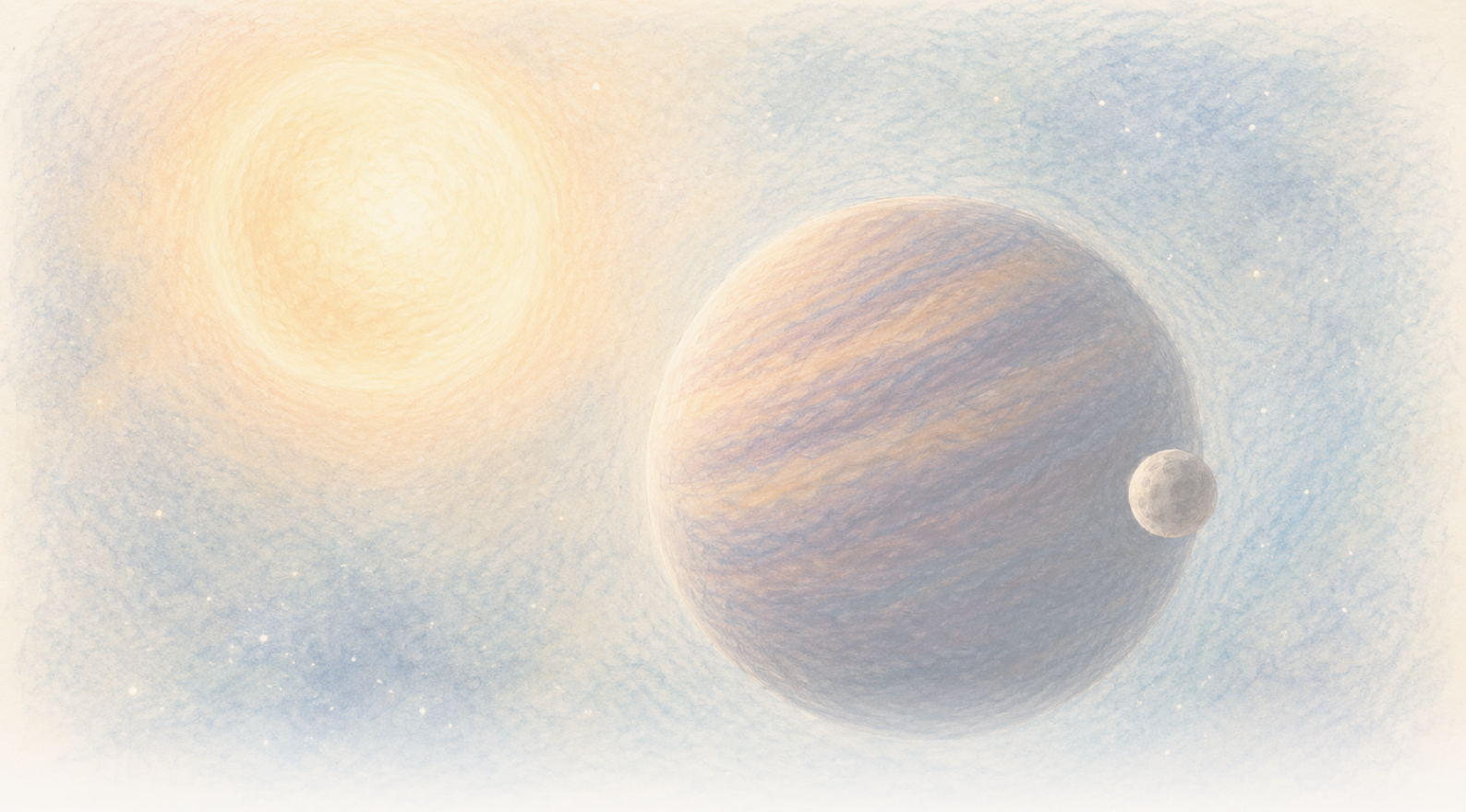


The Clean Paper

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

Коричневий карлик, схоже, коливається кожні 171 день. Його може тягнути один прихований світ, але дані все ще допускають два

Двадцять три високоякісні спектри виявили сильне періодичне зміщення руху CD-35 2722 B. Найкраща модель — один ексцентричний компаньйон із мінімальною масою близько маси Юпітера, але модель із двома об'єктами може імітувати той самий сигнал, повільна мінливість коричневого карлика принципово залишається можливою, а слово «екзомісяць» тут не має усталеної межі.

