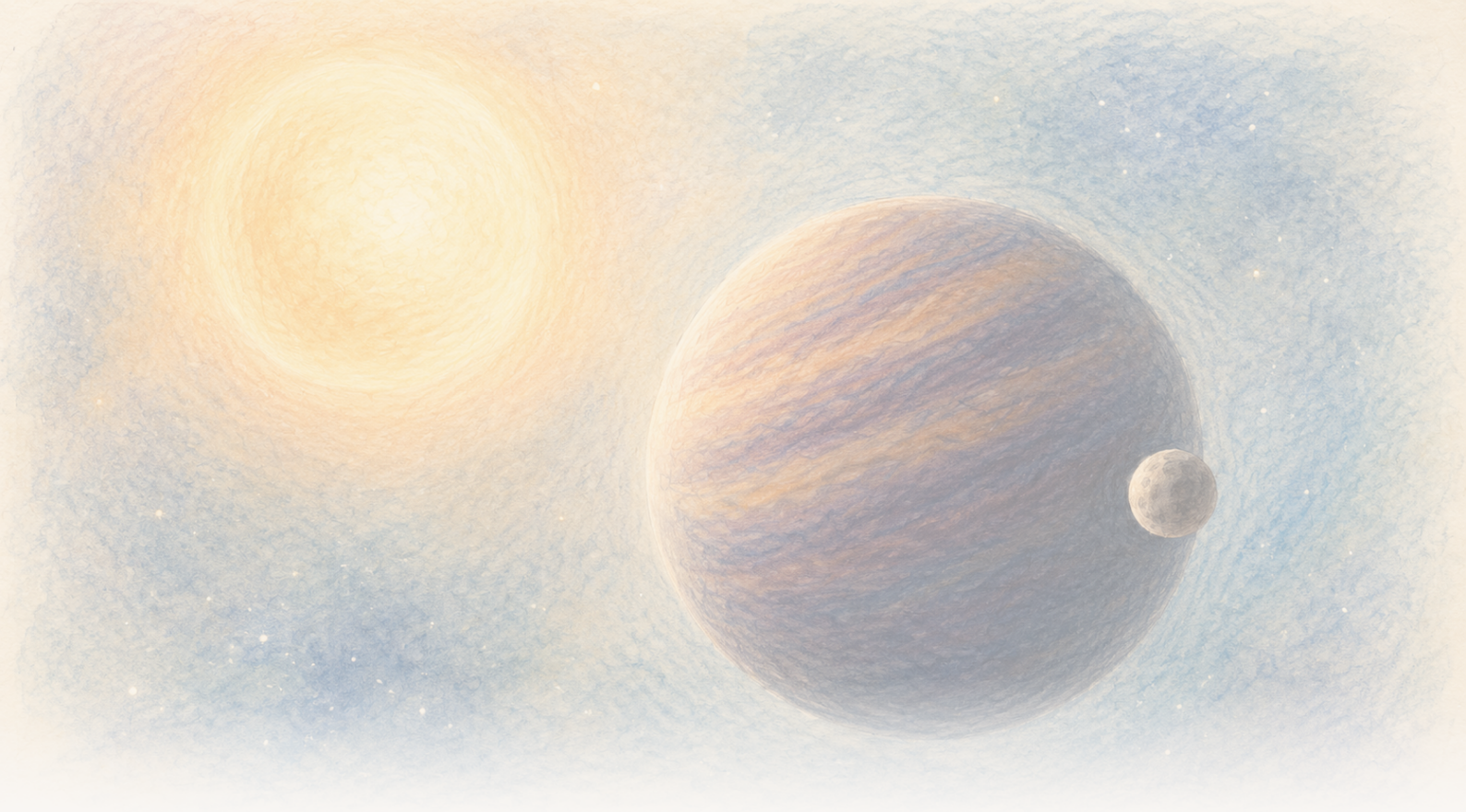


The Clean Paper

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

Кафеаво цуце изгледа дека се ниша на секои 171 ден. Можеби го влече еден скриен свет, но податоците сè уште дозволуваат и два

Дваесет и три висококвалитетни спектри откриваат силно периодично поместување во движењето на CD-35 2722 B. Претпочитаниот модел е еден ексцентричен придружник со минимална маса близу масата на Јупитер, но модел со два објекта може да го имитира истиот сигнал, бавна варијабилност на кафеавото цуце принципиелно останува можна, а зборот „егзомесечина“ тука нема договорена граница.

