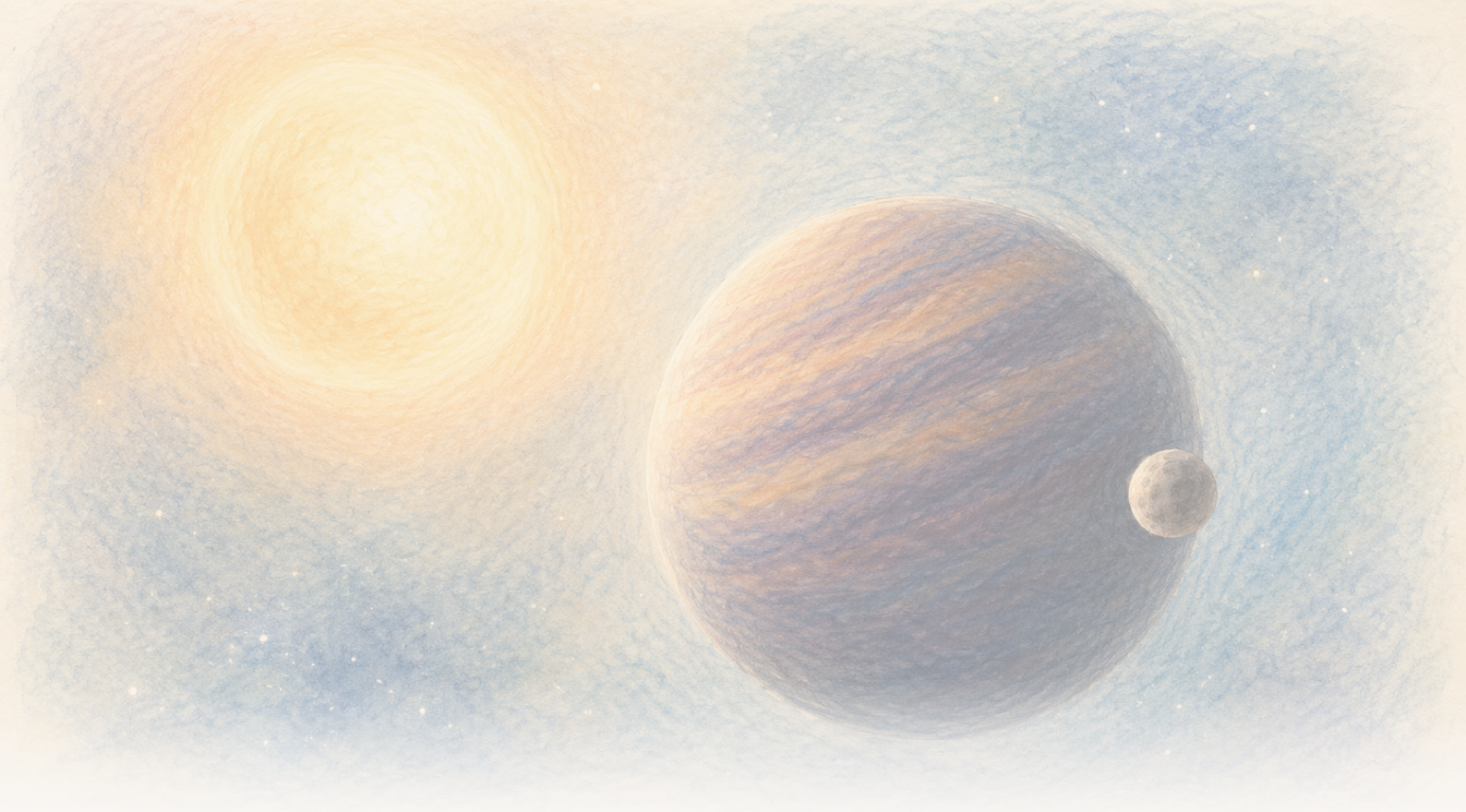


The Clean Paper

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

Šķiet, ka brūnais punduris svārstās ik pēc 171 dienas. To varētu vilkt viena apslēpta pasaule, taču dati joprojām pieļauj arī divas

Divdesmit trīs augstas kvalitātes spektri atklāj spēcīgu periodisku nobīdi CD-35 2722 B kustībā. Priekšroka tiek dota modelim ar vienu ekscentrisku pavadoni, kura minimālā masa ir tuva Jupitera masai, taču to pašu signālu var atdarināt modelis ar diviem objektiem; principā joprojām iespējama arī lēna paša brūnā pundura mainība, un vārdam "eksomēness" šeit nav vispārpieņemtas robežas.