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

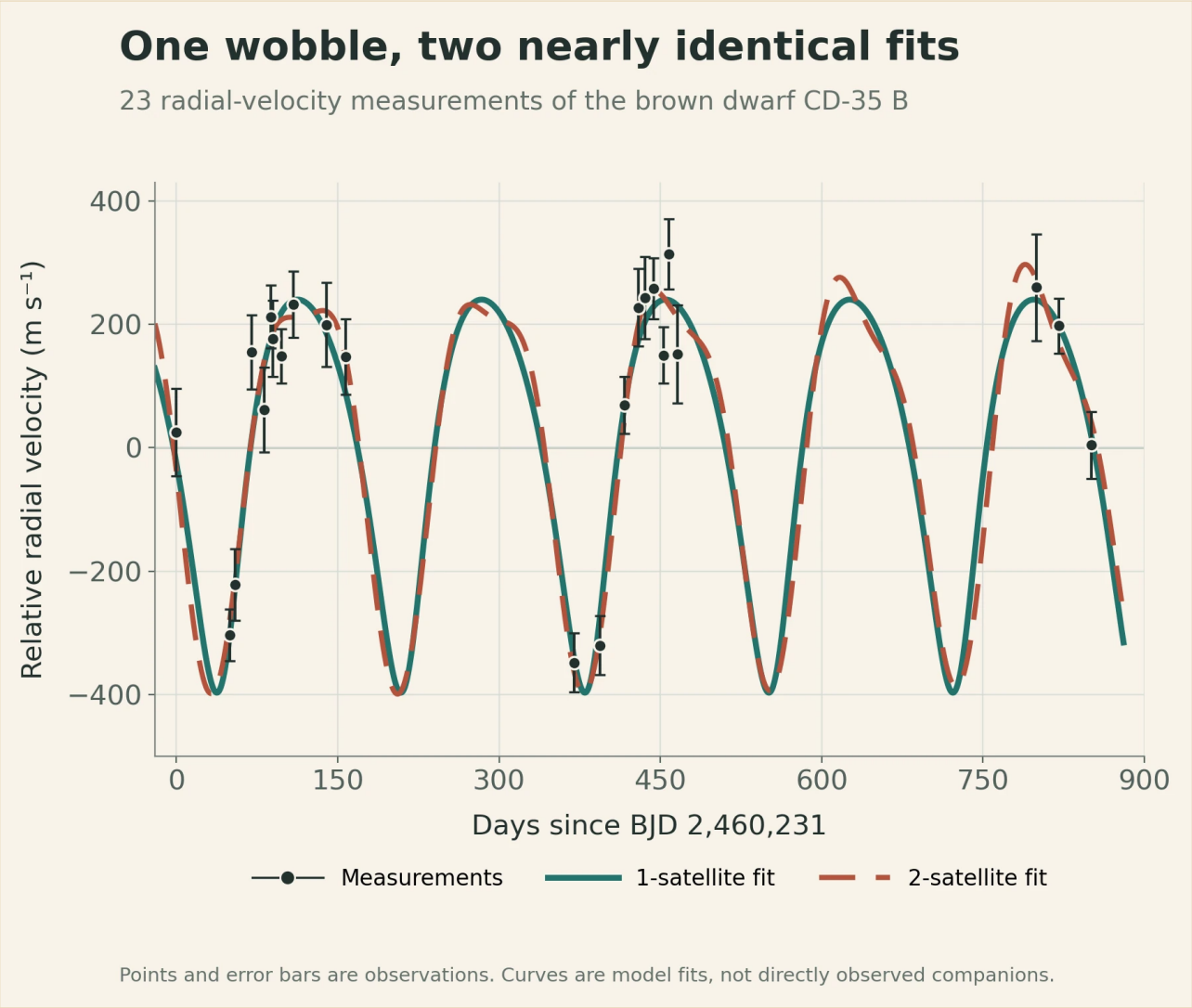
Коричневий карлик, схоже, коливається кожні 171 день. Його може тягнути один прихований світ, але дані все ще допускають два

