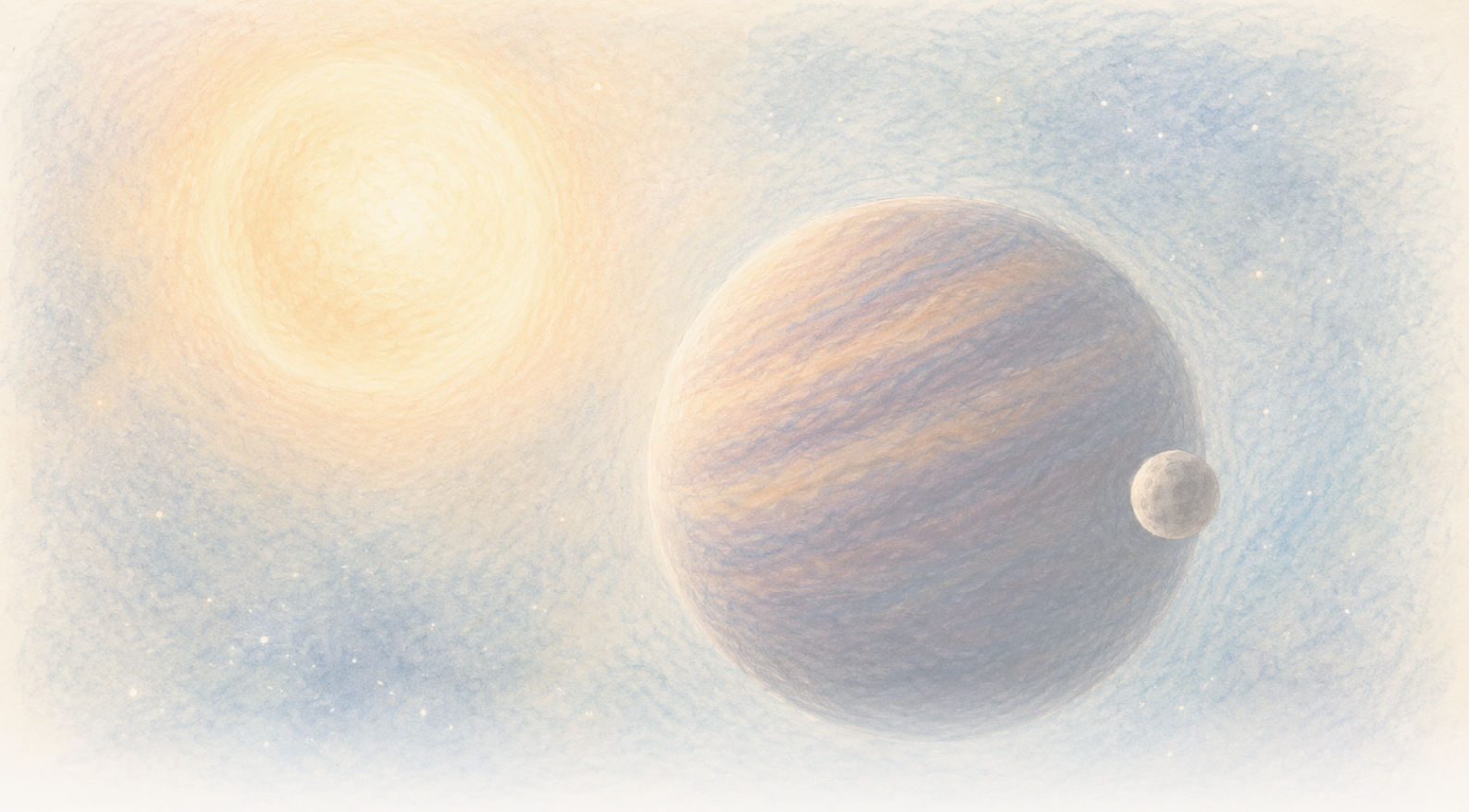


The Clean Paper

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

Rjava pritlikavka se navidezno zaniha vsakih 171 dni. Morda jo vleče en skriti svet, vendar podatki še dopuščajo dva

Triindvajset visokokakovostnih spektrov razkrije močan periodični premik v gibanju CD-35 2722 B. Prednostni model je en ekscentričen spremljevalec z najmanjšo maso blizu Jupitrove, vendar lahko model z dvema objektoma posnema isti signal, počasna spremenljivost rjave pritlikavke načeloma ostaja mogoča, izraz »eksomoon« pa tukaj nima ustaljene meje.