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

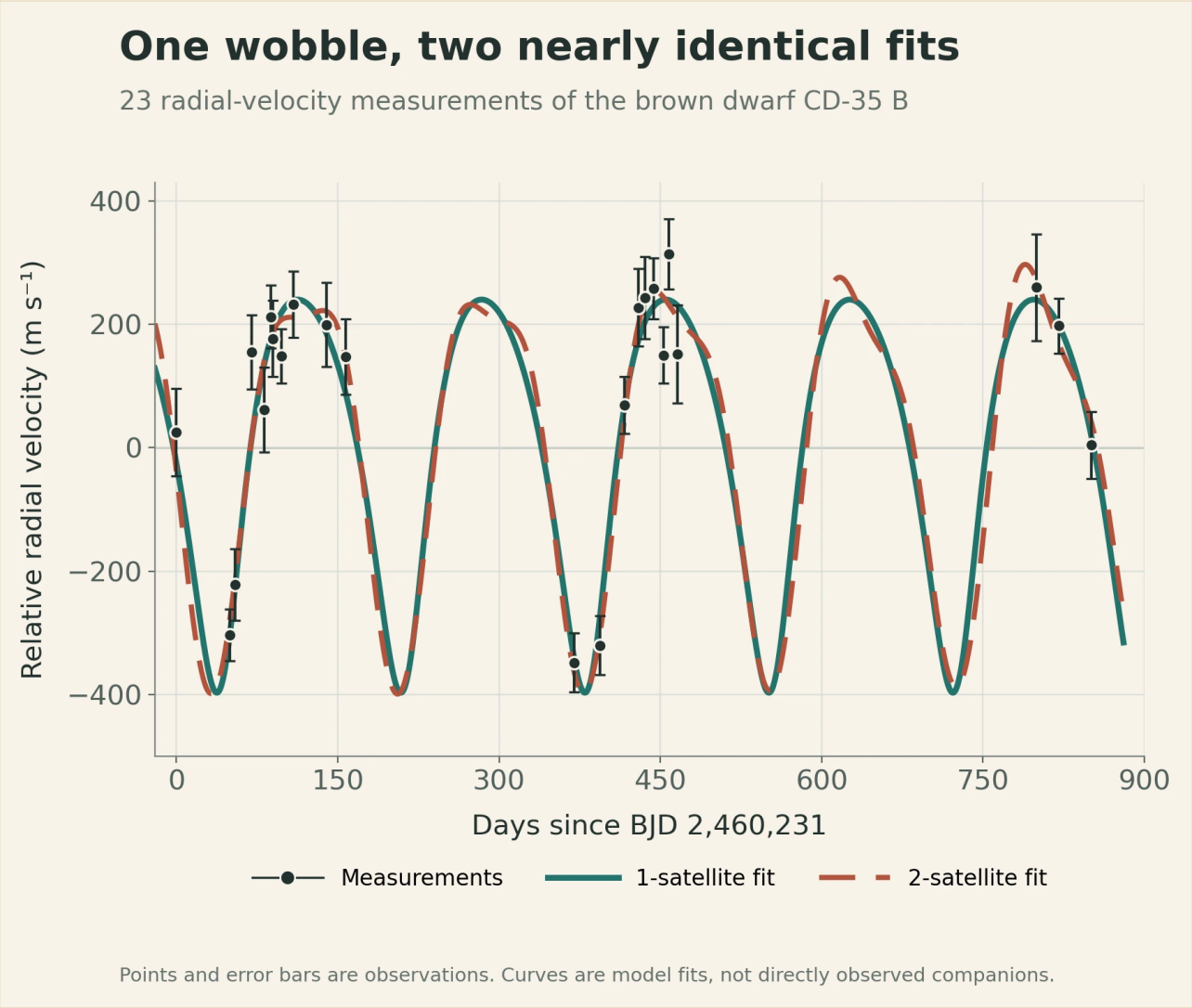
Šķiet, ka brūnais punduris svārstās ik pēc 171 dienas. To varētu vilkt viena apslēpta pasaule, taču dati joprojām pieļauj arī divas

Astronomi var saskatīt CD-35 2722 B kā atsevišķu gaismas punktu, nošķirtu no zvaigznes, ap kuru tas riņķo. Tas ir brūnais punduris — objekts masas diapazonā starp milzu planētām un zvaigznēm: ar aptuveni 37 Jupitera masām tas ir masīvāks par tipisku milzu planētu, bet nav parasta zvaigzne, kurā notiek ūdeņraža kodolsintēze. Mazāko objektu, kas varētu riņķot ap pašu brūno punduri, viņi neredz. Ja šis visiekšējais objekts tiktu apstiprināts, tā būtu pirmā novērotā hierarhija, kurā pavadonis riņķo ap lielāku zemzvaigžņu objektu, kas savukārt riņķo ap zvaigzni.

Tā vietā viņi redz ritmu. Dažās naktīs brūnā pundura gaisma ir nedaudz nobīdīta, kamēr tas kustas Zemes virzienā. Citās tā ir nobīdīta, kamēr brūnais punduris kustas prom. Šis raksts atkārtojas apmēram ik pēc **171 dienas**.

Šādu kustību turp un atpakaļ var radīt neredzams pavadonis: diviem objektiem riņķojot ap kopīgu masas centru, mazākais pārvietojas ap lielāko, taču arī lielākais izmet daudz mazāku loku. Ja šis ritms ir orbitāls, jaunā Nature publikācijā kā vēlamākais CD-35 2722 B izmērītās svārstības skaidrojums tiek piedāvāts viens planētas masas objekts.