Астрономи бачать CD-35 2722 B як окрему точку світла, відділену від зорі, навколо якої він рухається. Це коричневий карлик — об'єкт за масою між планетами-гігантами й зорями: приблизно 37 мас Юпітера роблять його масивнішим за типову планету-гігант, але недостатньо масивним для звичайної зорі, що спалює водень. Менший об'єкт, який, можливо, обертається навколо самого коричневого карлика, вони не бачать. Якщо його підтвердять, це буде перша спостережувана ієрархія, де супутник обертається навколо більшого субзоряного об'єкта, а той — навколо зорі.

Замість цього астрономи бачать ритм. Деякими ночами світло коричневого карлика трохи зміщується, коли він рухається до Землі. Іншими — коли віддаляється. Схема повторюється приблизно кожні **171 день**.

Такий рух уперед-назад може спричинити невидимий компаньйон: коли два об'єкти обертаються навколо спільного центра мас, менший рухається навколо більшого, але й більший описує значно меншу петлю. Якщо цей ритм орбітальний, нова стаття в Nature подає один об'єкт планетної маси як найкраще пояснення петлі, виміряної для CD-35 2722 B.

Це вражаюча можливість, але не фотографія місяця. Двадцять три високоякісні ночі спостережень виявили сильний періодичний сигнал. Щоб перетворити сигнал на світ, потрібна модель, а нинішні дані все ще допускають більше ніж одну архітектуру. Вони також не повністю виключають повільні зміни самого коричневого карлика.



Чорні точки й вертикальні похибки — це 23 нічні вимірювання радіальної швидкості. Суцільна й пунктирна криві — найкращі моделі з одним і двома супутниками. Майже повне накладання показує, чому дані можуть виявити періодичне коливання, але ще не визначити архітектуру системи; жодна крива не є прямим зображенням компаньйона.

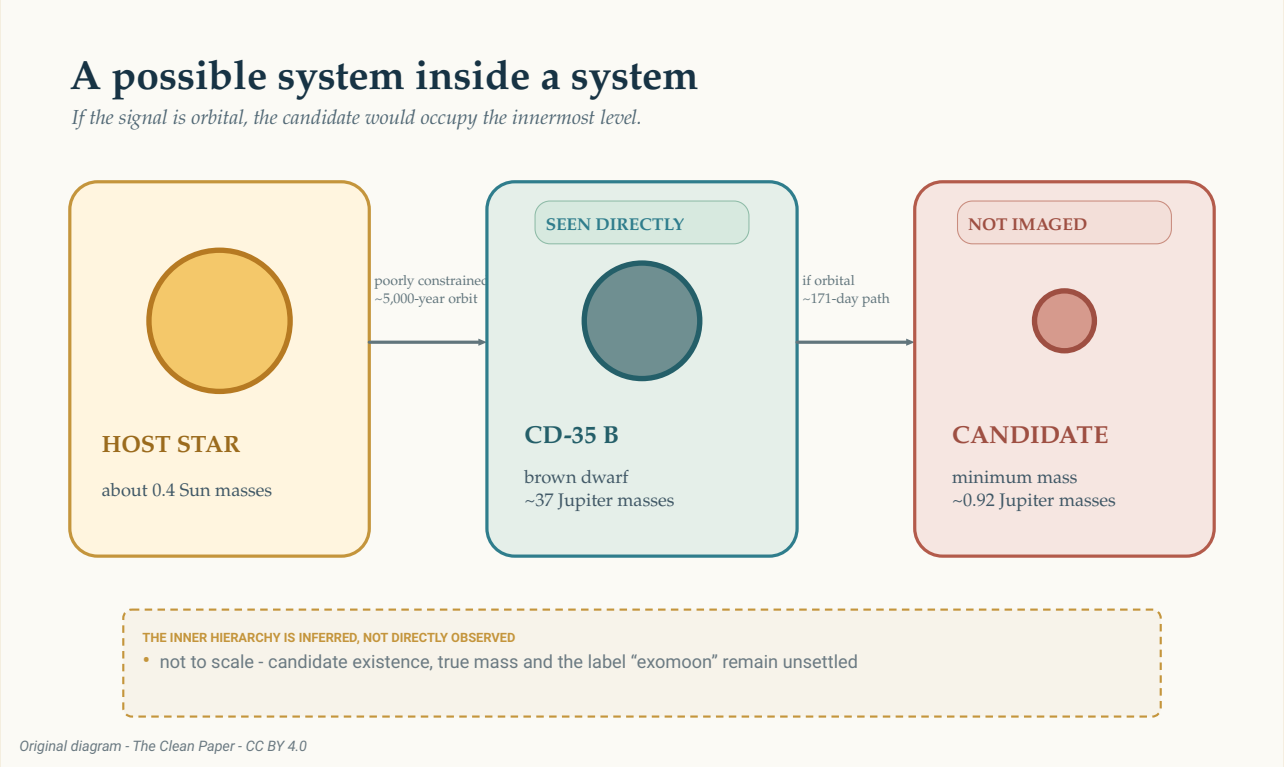
Original chart — The Clean Paper; data from Hoy et al., Nature (2026), Figure 1 source workbook CC BY 4.0

