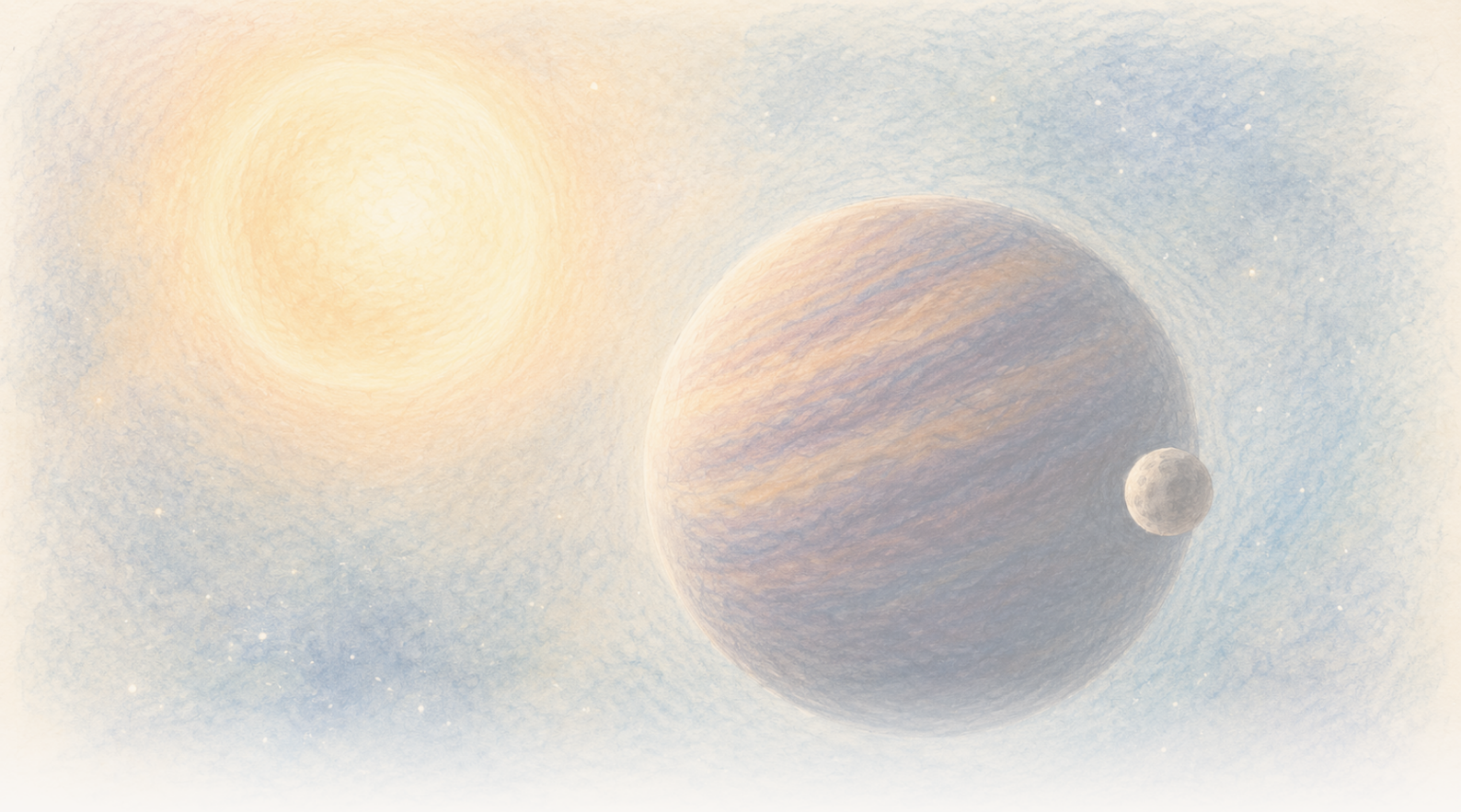


The Clean Paper

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

Кафяво джудже сякаш се поклаща на всеки 171 дни. Един скрит свят може да го дърпа, но данните все още допускат и два

Двадесет и три висококачествени спектъра разкриват силно периодично отместване в движението на CD-35 2722 B. Предпочитаният модел е един ексцентричен спътник с минимална маса близо до тази на Юпитер, но модел с два обекта може да имитира същия сигнал, бавна изменчивост на кафявото джудже принципно остава възможна, а думата „екзолуна“ няма установена граница тук.