Tā ir ievērojama iespēja, nevis mēness fotogrāfija. Divdesmit trīs augstas kvalitātes novērojumu naktis atklāj spēcīgu periodisku signālu. Lai šo signālu pārvērstu par pasauli, vajadzīgs modelis, un pašreizējie dati joprojām pieļauj vairāk nekā vienu sistēmas uzbūvi. Tie arī pilnībā neizslēdz lēnas izmaiņas pašā brūnajā pundurī.



Melnie punkti un kļūdu joslas ir 23 nakšu radiālā ātruma mērījumi. Nepārtrauktā un pārtrauktā līkne ir attiecīgi labāk pielāgotie viena un divu pavadoņu modeļi. To gandrīz pilnīgā pārklāšanās parāda, kā dati var atklāt periodisku svārstību, paši vēl nenosakot sistēmas uzbūvi; neviena no līknēm nav tiešs pavadoņa attēls.

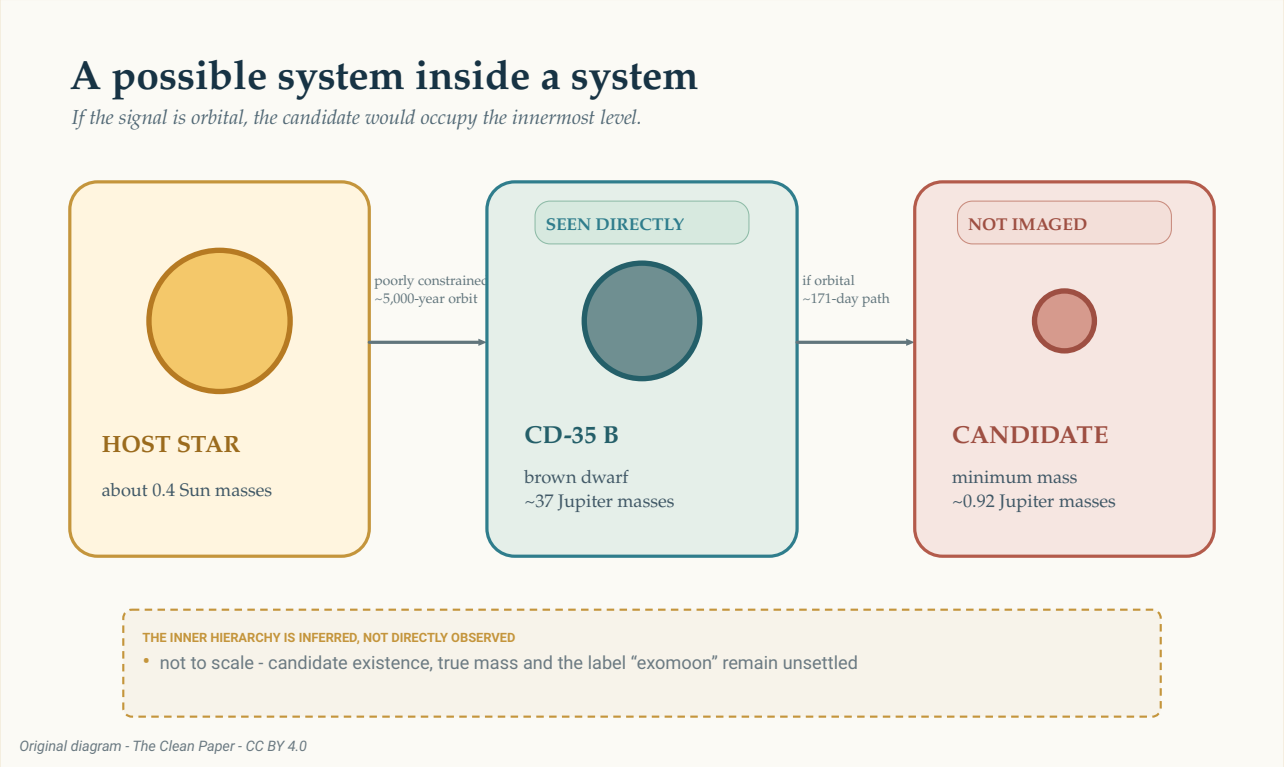
Original chart — The Clean Paper; data from Hoy et al., Nature (2026), Figure 1 source workbook CC BY 4.0

Sistēma sistēmas iekšienē

CD-35 2722 B ir **brūnais punduris** — objekts starp ierastajām kategorijām. Tas ir masīvāks par tipisku milzu planētu, bet nepietiekami masīvs, lai spīdētu kā parasta zvaigzne, kurā notiek ūdeņraža kodolsintēze. Darbā izmantots masas novērtējums ap **37 Jupiteriem**.

Brūnais punduris tika atklāts ar tiešo attēlošanu — teleskopi izšķīra tā gaismu atsevišķi no centrālās zvaigznes gaismas. Pie debesīm tas atrodas apmēram 2,8 loka sekundes no zvaigznes. Plašā orbīta, kas saista šo pāri, ir vāji zināma, taču pašreizējie novērtējumi liecina par stipri izstieptu trajektoriju ar aptuveni **5000 gadu** periodu.