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

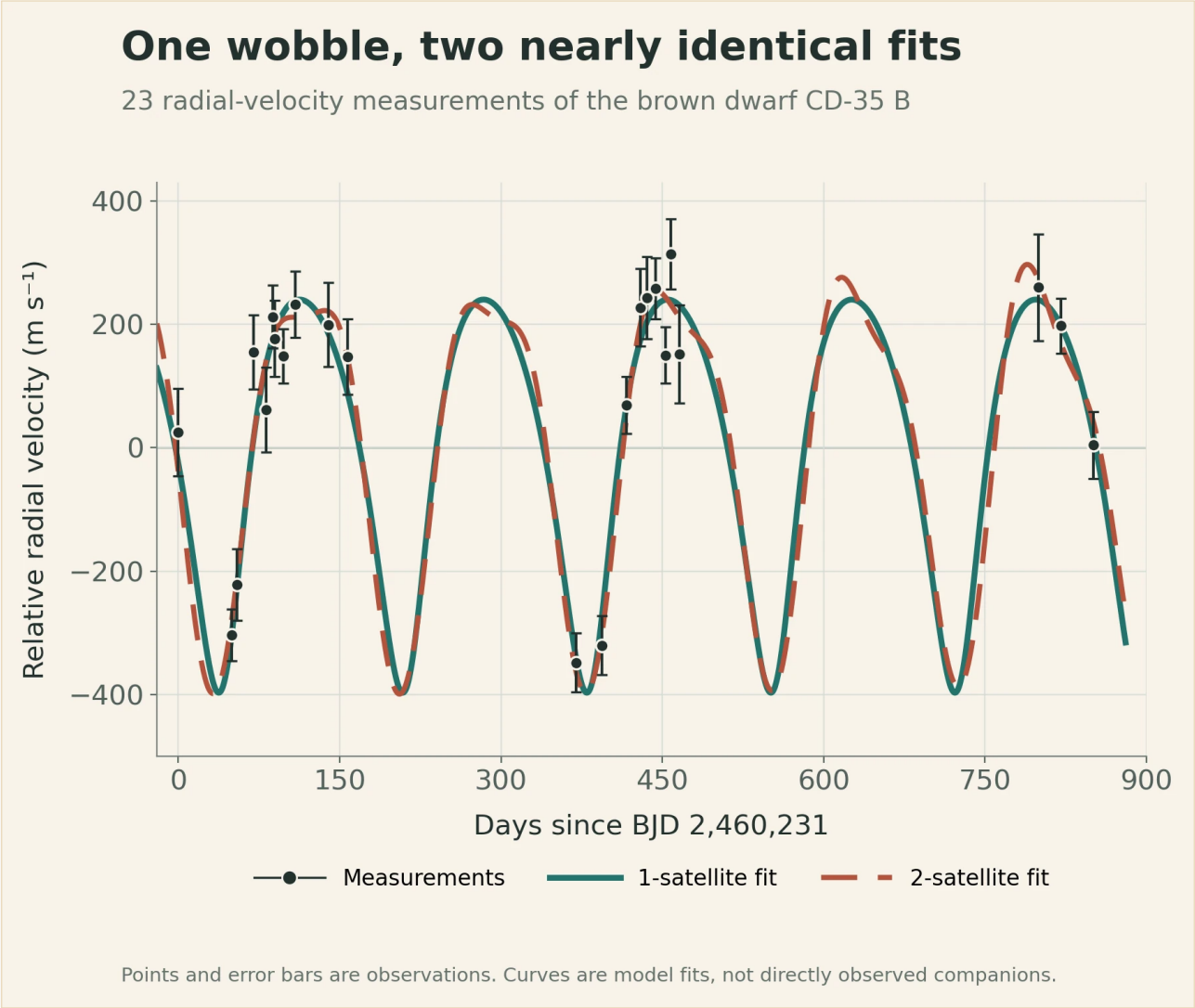
Rjava pritlikavka se očitno ziblje vsakih 171 dni. Morda jo vleče en skriti svet, vendar podatki še dopuščajo dva

Astronomi lahko CD-35 2722 B vidijo kot lastno svetlobno točko, ločeno od zvezde, okoli katere kroži. Gre za rjavo pritlikavko, objekt v masnem območju med velikanskimi planeti in zvezdami: s približno 37 Jupitrovimi masami je masivnejša od običajnega velikanskega planeta, vendar ni običajna zvezda, ki bi v jedru zlivala vodik. Manjšega objekta, ki morda kroži okoli same rjave pritlikavke, ne morejo videti. Če bi ga potrdili, bi bil to prvi opaženi hierarhični sistem, v katerem satelit kroži okoli večjega podzvezdnega objekta, ta pa okoli zvezde.

Namesto tega vidijo ritem. Nekatere noči je svetloba rjave pritlikavke rahlo premaknjena, ko se ta giblje proti Zemlji. Druge noči se premik spremeni, ko se rjava pritlikavka oddaljuje. Vzorec se ponavlja približno vsakih **171 dni**.