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

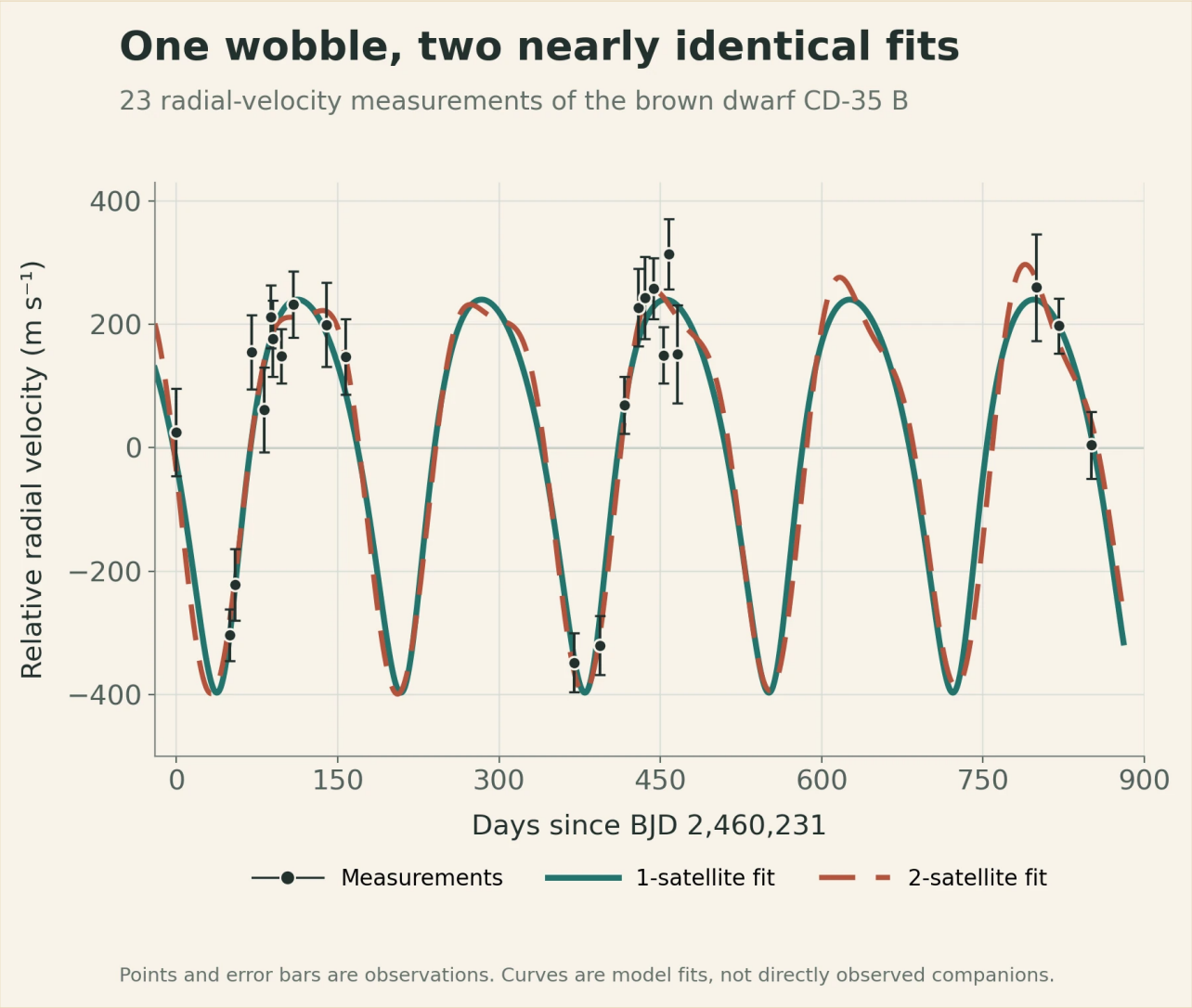
Кафяво джудже сякаш се поклаща на всеки 171 дни. Един скрит свят може да го дърпа, но данните все още допускат и два

Астрономите могат да видят CD-35 2722 B като отделна светлинна точка, отделена от звездата, около която се движи. То е кафяво джудже — в масовия диапазон между гигантските планети и звездите: с приблизително 37 маси на Юпитер е по-масивно от типична гигантска планета, но не е нормална звезда, изгаряща водород. Те не могат да видят по-малкия обект, който може да обикаля самото кафяво джудже. Ако бъде потвърден, този най-вътрешен обект би превърнал системата в първата наблюдавана йерархия със спътник около по-голям субзвезден обект, който от своя страна обикаля звезда.