Ja periodiskais signāls ir orbitāls, izsecinātā uzbūve kandidātu novietotu vēl vienu līmeni dziļāk: zvaigzne, ap kuru riņķo brūnais punduris, un planētas masas pavadonis, kas riņķo ap šo brūno punduri.



Ja signāls ir orbitāls, kandidāts ieņemtu šīs iespējamās hierarhijas visiekšējo līmeni. Tieši novērots ir tikai brūnais punduris. Ārējā orbīta ap zvaigzni ir vāji ierobežota, savukārt aptuveni 171 dienas iekšējā trajektorija ir izsecināta no izmērītās brūnā pundura svārstības. Izmēri un attālumi nav attēloti mērogā.

The Clean Paper CC BY 4.0

Šādu iespējamu hierarhiju ir viegli uzzīmēt. Tās fiziskā realitāte un terminoloģija nav atrisināta. Vai planētas masas ķermenis, kas riņķo ap brūno punduri, ir mēness, planēta vai vienkārši pavadonis? Astronomiem nav vispārpieņemta noteikuma, kas šo jautājumu izšķirtu. Tāpēc darbā izmantots plašākais vārds **eksopavadonis**.

Kā 23 naktis kļuva par svārstību

Komanda novēroja CD-35 2722 B (skatiet tā NASA Eyes on Exoplanets ierakstu) ar CRIRES+ — augstas izšķirtspējas spektrogrāfu Eiropas Dienvidu observatorijas Ļoti lielajā teleskopā. No 2023. gada oktobra līdz 2026. gada februārim tika iegūti 26 novērojumu laikpunkti. Vienā bija pārāk maz signāla, bet divi sliktos laikapstākļos iegūtie tika noraidīti un atkārtoti, atstājot **23 augstas kvalitātes naktis**.

Spektrogrāfs izklāj gaismu detalizētā līniju rakstā. Kad avots kustas Zemes virzienā vai prom no tās, šīs līnijas pavirzās par niecīgu daudzumu. Atkārtotus šīs kustības pa redzes līniju mērījumus sauc par **radiālajiem ātrumiem**. Tie nerāda apslēpto ķermeni. Tie rāda, kā novērojamais ķermenis varētu

kustēties neredzama vilkmes spēka ietekmē.

Spēcīgākais periodiskums mērījumos atrodas ap 170 dienām. Tas pārsniedz pētījuma **0,1% viltus trauksmes varbūtības slieksni**. Šis slieksnis jautā, cik bieži troksnis, pieņemot konkrētā testa nosacījumus, radītu vismaz tik spēcīgu periodogrammas maksimumu. Tas nav apgalvojums, ka ar 99,9% varbūtību pavadonis pastāv, un pats par sevi neko nepasaka par to, vai pavadoņu ir viens vai divi.

> **Ko var noteikt radiālā ātruma signāls?**
>
> Radiālā ātruma metode pārvērš atkārtotas spektrālo līniju nobīdes kustības mērījumos novērotāja virzienā un prom no tā. Atkārtojošu rakstu var pielāgot orbītas vienādojumiem, ļaujot pētniekiem izsecināt periodu, izmērītās svārstības lielumu un pavadoņa minimālo masu.
> Taču metode pavadoni tieši nefotografē. Zvaigznes vai zemzvaigžņu objekta atmosfēra arī var nobīdīt spektrālās līnijas, novērojumu grafiks var radīt maldinošus ritmus, un dažādas orbītu konfigurācijas var atdarināt cita citu. Signāls, tā fiziskais skaidrojums un izsecinātajam objektam dotais nosaukums ir atsevišķi jautājumi.

Pirms orbitālās atbildes uzmanību pelna pats novērojumu izlases raksturs. Četri īpaši zemi radiālā ātruma mērījumi būtiski ietekmē rakstu. Tie iegūti divos pāros pie labiem ziņotajiem apstākļiem, un neviens atsevišķs punkts neradīja signālu, kad autori atkārtoja analīzi, ikreiz izņemot pa vienam punktam. Tomēr novērota tikai daļa iespējamo orbītas fāžu. Divdesmit trīs naktis vairāk nekā divu gadu laikā nav tas pats, kas nepārtraukts pārklājums.

Autori pārbaudīja arī iespējamu pusgada artefaktu. Nepilnīga Zemes mainīgās kustības vai instrumenta profila korekcija varētu radīt viltus gada signālu, ko novērojumu izlase pārveido par pusgada jeb **182,5 dienu** periodu. Viņu izvēlētais periods ir **171,11 dienas**, ar nenoteiktību +0,53/-0,36 dienas; autori ziņo, ka tas atrodas apmēram 20 standartnovirzes no 182,5 dienām. Viņi arī neziņo par korelāciju ar Zemes mainīgo kustību, atmosfēras redzamības kvalitāti, atmosfēras ūdens tvaiku vai pārbaudītajām instrumenta īpašībām. Tās ir svarīgas kontroles. Tās padara orbitālu skaidrojumu pietiekami pārliecinošu, lai to modelētu, taču pašas par sevi objektu neidentificē.