Система всередині системи

CD-35 2722 B — **коричневий карлик**, об’єкт між звичними категоріями. Він масивніший за типову планету-гігант, але недостатньо масивний, щоб сяяти як звичайна зоря, яка спалює водень. У статті використано оцінку близько **37 мас Юпітера**.

Коричневий карлик відкрили прямою візуалізацією: телескопи окремо розділили його світло й світло зорі-господаря. На небі він розташований приблизно за 2,8 кутової секунди від зорі. Широка орбіта пари відома погано, але нинішні оцінки припускають сильно витягнутий шлях тривалістю близько **5 000 років**.

Якщо періодичний сигнал орбітальний, кандидат містився б ще на один рівень глибше: зоря, навколо якої обертається коричневий карлик, а навколо нього — компаньйон планетної маси.



Якщо сигнал орбітальний, кандидат займав би найвнутрішній рівень цієї можливої ієрархії. Безпосередньо побачили лише коричневий карлик. Зовнішня орбіта навколо зорі визначена погано, а приблизно 171-денний внутрішній шлях виведено з виміряного коливання коричневого карлика. Розміри й відстані не в масштабі.

The Clean Paper CC BY 4.0

Таку можливу ієрархію легко намалювати. Її фізична реальність і термінологія не визначені. Чи є тіло планетної маси, що обертається навколо коричневого карлика, місяцем, планетою чи просто супутником? Астрономи не мають прийнятого правила, яке це вирішує. Тому стаття використовує ширше слово **екзосупутник**.

Як 23 ночі перетворилися на коливання

Команда спостерігала CD-35 2722 B — див. його сторінку в NASA Eyes on Exoplanets — за допомогою CRIRES+, спектрографа високої роздільної здатності на Дуже великому телескопі Європейської південної обсерваторії. Між жовтнем 2023 року й лютим 2026 року отримали 26 епох спостережень. Одна мала надто слабкий сигнал, а дві, зроблені за поганої погоди, відкинули й повторили, залишивши **23 високоякісні ночі**.

Спектрограф розкладає світло в детальний візерунок ліній. Коли джерело рухається до

Землі або від неї, ці лінії зміщуються на крихітну величину. Повторні вимірювання такого руху вздовж променя зору називають **радіальними швидкостями**. Вони не показують приховане тіло. Вони показують, як спостережуваний об'єкт може рухатися під дією невидимого тяжіння.

