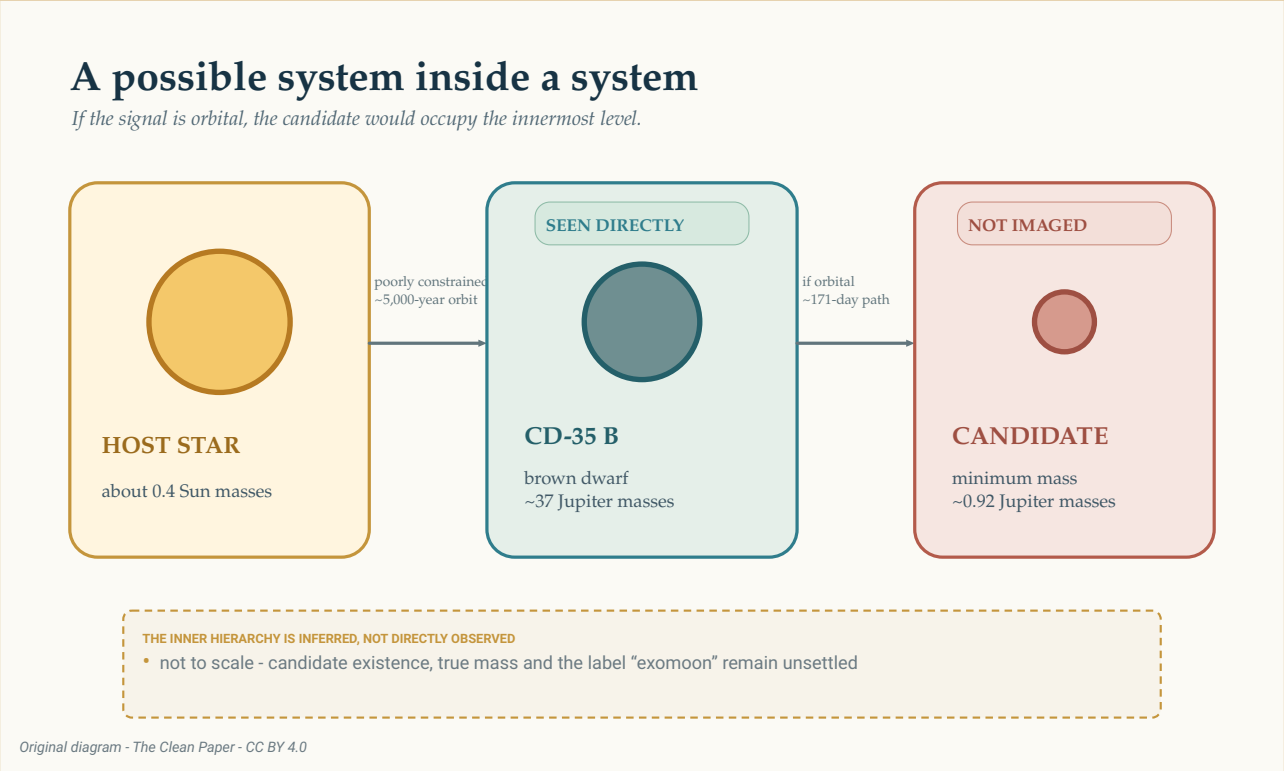
Original chart — The Clean Paper; data from Hoy et al., Nature (2026), Figure 1 source workbook CC BY 4.0

Sistem unutar sistema

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 zvezda koja sagoreva vodonik. Rad koristi procenjenu masu od oko **37 Jupitera**.

Smeđi patuljak otkriven je direktnim snimanjem, što znači da su teleskopi razlučili njegovu svetlost od svetlosti matične zvezde. Na nebu se nalazi oko 2,8 lučnih sekundi od zvezde. Široka orbita koja ih povezuje slabo je poznata, ali trenutne procene upućuju na vrlo izduženu putanju koja traje približno **5.000 godina**.