Takšno gibanje naprej in nazaj lahko povzroči nevidni spremljevalec: ko dva objekta krožita okoli skupnega masnega središča, manjši kroži okoli večjega, vendar tudi večji opisuje precej manjšo zanko. Če je ta ritem orbitalen, nov članek v Nature kot najprimernejšo razlago izmerjenega nihanja CD-35 2722 B predlaga en objekt planetarne mase.

To je izjemna možnost, ne fotografija lune. Triindvajset kakovostnih opazovalnih noči razkrije močan periodični signal. Pretvoriti ta signal v svet zahteva model, sedanji podatki pa še vedno dopuščajo več kot eno arhitekturo sistema. Prav tako ne izključijo povsem počasnih sprememb v sami rjavi pritlikavki.



Črne točke in intervali napake so 23 nočnih meritev radialne hitrosti. Polna in črtkana krivulja sta najboljša prilegajoča se modela z enim oziroma dvema satelitoma. Skorajšnje prekrivanje pokaže, zakaj lahko podatki razkrijejo periodično zibanje, ne da bi še določili arhitekturo sistema; nobena krivulja ni neposredna slika spremljevalca.

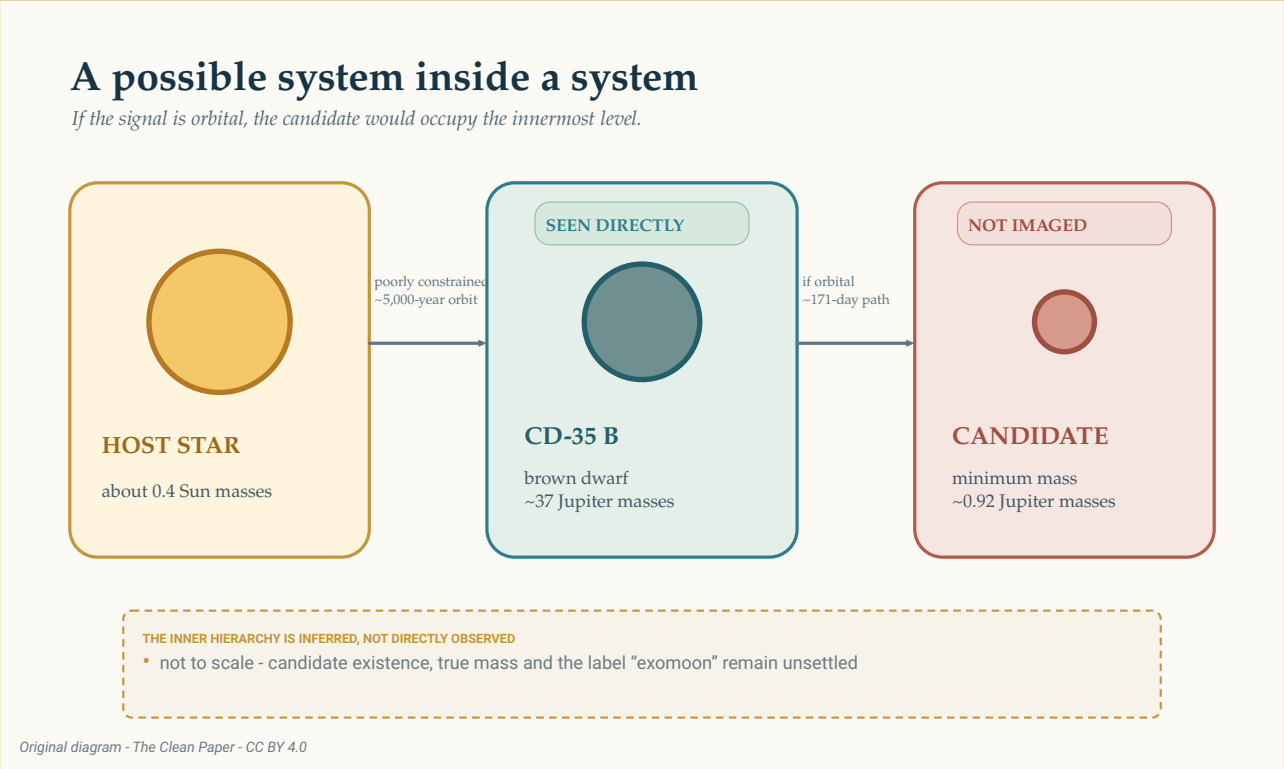
Original chart — The Clean Paper; data from Hoy et al., Nature (2026), Figure 1 source workbook CC BY 4.0

Sistem znotraj sistema

CD-35 2722 B je **rjava pritlikavka**: objekt med bolj znanimi kategorijami. Masivnejša je od običajnega velikanskega planeta, vendar ne dovolj masivna, da bi svetila kot običajna zvezda, ki zlivanje vodika uporablja kot glavni vir energije. Članek uporablja ocenjeno maso približno **37 Jupitrov**.