Vienkāršākā orbitālā atbilde: viens pavadonis

Priekšroku guvušajā modelī viens objekts riņķo ap brūno punduri ekscentriskā jeb nedaudz izstieptā orbītā ik pēc 171,11 dienām. Pielāgotās orbītas ekscentricitāte ir ap **0,27**, bet lielā pusass — ap **0,200 astronomiskajām vienībām**, tas ir, apmēram viena piektdaļa no vidējā Zemes un Saules attāluma.

Izmērītās svārstības amplitūda ir ap **318 metriem sekundē**. No šīs kustības modelis pavadoņa minimālo masu novērtē ap **0,92 Jupitera masas**.

Vārdam *minimālā* ir nozīme. Radiālais ātrums mēra tikai to orbītas kustības daļu, kas vērsta mūsu virzienā un prom no mums. Ja orbītu redzam no malas, liela daļa tās kustības parādās pa šo līniju. Ja

to redzam vairāk no augšas, liela daļa kustības notiek šķērsām debesīm, un, lai radītu to pašu izmērīto svārstību, būtu vajadzīgs masīvāks pavadonis.

Astronomi rezultātu raksta kā **m sin(i)**: masa, kas reizināta ar nezināmā orbītas slīpuma jeb skatīšanās leņķa sinusu. Dati ierobežo šo reizinājumu, nevis pašu patieso masu. Tāpēc ap 0,92 Jupitera masas ir apakšējā robeža, nevis objekta precīzās masas mērījums.

> **Kāpēc skatīšanās leņķis apslēpj masu?**
>
> Iedomājieties, ka uz apļveida skrejceļu skatāties no sāniem. Skrējējs atkārtoti kustas jūsu virzienā un prom no jums, tāpēc šo kustības komponenti ir viegli izmērīt. Tagad paskatieties uz to pašu trasi no augšas. Skrējējs pārvietojas galvenokārt šķērsām jūsu skatam un gandrīz nemaz jūsu virzienā vai prom no jums.
> Radiālais ātrums redz tikai pirmo komponenti. Matemātiskais koeficients `sin(i)` apraksta, cik liela orbītas kustības daļa ir vērsta pa mūsu redzes līniju. Kamēr slīpums `i` nav zināms, izsecinātā masa paliek tikai minimums.

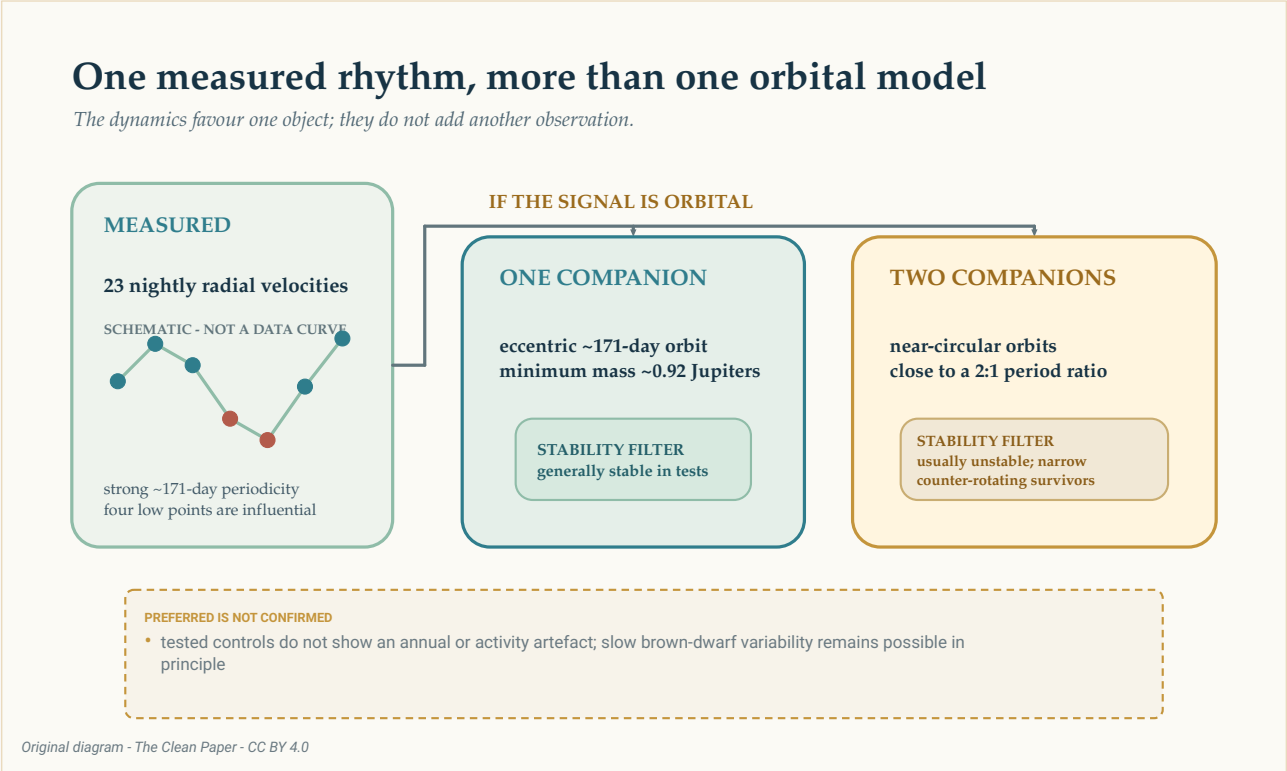
Pēc tam autori jautāja, vai šāda orbīta varētu saglabāties, nevis ātri pati sevi izjaukt. Viņu skaitliskie testi parādīja, ka viena pavadoņa modelis kopumā ir stabils. Tas padara to par fiziski ticamu signāla interpretāciju. Tas nav otrs neatkarīgs atklājums.