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

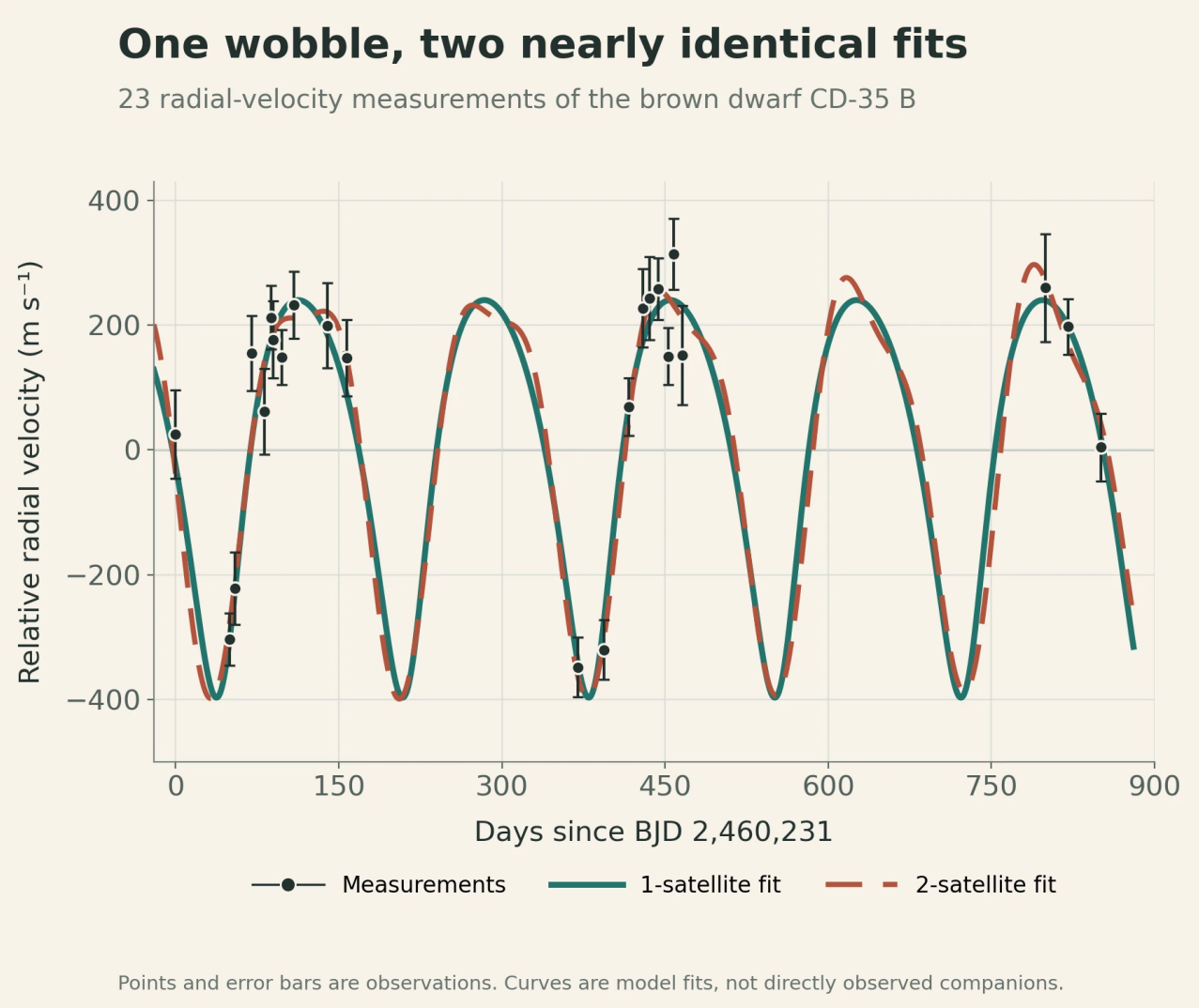
Кафеаво џуџе изгледа дека се ниша на секои 171 ден. Можеби го влече еден скриен свет, но податоците сè уште дозволуваат и два

Астрономите можат да го видат CD-35 2722 B како сопствена светлосна точка, одделена од ѕвездата околу која се движи. Тоа е кафеаво џуџе, во масен режим меѓу џиновските планети и ѕвездите: со приближно 37 маси на Јупитер, помасивно е од типична џиновска планета, но не е нормална ѕвезда што согорува водород. Она што не можат да го видат е помалиот објект што можеби орбитира околу самото кафеаво џуџе. Ако се потврди, тој највнатрешен објект би го направил ова првата набљудувана хиерархија во која сателит орбитира околу поголем субѕвезден објект, кој самиот орбитира околу ѕвезда.