Вместо това те виждат ритъм. В някои нощи светлината на кафявото джудже е леко изместена, когато то се движи към Земята. В други — когато се отдалечава. Моделът се повтаря приблизително на всеки **171 дни**.

Такова движение напред-назад може да бъде причинено от невидим спътник: докато два обекта обикалят около общ център на масата, по-малкият се движи около по-големия, но и по-големият описва много по-малка примка. Ако този ритъм е орбитален, нова статия в Nature представя един обект с планетарна маса като предпочитаното обяснение за измерената примка около CD-35 2722 B.

Това е забележителна възможност, не снимка на луна. Двадесет и три висококачествени нощи на наблюдения разкриват силен периодичен сигнал. Превръщането на този сигнал в свят изисква модел, а настоящите данни все още допускат повече от една архитектура. Те също така не изключват напълно бавни промени в самото кафяво джудже.



Черните точки и лентите на грешката са 23-те нощни измервания на радиалната скорост. Плътната и прекъснатата крива са най-добрите напасвания на моделите с един и два спътника. Почти пълното им припокриване показва защо данните могат да разкрият периодично поклащане, без все още да определят архитектурата на системата; нито една от кривите не е пряко изображение на спътник.

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

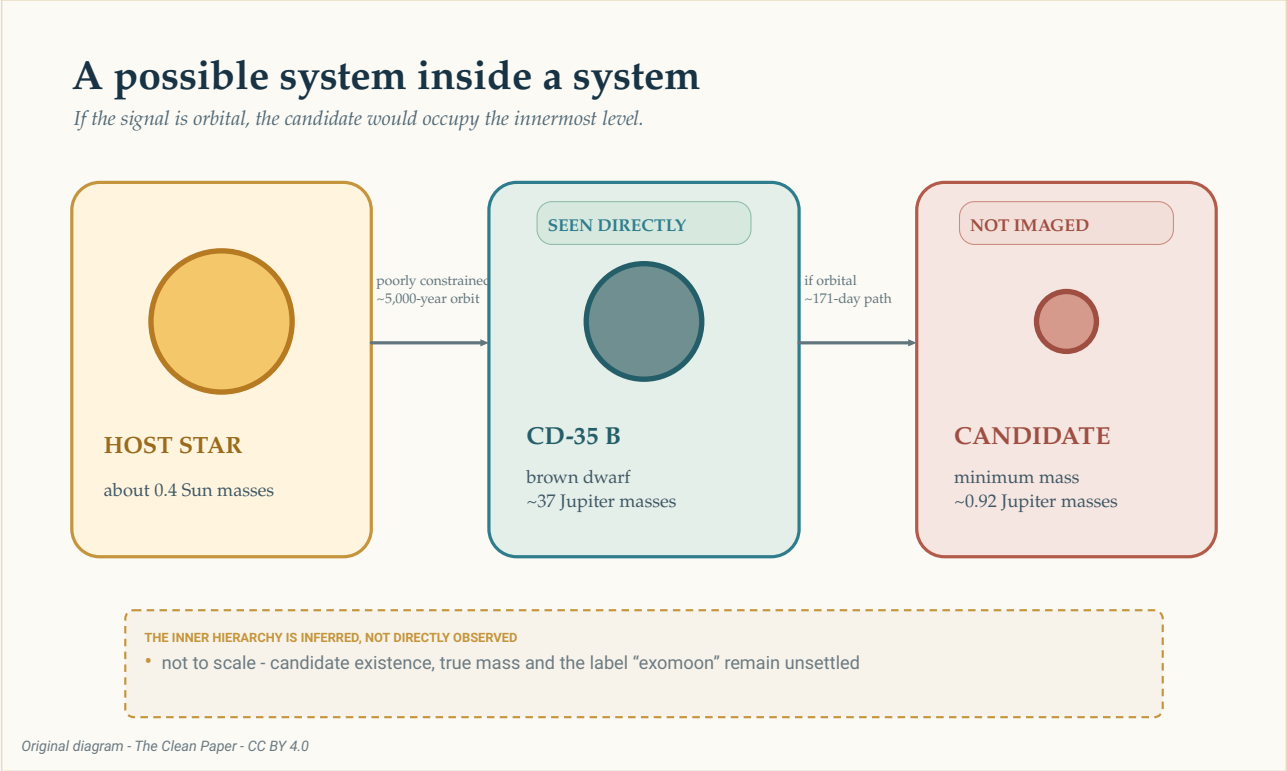
Система в система

CD-35 2722 B е **кафяво джудже**: обект между познатите категории. То е по-масивно от типична гигантска планета, но не е достатъчно масивно, за да свети като нормална звезда, изгаряща водород. Статията използва оценена маса около **37 Юпитера**.