Neērtā atbilde: divi pavadoņi var atdarināt vienu

Ekscentriskam radiālā ātruma signālam ir zināma neskaidrība. Noteiktos apstākļos divi objekti gandrīz apļveida orbītās, vienam apriņķojot apmēram divreiz ilgāk nekā otram, var radīt kopīgu rakstu, kas atgādina vienu objektu izstieptā orbītā.

Šī neskaidrība parādās arī šeit. Divu pavadoņu modelis var pielāgoties pašreizējiem mērījumiem ar ārējo signālu ap 171 dienu un īsāka perioda iekšējo signālu. Tā kā novērojumu laiki visas fāzes neizlasa vienmērīgi, īsākajam signālam ir vairāki aliases jeb aizstājējperiodi. Tā kā 23 atlasītās naktis atstāj garus pārtraukumus, dažādi izmēģinājuma periodi starp novērojumiem var ietvert atšķirīgu skaitu neredzētu ciklu un tomēr sakrist ar tiem pašiem mērījumiem. Tāpēc kandidātperiodi ap 14, 70, 88 un 115 dienām ir alternatīvi pielāgojumi vienam slikti izlasītam īsākam signālam, nevis četri neatkarīgi atklāti ritmi.

Autori noraida vāji ierobežoto 13–17 dienu logu. Šajā reģionā pielāgojums neizceļ vienu pārliecinošu periodu: daudzi cieši izvietoti risinājumi zem aptuveni 20 dienām spēj reproducēt retās frekvences mērījumus, tāpēc viss logs, visticamāk, ir izlases artefakts. No atlikušajiem logiem aptuveni 88 dienu risinājums pielāgojas labāk nekā aptuveni 70 un 115 dienu alternatīvas, bet ne tik daudz, lai darbā apgalvotu, ka zināms otrs periods. Tabulā dotajā labākajā pielāgojumā ārējā objekta minimālā masa ir ap 0,87 Jupitera masas, bet iekšējā — ap 0,22 Jupitera masas. Šie skaitļi raksturo mazāk atbalstītu modeli; tie nav divu konstatētu pasauļu masas mērījumi.



Ja aptuveni 171 dienas signāls ir orbitāls, to pašu plašo radiālā ātruma rakstu var attēlot ar vienu ekscentrisku pavadoni vai diviem gandrīz apļveida pavadoņiem, kuru periodu attiecība ir tuva divi pret vienu. Stabilitātes testi dod priekšroku viena objekta interpretācijai, taču tie nepārvērš modeli par attēlu un neizslēdz visas lēnas brūnā pundura mainības formas.

The Clean Paper CC BY 4.0

Stabilitātes aprēķini salīdzinājumu padara asāku. Lielākajā daļā pārbaudīto divu pavadoņu konfigurāciju viens objekts tika izmests dažu simtu simulētu gadu laikā. Izdzīvojušās konfigurācijas atradās šaurā un neparastā reģionā, kur orbītas bija gandrīz vienā plaknē, bet objekti kustējās pretējos virzienos. Centrālā zvaigzne ieviesa vēl citus nestabilus reģionus.

Tas ir iemesls dot priekšroku vienam ekscentriskam pavadonim, salīdzinot ar pārbaudītajām divu pavadoņu sistēmām. Tas nav pierādījums, ka daba izvēlējusies vienkāršāko modeli. Stabilitāte filtrē iespējamās interpretācijas pēc radiālo ātrumu izmērīšanas; tā nepievieno līknei vēl vienu novērotu punktu.

Kā viena ekscentriska orbīta var izskatīties kā divas apļveida?