Rjavo pritlikavko so odkrili z neposrednim slikanjem, kar pomeni, da so teleskopi njeno svetlobo ločili od svetlobe gostiteljske zvezde. Na nebu je od zvezde oddaljena približno 2,8 kotne sekunde. Široka orbita, ki povezuje par, je slabo znana, vendar trenutne ocene kažejo na zelo raztegnjeno pot z obdobjem okoli **5.000 let**.

Če je periodični signal orbitalen, bi predlagana arhitektura kandidatko postavila še eno raven globlje: zvezda, okoli katere kroži rjava pritlikavka, okoli te pa spremljevalec planetarne mase.



Če je signal orbitalen, bi kandidat zasedal najbolj notranjo raven te možne hierarhije. Neposredno je bila videna le rjava pritlikavka. Zunanja orbita okoli zvezde je slabo omejena, približno 171-dnevna notranja pot pa je sklepana iz izmerjenega zibanja rjave pritlikavke. Velikosti in razdalje niso v merilu.

The Clean Paper CC BY 4.0

Takšno možno hierarhijo je lahko narisati. Njena fizična resničnost in besedišče pa še nista določena. Je telo planetarne mase, ki kroži okoli rjave pritlikavke, luna, planet ali preprosto satelit? Astronomi nimajo sprejetega pravila, ki bi to vprašanje dokončno rešilo. Članek zato uporablja širši izraz **eksosatelit**.

Kako je iz 23 noči nastalo zibanje

Ekipa je CD-35 2722 B (glej njen vnos NASA Eyes on Exoplanets) opazovala s CRIRES+, visokoločljivostnim spektrografom na Zelo velikem teleskopu Evropskega južnega observatorija. Med oktobrom 2023 in februarjem 2026 so zbrali 26 opazovalnih epoh. Ena je imela premalo signala, dve, posneti v slabem vremenu, pa so zavrgli in ponovili, zato je ostalo **23 kakovostnih noči**.

Spektrograf svetlobo razprši v podroben vzorec spektralnih črt. Ko se vir približuje Zemlji ali oddaljuje od nje, se te črte za malenkost premaknejo. Ponavljajoče se meritve takšnega gibanja vzdolž vidne črte imenujemo **radialne hitrosti**. Te ne pokažejo skritega telesa. Pokažejo, kako se opazovani objekt morda giblje pod vplivom nevidnega vleka.

Najmočnejša periodičnost v meritvah je blizu 170 dni. Preseže **prag 0,1-odstotne verjetnosti lažnega alarma**, ki ga uporablja študija. Ta prag sprašuje, kako pogosto bi šum ob predpostavkah testa ustvaril vrh v periodogramu, ki je vsaj tako močan. Ne pomeni 99,9-odstotne verjetnosti, da satelit obstaja, in sam po sebi ne pove ničesar o tem, ali gre za enega ali dva spremljevalca.

> **Kaj lahko ugotovi signal radialne hitrosti?**
>
> Radialna hitrost ponavljajoče se premike spektralnih črt pretvori v meritve gibanja proti opazovalcu in stran od njega. Ponavljajoči se vzorec je mogoče prilagoditi enačbam orbite ter tako oceniti obdobje, velikost izmerjenega zibanja in najmanjšo maso spremljevalca.
> Toda metoda spremljevalca ne fotografira neposredno. Atmosfera zvezde ali podzvezdnega objekta lahko prav tako premika spektralne črte, časovni razpored opazovanj lahko ustvari zavajajoče ritme, različne orbitalne ureditve pa se lahko posnemajo. Signal, njegova fizična razlaga in ime sklepanega objekta so ločena vprašanja.

Pred orbitalno razlago si zasluži pozornost vzorčenje. Štiri posebej nizke meritve radialne hitrosti imajo v vzorcu precejšnjo težo. Nastopile so v dveh parih, pri poročano dobrih pogojih, in nobena sama ni ustvarila signala, ko so avtorji analizo ponavljali z odstranitvijo po ene točke. Kljub temu je vzorčen le del možnih orbitalnih faz. Triindvajset noči, razporejenih čez več kot dve leti, ni isto kot neprekinjeno pokritje.

Avtorji so preizkusili tudi morebitni polletni artefakt. Nepopoln popravek Zemljinega spreminjajočega se gibanja ali profila instrumenta bi lahko ustvaril lažen letni signal, ki bi ga vzorčenje preslikalo v polovico zemeljskega leta oziroma **182,5 dneva**. Njihovo prednostno obdobje je **171,11 dneva**, z negotovostjo +0,53/-0,36 dneva; avtorji poročajo, da je to približno 20 standardnih odklonov od 182,5 dneva. Prav tako ne poročajo o korelaciji z Zemljinim spreminjajočim se gibanjem, seeingom, atmosfersko vodno paro ali lastnostmi instrumenta, ki so jih preverili. To so pomembne kontrole. Orbitalno razlago naredijo dovolj prepričljivo za modeliranje, same pa objekta ne identificirajo.