Наместо тоа, тие гледаат ритам. Во некои ноќи светлината на кафеавото џуџе е малку поместена додека тоа се движи кон Земјата. Во други, е поместена во спротивна насока додека кафеавото џуџе се оддалечува. Образецот се повторува приближно на секои **171 ден**.

Таквото движење напред-назад е токму она што може да го создаде невидлив придружник: додека два објекта орбитираат околу заеднички центар на маса, помалиот кружи околу поголемиот, но и поголемиот прави многу помала орбитална јамка. Ако овој ритам е орбитален, нов труд во Nature претставува еден објект со планетарна маса како претпочитано објаснување за јамката измерена околу CD-35 2722 B.

Тоа е извонредна можност, а не фотографија на месечина. Дваесет и три висококвалитетни ноќи на набљудување откриваат силен периодичен сигнал. Претворањето на тој сигнал во свет бара модел, а сегашните податоци сè уште дозволуваат повеќе од една архитектура. Тие исто така не ги исклучуваат целосно бавните промени во самото кафеаво џуџе.



Црните точки и лентите на грешка се 23-те ноќни мерења на радијална брзина. Полната и испрекинатата крива се најдобрите фитови за модел со еден и со два сателита. Нивното речиси целосно преклопување покажува зошто податоците можат да откријат периодично нишање, а сè уште да не ја определат архитектурата на системот; ниту една крива не е директна слика на придружник.

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

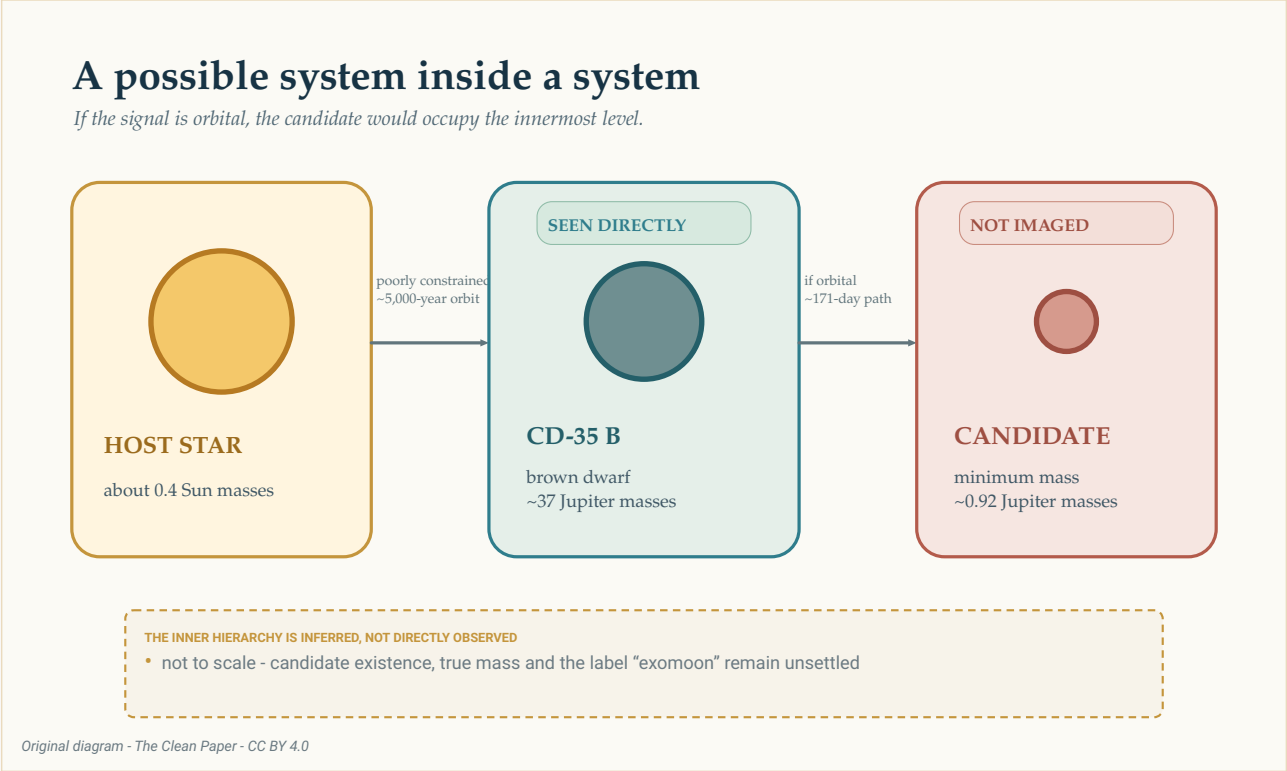
Систем во систем

CD-35 2722 B е **кафеаво џуџе**: објект меѓу познатите категории. Помасивно е од типична џиновска планета, но не е доволно масивно за да свети како нормална ѕвезда што согорува водород. Трудот користи проценета маса од околу **37 Јупитери**.