Ideāla apļveida orbīta rada vienkāršu atkārtojošos radiālā ātruma vilni. Ekscentriska orbīta šim vilnim pievieno deformācijas. Divas apļveida orbītas ar periodiem, kuru attiecība ir tuva divi pret vienu, var apvienoties tā, ka viens signāls nodrošina galveno ritmu, bet otrs — līdzīgu deformāciju.
Tā ir **orbitāla deģenerācija**: dažādas fiziskas sistēmas rada līdzīgus mērījumus. Vairāk novērojumu brīžos, kad modeļi prognozē atšķirīgus ātrumus, var izšķirt šo situāciju. Dinamikas tests palīdz, jautājot, vai katra ierosinātā sistēma vispār varētu saglabāties, taču tas nevar aizstāt šos

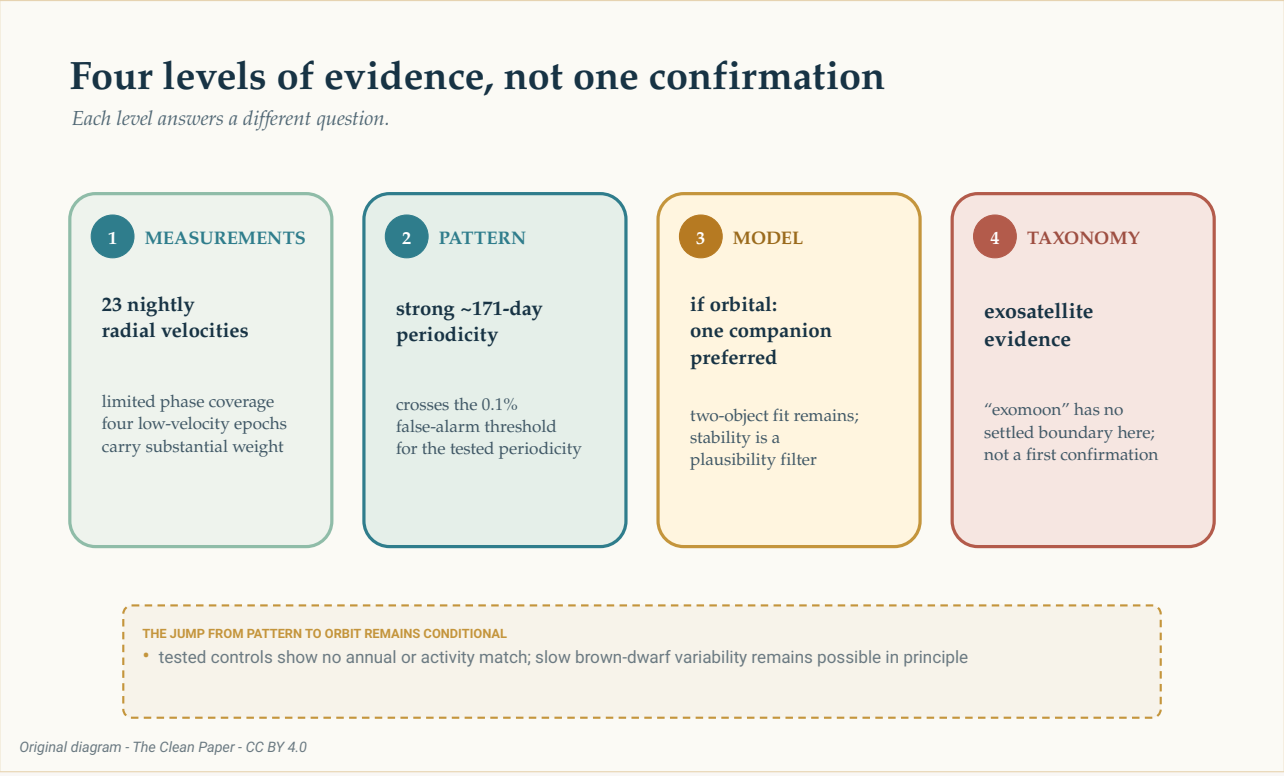
> novērojumus.

Vai ritms varētu nākt no paša brūnā pundura?

Brūnais punduris nav klusa testa masa. Tā atmosfēra rotē, veido mākoņus un var būt magnētiski aktīva. Mainīgi virsmas raksti var pārveidot spektrālo līniju formu un atdarināt kustību.

CD-35 2722 B novērtētais maksimālais rotācijas periods ir ap **0,65 dienām** — daudz īsāks par 171 dienu. Komanda pārbaudītajos aktivitātes modeļos neatrada spēcīgu īsu rotācijas signālu vai pārliecinošu mākoņiem vai granulācijai līdzīgu signālu. Tā pārbaudīja arī gada perioda novērojumu izlasi un instrumenta lielumus, neatrodot atbilstību 171 dienas ritmam.

Šīs pārbaudes sašaurina alternatīvas, taču darbā nav apgalvots, ka visa iekšējā mainība būtu izslēgta. Principā nevar izslēgt brūnā pundura ilgtermiņa magnētisko aktivitāti vai atmosfēras cirkulāciju. Šai atlikušajai iespējai jāatrodas līdzās orbitālajiem modeļiem, nevis jābūt paslēptai aiz tiem.



Pierādījumi paceļas caur atsevišķiem līmeņiem: 23 nakšu radiālie ātrumi ar ierobežotu fāžu pārklājumu, spēcīgs aptuveni 171 dienas periodiskums, priekšroka viena pavadoņa modelim, ja signāls ir orbitāls, un visbeidzot nenostiprināts "eksomēness" apzīmējums. Šī kāpņu shēma nošķir mērījumu, statistisku rakstu, fizisku interpretāciju un taksonomiju; tā nav apstiprinājuma bulta.