Кафявото джудже е открито чрез пряко изобразяване, което означава, че телескопите са разграничили светлината му от тази на звездата домакин. На небето то се вижда на около 2,8 дъгови секунди от звездата. Широката орбита, свързваща двойката, е слабо известна, но настоящите оценки предполагат силно издължен път с период

приблизително **5000 години**.

Ако периодичният сигнал е орбитален, предполагаемата архитектура поставя кандидата едно ниво по-навътре: звезда, обикаляна от кафяво джудже, около което обикаля спътник с планетарна маса.



Ако сигналът е орбитален, кандидатът би заемал най-вътрешното ниво на тази възможна йерархия. Пряко е видяно само кафявото джудже. Външната орбита около звездата е слабо ограничена, докато приблизително 171-дневният вътрешен път е изведен от измереното поклащане на кафявото джудже. Размерите и разстоянията не са в мащаб.

The Clean Paper CC BY 4.0

Тази възможна йерархия се рисува лесно. Физическата ѝ реалност и терминологията не са установени. Дали тяло с планетарна маса, което обикаля кафяво джудже, е луна, планета или просто спътник? Астрономите нямат прието правило, което да решава въпроса. Затова статията използва по-широката дума **екзоспътник**.

Как 23 нощи се превърнаха в поклащане

Екипът наблюдава CD-35 2722 B (вижте неговата страница в NASA Eyes on Exoplanets) с CRIRES+, спектрограф с висока разделителна способност на Много големия телескоп на Европейската южна обсерватория. Между октомври 2023 г. и февруари 2026 г. са получени 26 наблюдателни епохи. Една има твърде слаб сигнал, а две, направени при лошо време, са отхвърлени и повторени, така че остават **23 висококачествени нощи**.

Спектрографът разлага светлината на подробен модел от линии. Когато източникът се движи към Земята или се отдалечава от нея, тези линии се изместват с миниатюрно количество. Повтарящите се измервания на това движение по зрителната линия се наричат **радиални скорости**. Те не показват скритото тяло. Показват как наблюдаваното тяло може да се движи под невидимо привличане.

Най-силната периодичност в измерванията е близо до 170 дни. Тя преминава **прага на вероятност за фалшива тревога от 0,1%** в изследването. Този праг пита колко често шумът, при допусканията на теста, би породил пик в периодограмата поне толкова силен. Той не означава 99,9% вероятност, че съществува спътник, и сам по себе си не казва дали има един или два спътника.

> **Какво може да установи сигналът от радиалната скорост?**
>
> Радиалната скорост превръща многократните отмествания на спектралните линии в измервания на движение към и от наблюдателя. Повтарящ се модел може да бъде напаснат с уравненията на орбита, което позволява да се изведат периодът, размерът на измереното поклащане и минималната маса на спътника. Но методът не фотографира пряко спътника. Звездна или субзвездна атмосфера също може да измества спектрални линии, графикът на наблюденията може да създава подвеждащи ритми, а различни орбитални подредби могат да се имитират взаимно. Сигналът, физическото му обяснение и името на изведения обект са отделни въпроси.

Преди орбиталния отговор трябва да се обърне внимание на извадката. Четири особено ниски измервания на радиалната скорост имат значителна тежест в модела. Те са настъпили по двойки при отчетени добри условия и нито едно от тях самостоятелно не създава сигнала, когато авторите повтарят анализа, като премахват по една точка. Въпреки това са взети проби само от част от възможните орбитални фази. Двадесет и три нощи, разпределени в повече от две години, не са равнозначни на непрекъснато покритие.