Кафеавото џуџе било откриено со директно снимање, што значи дека телескопите ја разрешиле неговата светлина одделно од светлината на матичната ѕвезда. На небото се појавува на околу 2,8 аглови секунди од ѕвездата. Широката орбита што ги поврзува двата објекта е слабо позната, но сегашните проценки упатуваат на многу издолжена

патека што трае приближно **5.000 години**.

Ако периодичниот сигнал е орбитален, изведената архитектура би го сместила кандидатот едно ниво подлабоко: ѕвезда околу која орбитира кафеаво џуџе, со придружник со планетарна маса што орбитира околу тоа кафеаво џуџе.



Ако сигналот е орбитален, кандидатот би го заземал највнатрешното ниво во оваа можна хиерархија. Само кафеавото џуџе е директно видено. Надворешната орбита околу ѕвездата е слабо ограничена, додека внатрешната патека од приближно 171 ден се изведува од измереното нишање на кафеавото џуџе. Големините и растојанијата не се во размер.

The Clean Paper CC BY 4.0

Таквата можна хиерархија лесно се црта. Нејзината физичка реалност и терминологијата не се решени. Дали тело со планетарна маса што орбитира околу кафеаво џуџе се смета за месечина, планета или едноставно сателит? Астрономите немаат прифатено правило што го решава прашањето. Затоа трудот го користи поширокиот збор **егзосателит**.

Како 23 ноќи станаа нишање

Тимот го набљудувал CD-35 2722 B (видете го неговиот запис во NASA Eyes on Exoplanets) со CRIRES+, спектрограф со висока резолуција на Very Large Telescope на Европската јужна опсерваторија. Меѓу октомври 2023 и февруари 2026 година добиле 26 набљудувачки епохи. Една имала премал сигнал, а две направени при лошо време

биле отфрлени и повторени, оставајќи **23 висококвалитетни ноќи**.

Спектрографот ја распрснува светлината во детален образец од линии. Кога изворот се движи кон или од Земјата, тие линии се поместуваат за многу мала количина. Повторените мерења на ова движење долж линијата на видик се нарекуваат **радијални брзини**. Тие не го покажуваат скриеното тело. Тие покажуваат како набљудуваното тело можеби се движи под влијание на невидливо привлекување.

Најсилната периодичност во мерењата е близу 170 дена. Таа го надминува **прагот на веројатност за лажна тревога од 0,1%** во студијата. Тој праг прашува колку често шумот, под претпоставките на тестот, би создал врв во периодограм барем толку силен. Тоа не е веројатност од 99,9% дека постои сателит и само по себе не кажува ништо за тоа дали има еден или два придружници.

> **Што може да утврди сигналот на радијална брзина?**
>
> Радијалната брзина ги претвора повторените поместувања на спектралните линии во мерења на движењето кон и од набљудувачот. Повторувачки образец може да се фитува со равенките на орбита, што им овозможува на истражувачите да изведат период, големина на измереното нишање и минимална маса на придружникот.
> Но методот не го фотографира директно придружникот. Ѕвездена или субѕвездена атмосфера исто така може да ги поместува спектралните линии, распоредот на набљудувањата може да создаде лажни ритми, а различни орбитални распореди можат да се имитираат еден со друг. Сигналот, неговото физичко објаснување и името дадено на изведениот објект се одделни прашања.

Вреди да се обрне внимание на земањето примероци пред да се прифати орбиталниот одговор. Четири особено ниски мерења на радијална брзина носат значителна тежина во образецот. Тие се случиле во два пара, при пријавени добри услови, а ниту една точка сама не го создала сигналот кога авторите ја повториле анализата отстранувајќи по една точка. И покрај тоа, измерен е само дел од можните орбитални фази. Дваесет и три ноќи распоредени во повеќе од две години не се исто што и континуирано покривање.

Авторите тестирале и можен полугодишен артефакт. Несовршена корекција за променливото движење на Земјата или за профилот на инструментот може да создаде лажен годишен сигнал што земањето примероци го алијасира на половина земјина година, односно **182,5 дена**. Нивниот претпочитан период е **171,11 дена**, со неизвесност од +0,53/-0,36 дена; авторите пријавуваат дека тоа е околу 20 стандардни девијации од 182,5 дена. Исто така пријавуваат дека нема корелација со променливото движење на Земјата, seeing-от, атмосферската водена пареа или својствата на инструментот што ги испитале. Ова се важни контроли. Тие го прават орбиталното објаснување доволно убедливо за моделирање, но сами по себе не го идентификуваат објектот.