Najpreprostejši orbitalni odgovor: en spremljevalec

V prednostnem modelu en objekt kroži po ekscentrični oziroma nekoliko raztegnjeni orbiti okoli rjave pritlikavke vsakih 171,11 dneva. Prilagojena orbita ima ekscentričnost približno **0,27** in veliko polos približno **0,200 astronomske enote** — približno petino povprečne razdalje med Zemljo in Soncem.

Izmerjeno zibanje ima amplitudo približno **318 metrov na sekundo**. Iz tega gibanja model spremljevalcu pripiše najmanjšo maso približno **0,92 Jupitrove mase**.

Beseda *najmanjša* je pomembna. Radialna hitrost meri samo del orbitalnega gibanja, usmerjen proti nam ali stran od nas. Če orbito gledamo z roba, se velik del gibanja pokaže vzdolž te smeri. Če jo gledamo bolj od zgoraj, večina gibanja poteka čez nebo in je za enako izmerjeno zibanje potreben masivnejši spremljevalec.

Astronomi rezultat zapišejo kot **m sin(i)**: masa, pomnožena s sinusom neznanega naklona orbite oziroma zornega kota. Podatki omejujejo ta produkt, ne prave mase same. Približno 0,92 Jupitrove mase je zato spodnja meja, ne meritev natančne mase objekta.

> **Zakaj zorni kot skriva maso?**
>
> Predstavljajte si, da krožno stezo gledate od strani. Tekač se vam izmenično približuje in oddaljuje, zato je to komponento gibanja lahko izmeriti. Nato isto stezo poglejte od zgoraj. Tekač se večinoma giblje čez vaše vidno polje in komaj kaj proti vam ali stran od vas.
> Radialna hitrost vidi le prvo komponento. Matematični faktor `sin(i)` opisuje, kolikšen del orbitalnega gibanja kaže vzdolž naše vidne črte. Dokler naklon `i` ni znan, sklepana masa ostane najmanjša možna masa.

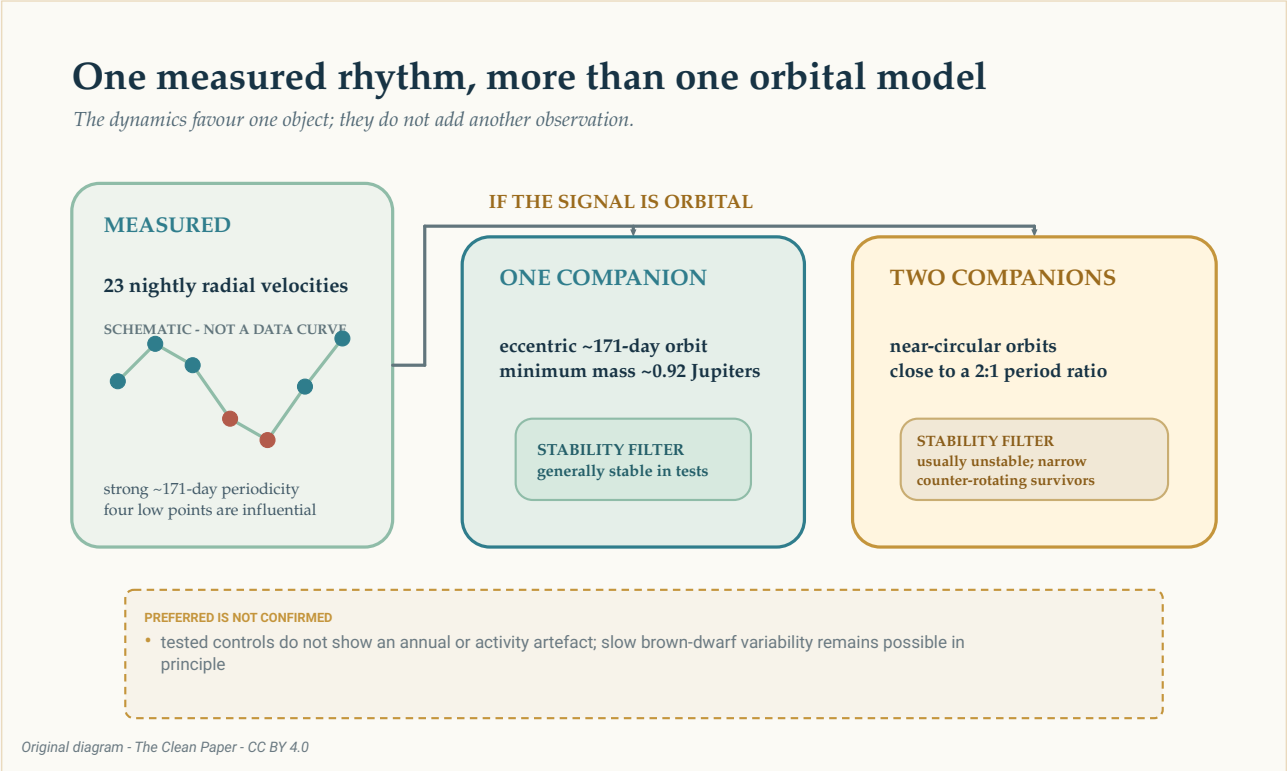
Avtorji so nato vprašali, ali bi taka orbita lahko dolgo obstajala, namesto da bi se sistem hitro porušil. Njihovi numerični testi so pokazali, da je model z enim spremljevalcem na splošno stabilen. Zaradi tega je fizično verjetna razlaga signala. Ni pa to druga neodvisna zaznava.