Авторите изпитват и възможен артефакт с период половин година. Несъвършена корекция за променящото се движение на Земята или профила на инструмента може да създаде фалшив годишен сигнал, който извадката да преобразува в половин земна година, или **182,5 дни**. Предпочитаният период е **171,11 дни** с неопределеност +0,53/-0,36 дни; авторите съобщават, че това е на около 20 стандартни отклонения от 182,5 дни. Те не откриват и корелация с променящото се движение на Земята, качеството на изображението, атмосферните водни пари или изследваните свойства на инструмента. Това са важни проверки. Те правят орбиталното обяснение достатъчно убедително, за да бъде моделирано, но сами по себе си не установяват обекта.

Най-простият орбитален отговор: един спътник

В предпочитания модел един обект следва ексцентрична, или донякъде издължена, орбита около кафявото джудже на всеки 171,11 дни. Напаснатата орбита има ексцентрицитет около **0,27** и голяма полуос около **0,200 астрономически единици** — приблизително една пета от средното разстояние Земя–Слънце.

Измереното поклащане има амплитуда около **318 метра в секунда**. От това движение моделът дава минимална маса на спътника около **0,92 пъти масата на Юпитер**.

Думата *минимална* е важна. Радиалната скорост измерва само онази част от орбиталното движение, която е насочена към нас или от нас. Ако орбитата се вижда от ръба, по-голямата част от движението ѝ се проявява по тази линия. Ако се вижда повече отгоре, голяма част от движението пресича небето и би бил нужен по-масивен спътник, за да произведе същото измерено поклащане.

Астрономите записват резултата като **m sin(i)**: масата, умножена по синуса на неизвестния наклон на орбитата, или ъгъла на наблюдение. Данните ограничават този продукт, а не истинската маса сама по себе си. Следователно около 0,92 маси на Юпитер е долна граница, не измерване на точната маса на обекта.

> **Защо ъгълът на наблюдение скрива масата?**
>
> Представете си, че гледате кръгова писта отстрани. Бегачът многократно се движи към вас и от вас, така че тази компонента на движението се измерва лесно. Сега погледнете същата писта отгоре. Бегачът се движи главно напречно на погледа ви и почти не се приближава или отдалечава.
> Радиалната скорост вижда само първата компонента. Математическият множител `sin(i)` описва каква част от орбиталното движение е насочена по зрителната ни линия. Докато наклонът `i` не е известен, изведената маса остава минимална.

След това авторите питат дали тази орбита може да се запази, вместо бързо да се разруши. Числените им изпитвания установяват, че моделът с един спътник като цяло е стабилен. Това го прави физически правдоподобно тълкуване на сигнала. Не представлява второ откриване.

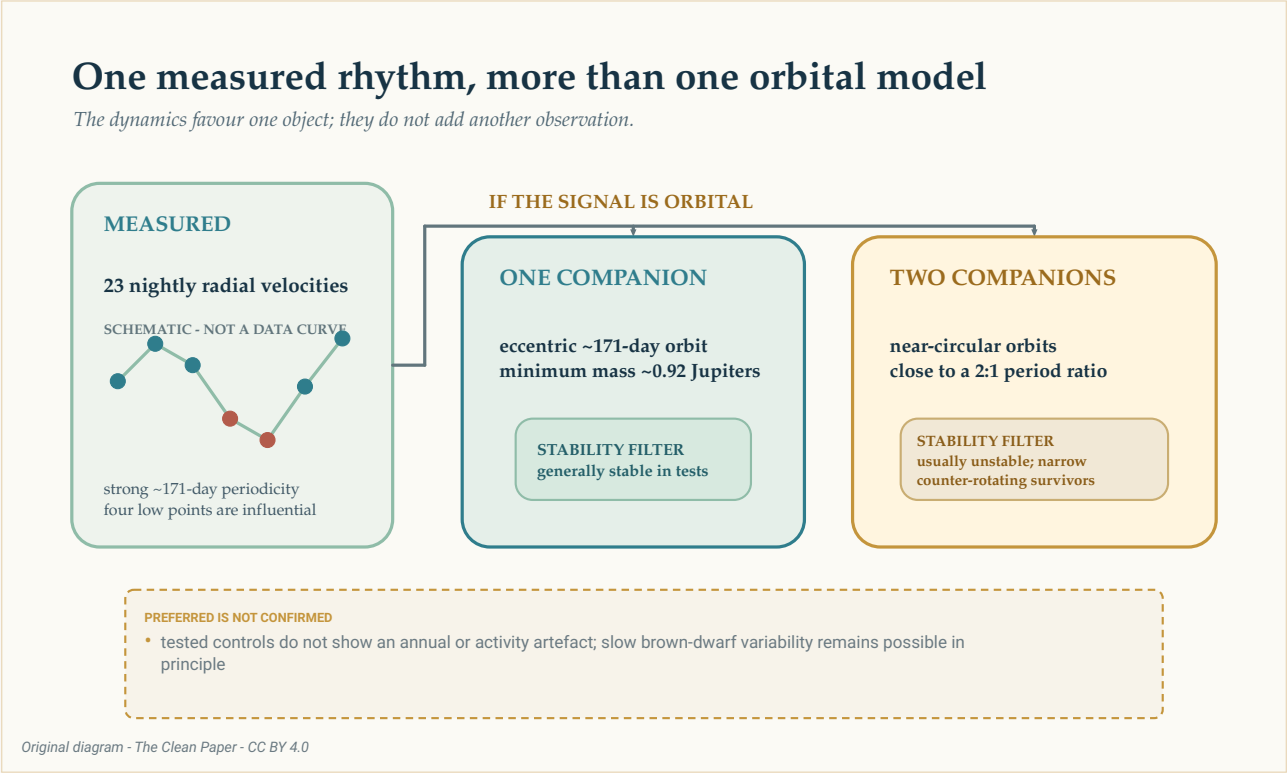
Неудобният отговор: два спътника могат да имитират един