Наједноставниот орбитален одговор: еден придружник

Во претпочитаниот модел, еден објект следи ексцентрична, односно донекаде издолжена орбита околу кафеавото џуџе на секои 171,11 дена. Фитираната орбита има ексцентричност од околу **0,27** и голема полуоска од околу **0,200 астрономски единици** — приближно една петтина од просечното растојание Земја-Сонце.

Измереното нишање има амплитуда од околу **318 метри во секунда**. Од тоа движење, моделот му дава на придружникот минимална маса од околу **0,92 пати масата на Јупитер**.

Зборот *минимална* е важен. Радијалната брзина го мери само делот од орбиталното движење насочен кон и од нас. Ако орбитата ја гледаме од раб, најголем дел од нејзиното движење се појавува долж таа линија. Ако ја гледаме повеќе одозгора, голем дел од движењето минува преку небото наместо кон и од нас, па би бил потребен помасивен придружник за да го произведе истото измерено нишање.

Астрономите резултатот го запишуваат како **m sin(i)**: масата помножена со синусот на непознатата инклинација, односно аголот под кој ја гледаме орбитата. Податоците го ограничуваат тој производ, а не вистинската маса сама по себе. Затоа околу 0,92 маси на Јупитер е долна граница, а не мерење на точната маса на објектот.

> **Зошто аголот на гледање ја крие масата?**
>
> Замислете дека кружна патека ја гледате од страна. Тркачот постојано се движи кон вас и од вас, па таа компонента на движењето лесно се мери. Сега погледнете ја истата патека одозгора. Тркачот се движи главно попречно низ вашиот видик и речиси воопшто не се приближува или оддалечува.
> Радијалната брзина ја гледа само првата компонента. Математичкиот фактор `sin(i)` опишува колку од орбиталното движење е насочено долж нашата линија на видик. Додека не се знае инклинацијата `i`, изведената маса останува минимална.

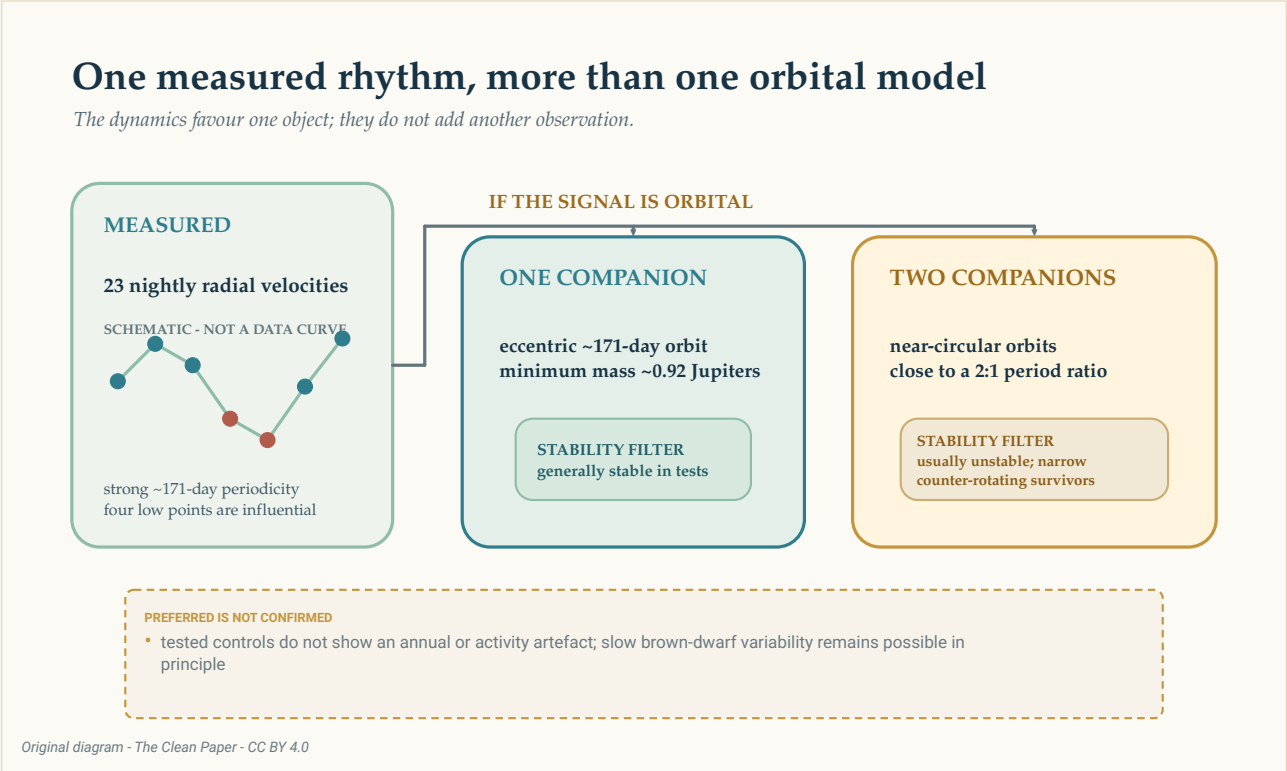
Потоа авторите прашале дали оваа орбита би можела да опстане наместо брзо да се уништи. Нивните нумерички тестови покажале дека моделот со еден придружник генерално е стабилен. Тоа го прави физички веројатно толкување на сигналот. Не претставува второ откритие.