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



Ako je signal orbitalan, kandidat bi zauzimao najunutrašnjiju nivo ove moguće hijerarhije. Samo je smeđi patuljak direktno viđen. Spoljašnja orbita oko zvezde slabo je ograničena, dok je unutrašnja putanja od približno 171 dan izvedena iz izmerenog poskakivanja smeđeg patuljka. Veličine i udaljenosti nisu u merilu.

The Clean Paper CC BY 4.0

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

Kako su 23 noći postale poskakivanje

Tim je posmatrao CD-35 2722 B (pogledajte njegov unos u NASA Eyes on Exoplanets) instrumentom CRIRES+, spektrografom visoke rezolucije na Veoma velikom teleskopu Evropske južne opservatorije. Između oktobra 2023. i februara 2026. prikupili su 26 epoha posmatranja. Jedna je imala premalo signala, a dve snimljene po lošem vremenu odbačene su i ponovljene, pa su ostale **23 visokokvalitetne noći**.

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

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

> **What signal radijalne brzine može utvrditi?**
>
> Radijalna brzina pretvara ponovljene pomake spektralnih linija u merenja kretanja prema posmatraču i od njega. Ponavljajući obrazac može se prilagoditi orbitalnim jednačinama, omogućujući istraživačima da zaključe period, veličinu izmerenog poskakivanja i minimalnu masu pratioca.
> Ali metoda ne fotografira pratioca direktno. Zvezdana ili podzvezdana atmosfera takođe može pomicati spektralne linije, raspored posmatranja može stvoriti lažne ritmove, a različiti orbitalni rasporedi mogu oponašati jedni druge. Signal, njegovo fizičko objašnjenje i naziv dan zaključenu objektu odvojena su pitanja.

Pre orbitalnog odgovora vredi obratiti pažnju na uzorkovanje. Četiri naročito niska merenja radijalne brzine imaju znatan uticaj na obrazac. Dogodila su se u dva para, uz dobre prijavljene uslove, i nijedno samo nije stvorilo signal kada su autori ponovili analizu uklanjajući jednu tačku po jednu. Ipak, uzorkovan je samo deo mogućih orbitalnih faza. Dvadeset i tri noći raspoređene kroz više od dve godine nisu isto što i kontinuirana pokrivenost.

Autori su takođe testirali mogući polugodišnji artefakt. Nesavršen ispravak Zemljina promenjivog kretanja 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. Takođe ne nalaze korelaciju sa Zemljinim promenjivim kretanjem, seeingom, atmosferskom vodenom parom ili svojstvima instrumenta koja su ispitali. To su važne kontrole. Čine orbitalno objašnjenje dovoljno ubedljivim za modeliranje, ali same ne identifikuju objekt.

Najjednostavniji orbitalni odgovor: jedan pratilac

U preferiranom modelu jedan objekt sledi 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 prosečne udaljenosti Zemlje od Sunca.

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

Reč *minimalna* je važna. Radijalna brzina meri samo deo orbitalnog kretanja usmeren prema nama i od nas. Ako orbitu gledamo s boka, većina se kretanja projektuje na tu liniju. Ako je gledamo više odozgo, mnogo kretanja prelazi preko neba, pa bi za isto izmereno poskakivanje bio potreban masivniji pratilac.

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

> **Why ugao gledanja skriva masu?**
>
> Zamislite da kružnu stazu gledate sa strane. Trkač se stalno kreće prema vama i od vas, pa je tu komponentu kretanja lako izmeriti. Sada gledajte istu stazu odozgo. Trkač se uglavnom pomera 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 kretanja pokazuje duž naše vidne linije. Dok inklinacija `i` nije poznata, izvedena masa ostaje minimalna.