Ексцентричният сигнал в радиалната скорост има известна двусмисленост. При определени условия два обекта в почти кръгови орбити, като единият има период

приблизително два пъти по-дълъг от другия, могат да породят комбиниран модел, наподобяващ един обект по издължена орбита.

Тази двусмисленост се появява и тук. Модел с два спътника може да напасне настоящите измервания с външен сигнал близо до 171 дни и вътрешен сигнал с по-кратък период. Тъй като времето на наблюденията не покрива равномерно всяка фаза, по-краткият сигнал има няколко алиаса. Понеже 23-те избрани нощи оставят дълги празнини, различните пробни периоди могат да преброят различен брой невидими цикли между посещенията и все пак да съвпаднат със същите измервания. Следователно периодите кандидати близо до 14, 70, 88 и 115 дни са алтернативни напасвания на един слабо извадков по-кратък сигнал, а не четири независимо открити ритъма.

Авторите отхвърлят слабо ограничения прозорец от 13 до 17 дни. В тази област напасването не отделя един убедителен период: много близко разположени решения под около 20 дни могат да възпроизведат измерванията с ниска честота, което прави целия прозорец вероятен артефакт от извадката. Сред останалите прозорци решението около 88 дни се напасва по-добре от алтернативите около 70 и 115 дни, но не достатъчно, за да може статията да претендира за известен втори период. В табличното най-добро напасване минималната маса на външния обект е около 0,87 маси на Юпитер, а на вътрешния — около 0,22 маси на Юпитер. Тези числа описват по-слабо предпочитан модел; те не са измервания на два установени свята.



Ако приблизително 171-дневният сигнал е орбитален, същият общ модел на радиалната скорост може да бъде представен от един ексцентричен спътник или от два почти кръгови спътника с отношение на периодите близо до две към едно. Изпитванията за стабилност предпочитат тълкуването с един обект, но не превръщат модел в изображение и не изключват всяка форма на бавна изменчивост на кафявото джудже.

The Clean Paper CC BY 4.0

Изчисленията за стабилност изострят сравнението. Повечето изпитани подредби с два спътника изхвърлят единия обект в рамките на няколкостотин симулирани години. Оцелелите конфигурации заемат тясна и необичайна област, в която орбитите са близо до една равнина, но се движат в противоположни посоки. Звездата домакин внася допълнителни нестабилни области.

Това е причина един ексцентричен спътник да бъде предпочетен пред изпитаните системи с два спътника. Не е доказателство, че природата е избрала по-простия модел. Стабилността филтрира възможните тълкувания след измерването на радиалните скорости; тя не добавя още една наблюдавана точка към кривата.