Neroden odgovor: dva spremljevalca lahko posnemata enega

Ekscentrični signal radialne hitrosti ima znano dvoumnost. V nekaterih pogojih lahko dva objekta na skoraj krožnih orbitah, pri čemer eden potrebuje za obhod približno dvakrat toliko časa kot drugi, skupaj ustvarita vzorec, ki je podoben enemu objektu na raztegnjeni orbiti.

Ta dvoumnost se pojavi tudi tukaj. Model z dvema spremljevalcema lahko sedanje meritve prilagodi z zunanjim signalom okoli 171 dni in krajšim notranjim signalom. Ker časi opazovanj ne vzorčijo vseh faz enakomerno, ima krajši signal več aliasov. Ker 23 izbranih noči pušča dolge vrzeli, lahko različna poskusna obdobja med obiski vsebujejo različno število neopaženih ciklov in se še vedno ujemajo z istimi meritvami. Kandidatna obdobja okoli 14, 70, 88 in 115 dni so zato alternativne prilagoditve enega slabo vzorčenega krajšega signala, ne štirje neodvisno zaznani ritmi.

Avtorji zavrnejo slabo omejeno okno od 13 do 17 dni. V tem območju prilagajanje ne izbere enega prepričljivega obdobja: veliko tesno razporejenih rešitev pod približno 20 dnevi lahko reproducira meritve z nizko časovno gostoto, zato je verjetno celotno okno artefakt vzorčenja. Med preostalimi okni se približno 88-dnevna rešitev prilega bolje od približno 70- in 115-dnevne možnosti, vendar ne dovolj, da bi članek trdil, da je drugo obdobje znano. V tabeliranem najboljšem prileganju je najmanjša masa zunanjega objekta približno 0,87 Jupitrove mase, notranjega pa približno 0,22 Jupitrove mase. Ti številki opisujeta manj zaželen model; nista meritvi dveh potrjenih svetov.



Če je približno 171-dnevni signal orbitalen, lahko isti splošni vzorec radialne hitrosti predstavlja en ekscentrični spremljevalec ali dva skoraj krožna spremljevalca z razmerjem obdobij blizu dva proti ena. Testi stabilnosti dajejo prednost razlagi z enim objektom, vendar modela ne spremenijo v sliko in ne izključijo vseh oblik počasne spremenljivosti rjave pritlikavke.

The Clean Paper CC BY 4.0

Izračuni stabilnosti primerjavo dodatno izostrijo. Večina preizkušenih ureditev z dvema spremljevalcema je en objekt izstrelila iz sistema v nekaj sto simuliranih letih. Preživele konfiguracije so zasedale ozko in nenavadno območje, kjer sta bili orbiti blizu iste ravnine, vendar sta objekta krožila v nasprotnih smereh. Gostiteljska zvezda je uvedla dodatna nestabilna območja.

To je razlog, da enemu ekscentričnemu spremljevalcu damo prednost pred preizkušenimi sistemi z dvema. Ni dokaz, da je narava izbrala preprostejši model. Stabilnost filtrira možne razlage po tem, ko so radialne hitrosti že izmerjene; krivulji ne doda nove opazovane točke.

Kako je lahko ena ekscentrična orbita videti kot dve krožni?