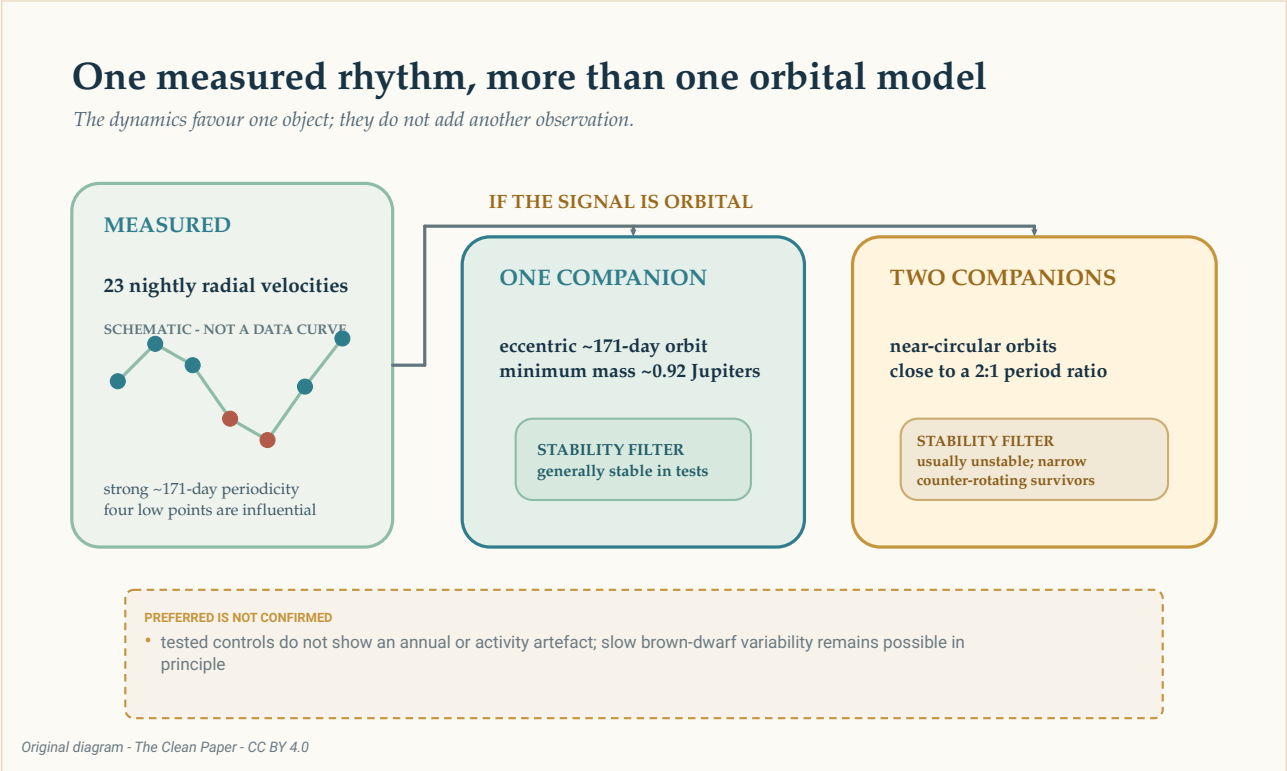
Autori su zatim pitali može li ta orbita opstati, a ne brzo se raspasti. Njihovi numerički testovi pronašli su da je model s jednim pratiocem uglavnom stabilan. To ga čini fizički plausibilnim tumačenjem signala. Ne čini ga drugom detekcijom.

Neugodan odgovor: dva pratioca mogu oponašati jednog

Ekscentrični signal radijalne brzine ima poznatu dvosmislenost. U nekim uslovima 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 ovde. Model s dva pratioca može odgovarati trenutnim merenjima s spoljašnjim signalom blizu 171 dan i kraćim unutrašnjim signalom. Budući da vremena posmatranja ne uzorkuju svaku fazu jednako, kraći signal ima nekoliko aliasa. Budući da 23 izabrane noći ostavljaju duge praznine, različiti probni periodi mogu između posete sadržati različit broj neopaženih ciklusa i ipak se poravnati s istim merenjima. Kandidatski periodi oko 14, 70, 88 i 115 dana zato su alternativne prilagodbe jednog slabo uzorkovanog kraćeg signala, a ne četiri nezavisno detektirana ritma.