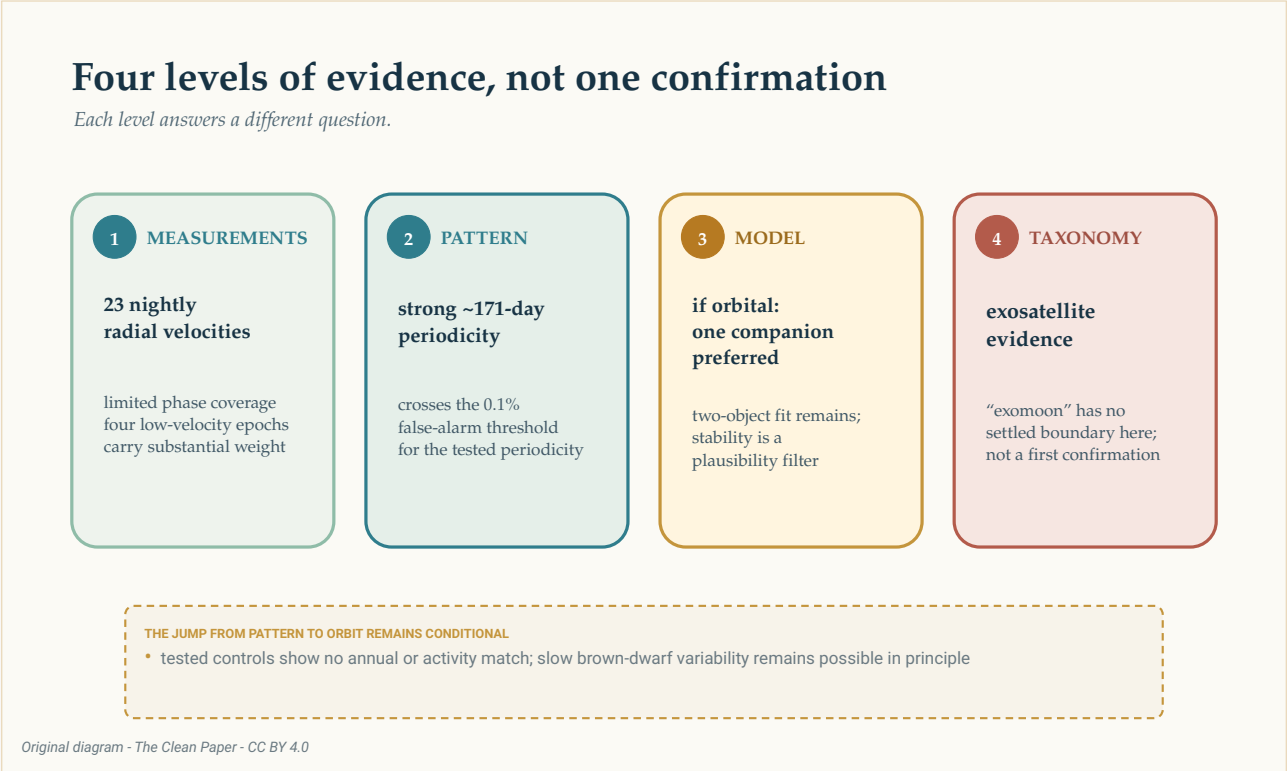
> **Как една ексцентрична орбита може да изглежда като две кръгови?**
>
> Идеалната кръгова орбита произвежда проста повтаряща се вълна на радиалната скорост. Ексцентричната орбита добавя изкривявания към тази вълна. Две кръгови орбити с периоди близо до отношение две към едно могат да се комбинират така, че единият сигнал да осигури основния ритъм, а другият — подобно изкривяване.
> Това е **орбитална дегенерация**: различни физически системи произвеждат сходни измервания. Повече наблюдения в моменти, когато моделите предсказват различни скорости, могат да разрешат двусмислеността. Динамичното изпитване помага, като пита дали всяка предложена система би могла да оцелее, но не може да замени тези наблюдения.

Възможно ли е ритъмът да идва от кафявото джудже?

Кафявото джудже не е безмълвна пробна маса. Атмосферата му се върти, образува облаци и може да има магнитна активност. Променящите се повърхностни структури могат да изменят формата на спектралните линии и да имитират движение.

Оцененият максимален период на въртене на CD-35 2722 B е около **0,65 дни**, много по-кратък от 171 дни. Екипът не възстановява силен кратък ротационен сигнал, нито убедителен сигнал от облаци или гранулация в изпитаните модели на активност. Той изследва и годишната извадка и инструменталните величини, без да намери съвпадение с 171-дневния ритъм.

Тези проверки стесняват алтернативите, но статията не твърди, че всяка собствена изменчивост е премахната. Дългосрочна магнитна активност или атмосферна циркулация в кафявото джудже не могат принципно да бъдат изключени. Тази оставаща възможност трябва да стои редом с орбиталните модели, а не да бъде скрита след тях.