The Clean Paper CC BY 4.0

Vai tas ir eksomēness?

Saules sistēmā mēness riņķo ap planētu. CD-35 2722 B ir brūnais punduris, un izsecinātā pavadoņa patiesā masa vēl nav zināma. Ierastie nosaukumi sāk kļūt neērti, ja viens objekts atrodas pie planētas un brūnā pundura robežas, bet otrs — pie mēness un planētas robežas.

Darbs nepretendē uz pirmo apstiprināto eksomēnesi. Tajā teikts, ka neviens eksomēness vēl nav pārliecinoši atklāts, sniegti pierādījumi par planētas masas **eksopavadoni**, un sistēma raksturota kā solis ceļā uz neapstrīdamu atklājumu. Diskusija par iespējamo novitāti sākas nosacīti: ja signāls izrādīsies īsts.

Šī piesardzība nepadara rezultātu tukšu. Tieši mērīt radiālos ātrumus no blāva brūnā pundura pavadoņa ir grūti. Ja turpmākie novērojumi saglabās signālu, sistēma parādītu, ka planētu meklēšanas metodes spēj sasniegt vēl vienu debesu hierarhijas līmeni.

Vēl viena novērojumu sezona var paveikt vairāk nekā tikai pievienot punktus. Viena un divu pavadoņu modeļi konkrētos nākotnes laikos prognozē atšķirīgus ātrumus. Mērījumi, kas aizpilda trūkstošās orbītas fāzes, var pārbaudīt, vai 171 dienas ritms saglabājas, mazināt četru zemo punktu ietekmi un likt konkurējošajām līknēm atšķirties.

Pašlaik godīgākais attēls nav jauns mēness, kas karājas pie brūnā pundura. Tas ir spektrs, atkārtots nakti pēc nakts, ar nelielu periodisku nobīdi. Šajā ritmā var būt pasaule. Sasniegums ir iemācīties, cik daudz no tā var izsecināt, neizliekoties, ka secinājums jau ir pabeigts.

Īss kopsavilkums

Astronomi izmērīja tieši attēlotā brūnā pundura CD-35 2722 B radiālo ātrumu 23 augstas kvalitātes naktīs no 2023. gada oktobra līdz 2026. gada februārim. Tā spektrālās līnijas uzrāda spēcīgu periodisku nobīdi ap 171 dienu. Priekšroku guvušais orbitālais modelis satur vienu ekscentrisku pavadoni ar minimālo masu ap 0,92 Jupitera masām, taču patiesā masa nav zināma, jo nav zināms orbītas slīpums. Divi gandrīz apļveida pavadoņi var atdarināt to pašu plašo signālu, lai gan lielākā daļa pārbaudīto divu objektu konfigurāciju bija dinamiski nestabilas. Četri zema ātruma novērojumi ir ietekmīgi, un orbītas fāžu pārklājums joprojām ir ierobežots: novērojumi izlasa tikai izvēlētas iespējamā 171 dienas cikla daļas, nevis nepārtraukti izseko to visās fāzēs. Pārbaudes neidentificēja rotāciju, gada perioda izlasi, laikapstākļus vai pārbaudītās instrumenta īpašības kā signāla avotu, taču ilgtermiņa brūnā pundura mainību principā nevar izslēgt. Neredzamais objekts netika tieši attēlots, viena objekta modelim tiek dota priekšroka, nevis tas ir apstiprināts, un nav vispārpieņemta noteikuma, kas noteiktu, ka planētas masas ķermenis orbītā ap brūno punduri ir eksomēness.

Bez pārspīlējumiem

Kas tika novērots: Divdesmit trīs nakšu CD-35 2722 B radiālā ātruma mērījumos ir spēcīgs aptuveni 171 dienas periodiskums. Pats brūnais punduris tika tieši attēlots; ierosinātais pavadonis — ne.

Kam autori dod priekšroku: Ja signāls ir orbitāls, viens ekscentrisks pavadonis ar minimālo masu tuvu Jupitera masai sniedz vienkāršāko dinamiski ticamo pašreizējo datu interpretāciju.

Kas paliek atklāts: Divi pavadoņi var pielāgoties radiālajiem ātrumiem, lai gan pārbaudītās sistēmas parasti ir nestabilas; ilgtermiņa brūnā pundura mainība principā nav izslēgta; un nezināmais skatīšanās leņķis atstāj pavadoņa patieso masu nenoteiktu.

Ko darbs nenosaka: Pirmo apstiprināto eksomēnesi, tieši redzētu pavadoni, tieši vienu orbītā esošu objektu, patieso masu 0,92 Jupitera masas vai 99,9% varbūtību, ka vēlamais fiziskais modelis ir pareizs.

Kas palielinātu pārliecību: Turpināti radiālā ātruma mērījumi, kas aptver vairāk orbītas fāžu, pārbauda, vai 171 dienas signāls saglabājas, un ievāc datus laikos, kad viena un divu pavadoņu modeļi sniedz atšķirīgas prognozes.

Avoti

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