Непријатниот одговор: два придружника можат да имитираат еден

Ексцентричен сигнал на радијална брзина има позната двосмисленост. Под одредени услови, два објекта во речиси кружни орбити, при што едниот има период приближно двојно подолг од другиот, можат заедно да создадат образец што личи на еден објект во издолжена орбита.

Таа двосмисленост се појавува и тука. Модел со два придружника може да ги фитува сегашните мерења со надворешен сигнал близу 171 ден и пократок внатрешен сигнал. Бидејќи времињата на набљудување не ја примеркуваат рамномерно секоја фаза, пократкиот сигнал има неколку алијаси. Бидејќи 23-те избрани ноќи оставаат долги празнини, различни пробни периоди можат да вбројат различен број невидени циклуси меѓу посетите и сепак да се усогласат со истите мерења. Затоа кандидатските периоди близу 14, 70, 88 и 115 дена се алтернативни фитови на еден слабо примеркуван пократок сигнал, а не четири независно откриени ритми.

Авторите го отфрлаат слабо ограниченото прозорец од 13 до 17 дена. Во тој регион фитот не издвојува еден убедлив период: многу тесно соседни решенија под околу 20 дена можат да ги репродуцираат мерењата со ниска временска густина, што го прави целиот прозорец веројатен артефакт на примеркувањето. Меѓу преостанатите прозорци, решението од приближно 88 дена фитува подобро од алтернативите околу 70 и 115 дена, но не доволно за трудот да тврди дека е познат втор период. Во табеларно дадениот најдобар фит, минималната маса на надворешниот објект е околу 0,87 маси на Јупитер, а на внатрешниот околу 0,22 маси на Јупитер. Тие бројки опишуваат помалку претпочитан модел; не се мерења на два утврдени света.



Ако приближно 171-дневниот сигнал е орбитален, истиот општ образец на радијална брзина може да се претстави со еден ексцентричен придружник или со два речиси кружни придружника близу однос на периоди два спрема еден. Тестовите на стабилност го фаворизираат толкувањето со еден објект, но тие не го претвораат моделот во слика и не ја исклучуваат секоја форма на бавна варијабилност на кафеавото џуџе.

The Clean Paper CC BY 4.0

Пресметките на стабилност ја изоструваат споредбата. Повеќето тестирани распореди со два придружника исфрлиле еден објект во рок од неколку стотици симулирани години. Преживеаните конфигурации зафаќале тесен и необичен регион во кој орбитите биле близу до иста рамнина, но се движеле во спротивни насоки. Матичната ѕвезда вовела дополнителни нестабилни региони.

Ова е причина да се претпочита еден ексцентричен придружник пред тестираниот систем со два придружника. Не е доказ дека природата го избрала поедноставниот модел. Стабилноста ги филтрира можните толкувања откако радијалните брзини веќе се измерени; не додава уште една набљудувана точка на кривата.

Како една ексцентрична орбита може да изгледа како две кружни?