Доказателствата се изкачват през отделни нива: 23 нощни радиални скорости с ограничено фазово покритие, силна приблизително 171-дневна периодичност, предпочитан модел с един спътник, ако сигналът е орбитален, и накрая неустановеният етикет „екзолуна“. Стълбицата разделя измерването, статистическия модел, физическото тълкуване и таксономията; тя не е стрелка на потвърждение.

The Clean Paper CC BY 4.0

Екзолуна ли е?

В Слънчевата система луната обикаля планета. CD-35 2722 B е кафяво джудже, а истинската маса на изведения спътник все още не е известна. Познатите имена започват да се затрудняват, когато един обект е близо до границата планета–кафяво джудже, а друг — до границата луна–планета.

Статията не претендира за първата потвърдена екзолуна. Тя казва, че досега нито една екзолуна не е открита с достатъчно увереност, представя доказателства за **екзоспътник** с планетарна маса и нарича системата стъпка към безспорно откриване. Обсъждането на възможната новост започва условно: ако сигналът се окаже реален.

Тази предпазливост не прави резултата празен. Измерването на радиални скорости директно от слаб спътник тип кафяво джудже е трудно. Ако бъдещи наблюдения запазят сигнала, системата би показала, че методите за търсене на планети могат да достигнат още едно ниво надолу в небесната йерархия.

Още един наблюдателен сезон може да направи повече от добавянето на точки.

Моделите с един и два спътника предсказват различни скорости в конкретни бъдещи моменти. Измервания, които запълват липсващите орбитални фази, могат да проверят дали 171-дневният ритъм се запазва, да намалят влиянието на четирите ниски точки и да накарат конкуриращите се криви да се раздалечат.

Засега най-честният образ не е нова луна, висяща до кафяво джудже. Това е спектър, повтарян нощ след нощ, носещ малко периодично отместване. В този ритъм може да има свят. Постижението е да се научим колко много може да се изведе от него, без да се преструваме, че изводът вече е завършен.

Накратко

Астрономи измерват радиалната скорост на директно изобразеното кафяво джудже CD-35 2722 B в 23 висококачествени нощи между октомври 2023 г. и февруари 2026 г. Спектралните му линии показват силно периодично отместване близо до 171 дни. Предпочитаният орбитален модел съдържа един ексцентричен спътник с минимална маса близо до тази на Юпитер, но истинската маса е неизвестна, защото наклонът на орбитата е неизвестен. Два почти кръгови спътника могат да имитират същия общ сигнал, въпреки че повечето изпитани конфигурации с два обекта са динамично нестабилни. Четири епохи с ниска скорост са влиятелни и покритието на орбиталната фаза остава ограничено: наблюденията вземат проби само от избрани части на възможния 171-дневен цикъл, вместо да го проследяват непрекъснато през всяка фаза. Изпитванията не установяват въртенето, годишната извадка, времето или изследваните свойства на инструмента като източник, но дългосрочна изменчивост на кафявото джудже принципно не може да бъде изключена. Невидимият обект не е директно изобразен, моделът с един обект е предпочитан, а не потвърден, и няма установено правило, според което тяло с планетарна маса около кафяво джудже е екзолуна.

Проверка без увъртане

Какво е наблюдавано: Двадесет и три нощни измервания на радиалната скорост на CD-35 2722 B съдържат силна периодичност около 171 дни. Самото кафяво джудже е директно изобразено; предложеният спътник не е.

Какво предпочитат авторите: Ако сигналът е орбитален, един ексцентричен спътник с минимална маса близо до масата на Юпитер дава най-простото динамично правдоподобно тълкуване на настоящите данни.

Какво остава отворено: Два спътника могат да напаснат радиалните скорости, макар изпитаните системи обикновено да са нестабилни; дългосрочната изменчивост на кафявото джудже не е изключена по принцип; а неизвестният ъгъл на наблюдение

оставя истинската маса на спътника неопределена.

Какво статията не установява: Първа потвърдена екзолуна, директно видян спътник, точно един орбитален обект, истинска маса 0,92 маси на Юпитер или 99,9% вероятност предпочитаният физически модел да е правилен.

Какво би увеличило увереността: Допълнителни измервания на радиалната скорост, които покриват повече орбитални фази, проверяват дали 171-дневният сигнал се запазва и вземат проби в моменти, когато моделите с един и два спътника дават различни предсказания.

Източници

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