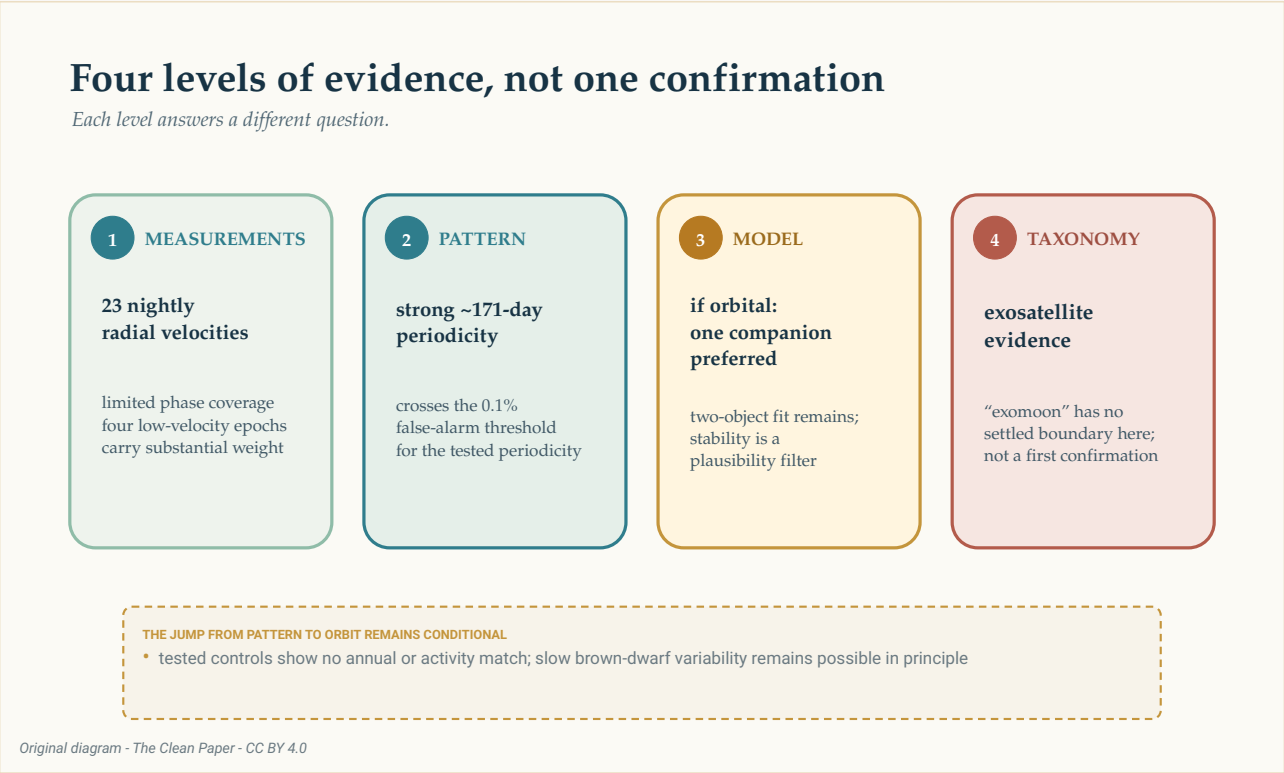
Popolnoma krožna orbita ustvari preprost ponavljajoč se val radialne hitrosti. Ekscentrična orbita temu valu doda popačenja. Dve krožni orbiti z obdobjema blizu razmerja dva proti ena se lahko združita tako, da en signal ustvari glavni ritem, drugi pa podobno popačenje.
To je **orbitalna degeneracija**: različni fizični sistemi ustvarijo podobne meritve. Več opazovanj ob časih, ko modeli napovedujejo različne hitrosti, lahko razreši dvoumnost. Dinamični test pomaga s preverjanjem, ali bi vsak predlagani sistem lahko preživel, ne more pa nadomestiti teh opazovanj.

Bi lahko ritem izviral iz rjave pritlikavke?

Rjava pritlikavka ni tiha testna masa. Njena atmosfera se vrti, tvori oblake in ima lahko magnetno aktivnost. Spreminjajoči se površinski vzorci lahko preoblikujejo spektralne črte in posnemajo gibanje.

Ocenjeno največje rotacijsko obdobje CD-35 2722 B je približno **0,65 dneva**, veliko krajše od 171 dni. Ekipa v preizkušenih modelih aktivnosti ni našla močnega kratkega rotacijskega signala niti prepričljivega signala, podobnega oblakom ali granulaciji. Preverili so tudi letno vzorčenje in instrumentalne količine, ne da bi našli ujemanje z 171-dnevnim ritmom.

Ti preizkusi zožijo alternative, vendar članek ne trdi, da je izključena vsa lastna spremenljivost. Dolgoročne magnetne aktivnosti ali atmosferskega kroženja v rjavi pritlikavki načeloma ni mogoče izključiti. Ta preostala možnost spada ob orbitalne modele, ne v opombo pod črto za njimi.



Dokazi se vzpenjajo skozi ločene ravni: 23 nočnih meritev radialne hitrosti z omejeno pokritostjo faz, močna približno 171-dnevna periodičnost, prednostni model z enim spremljevalcem, če je signal orbitalen, in na koncu še nedoločena oznaka »eksomoon«. Lestev loči meritev, statistični vzorec, fizično razlago in taksonomijo; ni puščica potrditve.