Совршена кружна орбита создава едноставен повторувачки бран на радијална брзина. Ексцентрична орбита додава изобличувања на тој бран. Две кружни орбити со периоди близу однос два спрема еден можат да се комбинираат така што едниот сигнал го дава главниот ритам, а другиот создава слично изобличување.
Ова е **орбитална дегенерација**: различни физички системи создаваат слични

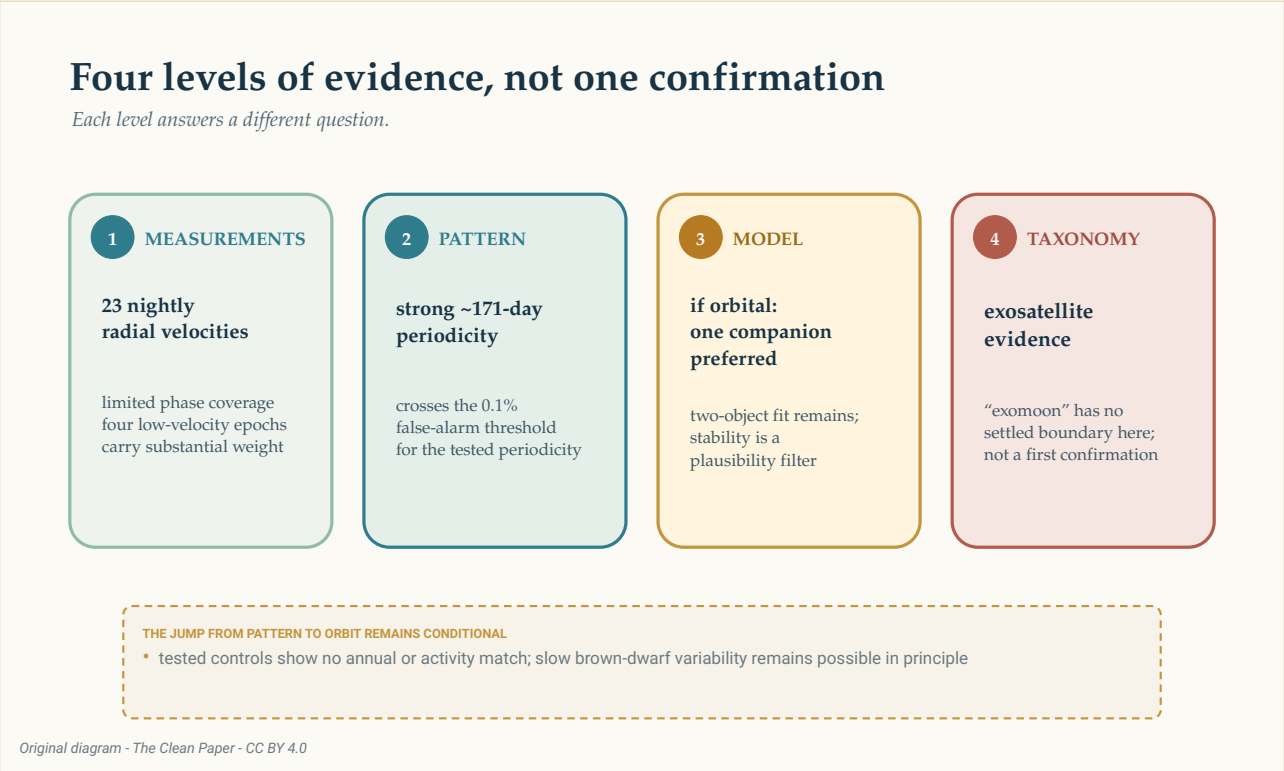
> мерења. Повеќе набљудувања во моменти кога моделите предвидуваат различни брзини можат да ја разрешат двосмисленоста. Динамички тест помага со прашањето дали секој предложен систем би можел да опстане, но не може да ги замени тие набљудувања.

Може ли ритамот да доаѓа од кафеавото џуџе?

Кафеавото џуџе не е тивка тест-маса. Неговата атмосфера ротира, создава облаци и може да има магнетна активност. Променливите површински обрасци можат да ги преобликуваат спектралните линии и да имитираат движење.

Проценетиот максимален период на ротација на CD-35 2722 B е околу **0,65 дена**, далеку пократок од 171 ден. Тимот не пронашол силен краток ротациски сигнал, ниту убедлив сигнал сличен на облаци или гранулација, во моделите на активност што ги тестирал. Исто така ги испитале годишното примеркување и инструменталните величини без да најдат совпаѓање со 171-дневниот ритам.

Тие проверки ги стеснуваат алтернативите, но трудот не тврди дека целата внатрешна варијабилност е елиминирана. Долгорочна магнетна активност или атмосферска циркулација во кафеавото џуџе не може принципиелно да се исклучи. Таа преостаната можност треба да стои покрај орбиталните модели, а не да биде скриена по нив.