Autori odbacuju slabo ograničen prozor od 13 do 17 dana. U tom području prilagodba ne izdvaja jedan ubedljiv period: mnogo gusto zbijenih rešenja ispod približno 20 dana može reprodukovati merenja niske kadence, zbog čega je ceo prozor verovatno artefakt uzorkovanja. Među preostalim prozorima rešenje 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 spoljašnjeg objekta oko je 0,87 Jupiterove mase, a unutrašnjeg oko 0,22 Jupiterove mase. Ti brojevi opisuju manje preferiran model; nisu merenja dvaju potvrđenih svetova.



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

The Clean Paper CC BY 4.0

Izračuni stabilnosti izoštravaju poređenje. 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 smerovima. Matična zvezda uvela je dodatna nestabilna područja.

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

How jedna ekscentrična orbita može izgledati kao dve kružne?

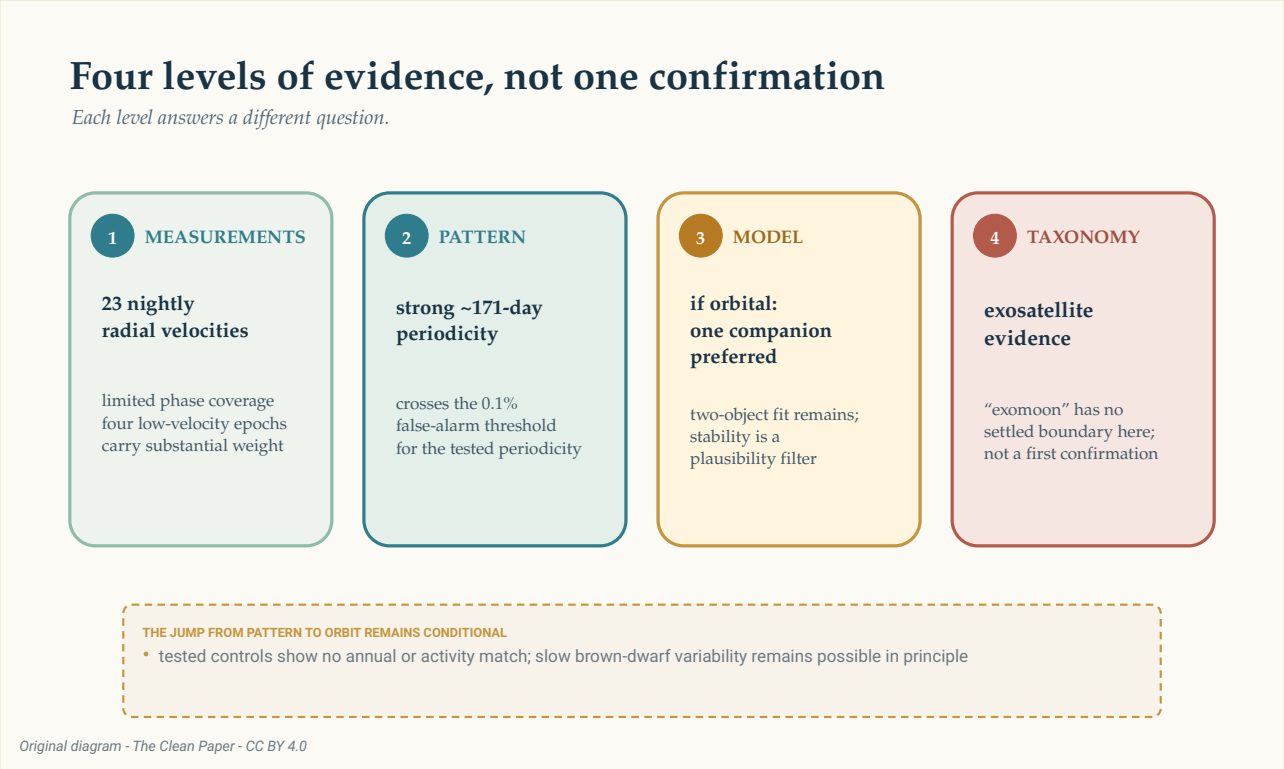
Savršena kružna orbita proizvodi jednostavan ponavljajući val radijalne brzine. Ekscentrična orbita dodaje izobličenja tom valu. Dve kružne orbite s periodima blizu odnosa dva prema jedan mogu se sabrati tako da jedan signal daje glavni ritam, a drugi slično izobličenje.
To je **orbitalna degeneracija**: različiti fizički sistemi proizvode slična merenja. Više opažanja u trenucima kada modeli predviđaju različite brzine može razrešiti dvosmislenost. Dinamički test pomaže pitanjem može li svaki predloženi sistem opstati, ali ne može zameniti 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. Promenjivi površinski obrasci mogu menjati oblike spektralnih linija i oponašati kretanje.