The Clean Paper CC BY 4.0

Je to eksomoon?

V Osončju luna kroži okoli planeta. CD-35 2722 B je rjava pritlikavka, prava masa sklepanega spremljevalca pa še ni znana. Znana poimenovanja začnejo odpovedovati, ko en objekt leži blizu meje med planetom in rjavo pritlikavko, drugi pa blizu meje med luno in planetom.

Članek ne trdi, da gre za prvi potrjeni eksomoon. Pravi, da noben eksomoon še ni bil zanesljivo zaznan, predstavlja dokaze za **eksosatelit** planetarne mase in sistem opisuje kot korak proti nesporni zaznavi. Razprava o morebitni novosti je pogojna: če se signal izkaže za resničnega.

Ta previdnost rezultata ne izprazni. Neposredno merjenje radialnih hitrosti šibkega spremljevalca, ki je rjava pritlikavka, je težko. Če bodo nadaljnja opazovanja signal ohranila, bo sistem pokazal, da lahko metode iskanja planetov sežejo še eno raven globlje v nebesno hierarhijo.

Naslednja opazovalna sezona lahko naredi več kot samo doda točke. Modela z enim in dvema spremljevalcema ob določenih prihodnjih časih napovedujeta različne hitrosti. Meritve, ki zapolnijo manjkajoče orbitalne faze, lahko preverijo, ali 171-dnevni ritem vztraja, zmanjšajo vpliv štirih nizkih točk in prisilijo konkurenčni krivulji, da se razmakneta.

Za zdaj najbolj poštena podoba ni nova luna ob rjavi pritlikavki. Je spekter, ponavljan noč za nočjo, ki nosi majhen periodični premik. Morda se v tem ritmu skriva svet. Dosežek je v tem, koliko se lahko iz njega sklepa, ne da bi se pretvarjali, da je sklepanje že končano.

Kratek povzetek

Astronomi so radialno hitrost neposredno slikane rjave pritlikavke CD-35 2722 B merili v 23 kakovostnih nočeh med oktobrom 2023 in februarjem 2026. Njene spektralne črte kažejo močan periodični premik blizu 171 dni. Prednostni orbitalni model vsebuje enega ekscentričnega spremljevalca z najmanjšo maso blizu 0,92 Jupitrove mase, prava masa pa ni znana, ker ni znan naklon orbite. Dva skoraj krožna spremljevalca lahko posnemata isti splošni signal, čeprav je bila večina preizkušenih konfiguracij z dvema objektoma dinamično nestabilna. Štiri epohe z nizko hitrostjo imajo precejšen vpliv, pokritost orbitalnih faz pa ostaja omejena: opazovanja vzorčijo samo izbrane dele možnega 171-dnevnega cikla, ne vsake faze neprekinjeno. Testi niso našli rotacije, letnega vzorčenja, vremena ali pregledanih lastnosti instrumenta kot vira signala, vendar dolgoročne spremenljivosti rjave pritlikavke načeloma ni mogoče izključiti. Nevidni objekt ni bil neposredno slikan, model z enim objektom je prednosten, ne potrjen, in ni sprejetega pravila, po katerem bi telo planetarne mase v orbiti okoli rjave pritlikavke nujno imenovali eksomoon.

Preverjanje brez olepševanja

Kaj je bilo opazovano: Triindvajset nočnih meritev radialne hitrosti CD-35 2722 B vsebuje močno približno 171-dnevno periodičnost. Sama rjava pritlikavka je bila neposredno slikana; predlagani

spremljevalec ni bil.

Čemu avtorji dajejo prednost: Če je signal orbitalen, je najpreprostejša dinamično verjetna razlaga sedanjih podatkov en ekscentrični spremljevalec z najmanjšo maso blizu Jupitrove.

Kaj ostaja odprto: Radialne hitrosti lahko prilegata tudi dva spremljevalca, čeprav so preizkušeni sistemi večinoma nestabilni; dolgoročna spremenljivost rjave pritlikavke načeloma ni izključena; neznani zorni kot pa pomeni, da prava masa spremljevalca ni določena.

Česa članek ne vzpostavi: Prvega potrjenega eksomoona, neposredno videnega satelita, natanko enega objekta v orbiti, prave mase 0,92 Jupitrove mase ali 99,9-odstotne verjetnosti, da je prednostni fizični model pravilen.

Kaj bi povečalo zaupanje: Nadaljnje meritve radialne hitrosti, ki pokrijejo več orbitalnih faz, preverijo vztrajanje 171-dnevnega signala in ciljajo čase, ko modela z enim in dvema spremljevalcema napovedujeta različne hitrosti.

Viri

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