Доказите се искачуваат низ одделни нивоа: 23 ноќни радијални брзини со ограничено фазно покривање,

силна периодичност од приближно 171 ден, претпочитан модел со еден придружник ако сигналот е орбитален и, на крај, нерешена етикета „егзомесечина“. Скалилото ги раздвојува мерењето, статистичкиот образец, физичкото толкување и таксономијата; не е стрелка на потврда.

The Clean Paper CC BY 4.0

Дали е егзомесечина?

Во Сончевиот Систем, месечина орбитира околу планета. CD-35 2722 B е кафеаво џуџе, а вистинската маса на изведениот придружник сè уште не е позната. Вообичаените имиња почнуваат да се напрегаат кога еден објект е близу границата планета–кафеаво џуџе, а друг близу границата месечина–планета.

Трудот не тврди дека е откриена првата потврдена егзомесечина. Тој вели дека досега нема егзомесечина откриена со висока сигурност, претставува докази за **егзосателит** со планетарна маса и го нарекува системот чекор кон недвосмислена детекција. Неговата дискусија за можната новина започнува условно: ако сигналот се покаже како вистински.

Таа претпазливост не го прави резултатот празен. Мерењето радијални брзини директно од слаб придружник-кафеаво џуџе е тешко. Ако продолжените набљудувања го зачуваат сигналот, системот би покажал дека методите за барање планети можат да стигнат уште едно ниво подлабоко во небесната хиерархија.

Уште една набљудувачка сезона може да направи повеќе од само додавање точки. Моделите со еден и два придружника предвидуваат различни брзини во одредени идни моменти. Мерењата што ќе ги пополнат недостасувачките орбитални фази можат да тестираат дали 171-дневниот ритам опстојува, да го намалат влијанието на четирите ниски точки и да направат конкурентните криви да се разликуваат.

Засега, најчесната слика не е нова месечина што виси покрај кафеаво џуџе. Тоа е спектар, повторуван ноќ по ноќ, кој носи мало периодично поместување. Можеби има свет во тој ритам. Достигнувањето е да се научи колку може да се изведе од него без да се глумиме дека инференцијата е веќе завршена.

Кратко резиме

Астрономите ја измериле радијалната брзина на директно сниманото кафеаво џуџе CD-35 2722 B во 23 висококвалитетни ноќи меѓу октомври 2023 и февруари 2026 година. Неговите спектрални линии покажуваат силно периодично поместување близу 171 ден. Претпочитаниот орбитален модел содржи еден ексцентричен придружник со минимална маса близу 0,92 маси на Јупитер, но вистинската маса е непозната бидејќи орбиталната инклинација е непозната. Два речиси кружни придружника можат да

го имитираат истиот општ сигнал, иако повеќето тестирани конфигурации со два објекта биле динамички нестабилни. Четири епохи со ниска брзина имаат големо влијание, а покривањето на орбиталните фази останува ограничено: набљудувањата земаат примероци само од избрани делови од можниот 171-дневен циклус наместо континуирано да го следат низ секоја фаза. Тестовите не ги идентификувале ротацијата, годишното примеркување, времето или испитаните својства на инструментот како извор, но долгорочна варијабилност на кафеавото џуџе принципиелно не може да се исклучи. Невидливиот објект не бил директно снимен, моделот со еден објект е претпочитан, а не потврден, и нема договорено правило според кое тело со планетарна маса што орбитира околу кафеаво џуџе е егзомесечина.

Проверка без претерување

Што беше набљудувано: Дваесет и три ноќни мерења на радијална брзина на CD-35 2722 B содржат силна периодичност од приближно 171 ден. Самото кафеаво џуџе било директно снимено; предложениот придружник не бил.

Што го претпочитаат авторите: Ако сигналот е орбитален, еден ексцентричен придружник со минимална маса близу масата на Јупитер е наједноставното динамички веројатно толкување на сегашните податоци.

Што останува отворено: Два придружника можат да ги фитуваат радијалните брзини, иако тестираниот систем обично е нестабилен; долгорочна варијабилност на кафеавото џуџе принципиелно не е исклучена; а непознатиот агол на гледање ја остава вистинската маса на придружникот неодредена.

Што трудот не утврдува: Прва потврдена егзомесечина, директно виден сателит, точно еден орбитирачки објект, вистинска маса од 0,92 маси на Јупитер или веројатност од 99,9% дека претпочитаниот физички модел е точен.

Што би ја зголемило довербата: Продолжени мерења на радијалната брзина што покриваат повеќе орбитални фази, тестираат дали 171-дневниот сигнал опстојува и земаат примероци во моменти кога моделите со еден и два придружника даваат различни предвидувања.

Извори

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