Procenjeni 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 ubedljiv signal nalik oblacima ili granulaciji u modelima aktivnosti koje je testirao. Takođe su ispitali godišnje uzorkovanje i instrumentalne veličine bez pronalaska podudaranja s ritmom od 171 dan.

Te provere sužavaju alternative, ali rad ne tvrdi da je sva intrinzična promenljivost 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 nivoi: 23 noćne radijalne brzine s ograničenom pokrivenošću faze, snažna periodičnost od približno 171 dan, preferirani model s jednim pratiocem ako je signal orbitalan i na kraju nerešena oznaka „egzomesec". Ljestvica odvaja merenje, statistički obrazac, fizičko tumačenje i taksonomiju; nije strelica potvrde.

The Clean Paper CC BY 4.0

Je li to egzomesec?

U Sunčevom sistemu mesec 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 mesec-planet.

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

Taj oprez ne čini rezultat praznim. Merenje radijalnih brzina direktno iz slabog pratioca smeđeg patuljka teško je. Ako nastavak opažanja očuva signal, sistem bi pokazao da metode traženja planeta mogu dostići još jednu nivo dublje u nebeskoj hijerarhiji.

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

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

Kratak rezime

Astronomi su izmerili radijalnu brzinu direktno snimljenog smeđeg patuljka CD-35 2722 B tokom 23 visokokvalitetne noći između oktobra 2023. i februara 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 opšti signal, iako je većina testiranih konfiguracija s dva objekta bila dinamički nestabilna. Četiri epohe niske brzine uticajne su, a pokrivenost orbitalne faze ostaje ograničena: opažanja uzorkuju samo izabrane delove mogućeg ciklusa od 171 dan umesto da ga kontinuirano prate kroz svaku fazu. Testovi nisu identifikovali rotaciju, godišnje uzorkovanje, vreme ili ispitana svojstva instrumenta kao izvor, ali dugotrajna promenljivost smeđeg patuljka načelno se ne može isključiti. Nevidljivi objekt nije direktno snimljen, model s jednim objektom preferiran je, a ne potvrđen, i ne postoji usuglašeno pravilo prema kojem bi telo planetarne mase oko smeđeg patuljka nužno bilo egzomesec.

Provera bez ulepšavanja

Šta je opaženo: Dvadeset i tri noćna merenja radijalne brzine CD-35 2722 B sadrže snažnu periodičnost od približno 171 dan. Sam smeđi patuljak direktno je snimljen; predloženi pratilac

nije.

Šta autori preferiraju: Ako je signal orbitalan, jedan ekscentrični pratilac minimalne mase blizu Jupiterove daje najjednostavnije dinamički verovatno tumačenje trenutnih podataka.

Šta ostaje otvoreno: Dva pratioca mogu odgovarati radijalnim brzinama, iako su testirani sistemi uglavnom nestabilni; dugotrajna promenljivost smeđeg patuljka načelno nije isključena; a nepoznat ugao gledanja ostavlja pravu masu pratioca neodređenom.

Šta rad ne utvrđuje: Prvi potvrđeni egzomesec, direktno viđen satelit, tačno jedan orbitalni objekt, pravu masu od 0,92 Jupiterove mase ili 99,9% verovatnoće da je preferirani fizički model tačan.

Šta bi povećalo poverenje: Nastavak merenja 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