Найсильніша періодичність у вимірюваннях лежить біля 170 днів. Вона перевищує встановлений у дослідженні **поріг імовірності хибної тривоги 0,1%**. Цей поріг запитує, як часто шум за припущень тесту створив би пік періодограми щонайменше такої сили. Це не 99,9% імовірності існування супутника й саме по собі нічого не каже, один компаньйон чи два.

> **Що може встановити сигнал радіальної швидкості?**
>
> Радіальна швидкість перетворює повторювані зміщення спектральних ліній на вимірювання руху до спостерігача й від нього. Повторювану схему можна описати рівняннями орбіти й вивести період, величину виміряного коливання та мінімальну масу компаньйона.
> Але метод не фотографує компаньйона безпосередньо. Атмосфера зорі або субзоряного об'єкта також може зміщувати спектральні лінії, графік спостережень може створювати оманливі ритми, а різні орбітальні конфігурації — імітувати одна одну. Сигнал, його фізичне пояснення й назва виведеного об'єкта — окремі питання.

Перш ніж приймати орбітальну відповідь, варто звернути увагу на вибірку. Чотири особливо низькі вимірювання радіальної швидкості мають істотну вагу в схемі. Вони трапилися двома парами, за добрих повідомлених умов, і жодна точка окремо не створювала сигналу, коли автори повторювали аналіз, щоразу вилучаючи одну точку. Проте охоплено лише частину можливих орбітальних фаз. Двадцять три ночі за більш ніж два роки — не безперервне спостереження.

Автори також перевірили можливий піврічний артефакт. Недосконала поправка на зміну руху Землі або профілю приладу могла б створити хибний річний сигнал, який вибірка перетворює на половину земного року, або **182,5 дня**. Найкращий період становить **171,11 дня** з невизначеністю +0,53/-0,36 дня; автори повідомляють, що це приблизно на 20 стандартних відхилень від 182,5 дня. Вони також не виявили кореляції зі зміною руху Землі, якістю зображення, атмосферною водяною парою чи перевіреними характеристиками приладу. Це важливі контролі. Вони роблять орбітальне пояснення достатньо переконливим для моделювання, але самі не ідентифікують об'єкт.

Найпростіша орбітальна відповідь: один компаньйон

У найкращій моделі один об’єкт рухається навколо коричневого карлика ексцентричною, тобто дещо витягнутою, орбітою з періодом 171,11 дня. Ексцентриситет підігнаної орбіти становить близько **0,27**, а велика піввісь — близько **0,200 астрономічної одиниці**, приблизно одну п’яту середньої відстані Земля—Сонце.

Амплітуда виміряного коливання становить близько **318 метрів за секунду**. З цього руху модель отримує мінімальну масу компаньйона близько **0,92 маси Юпітера**.

Слово *мінімальна* важливе. Радіальна швидкість вимірює лише частину орбітального руху, спрямовану до нас і від нас. Якщо орбіту видно з ребра, більшість руху лежить уздовж цього напрямку. Якщо орбіту видно ближче до площини, значна частина руху відбувається поперек неба, і для того самого виміряного коливання потрібен масивніший компаньйон.

Астрономи записують результат як **m sin(i)**: маса, помножена на синус невідомого нахилу орбіти, або кута спостереження. Дані обмежують цей добуток, а не справжню масу окремо. Тому близько 0,92 маси Юпітера — нижня межа, а не точне вимірювання маси об’єкта.

> **Чому кут спостереження приховує масу?**
>
> Уявіть, що дивитеся на кругову доріжку збоку. Бігун багаторазово рухається до вас і від вас, тому цю складову легко виміряти. Тепер подивіться на ту саму доріжку згори. Бігун рухається переважно поперек поля зору й майже не наближається та не віддаляється.
> Радіальна швидкість бачить лише першу складову. Математичний множник `sin(i)` описує, яка частина орбітального руху спрямована вздовж променя зору. Поки нахил `i` невідомий, виведена маса залишається мінімальною.

Потім автори перевірили, чи може така орбіта зберігатися, а не швидко зруйнуватися. Чисельні тести показали, що модель з одним компаньйоном загалом стабільна. Це робить її фізично правдоподібною інтерпретацією сигналу. Але не є другим виявленням.

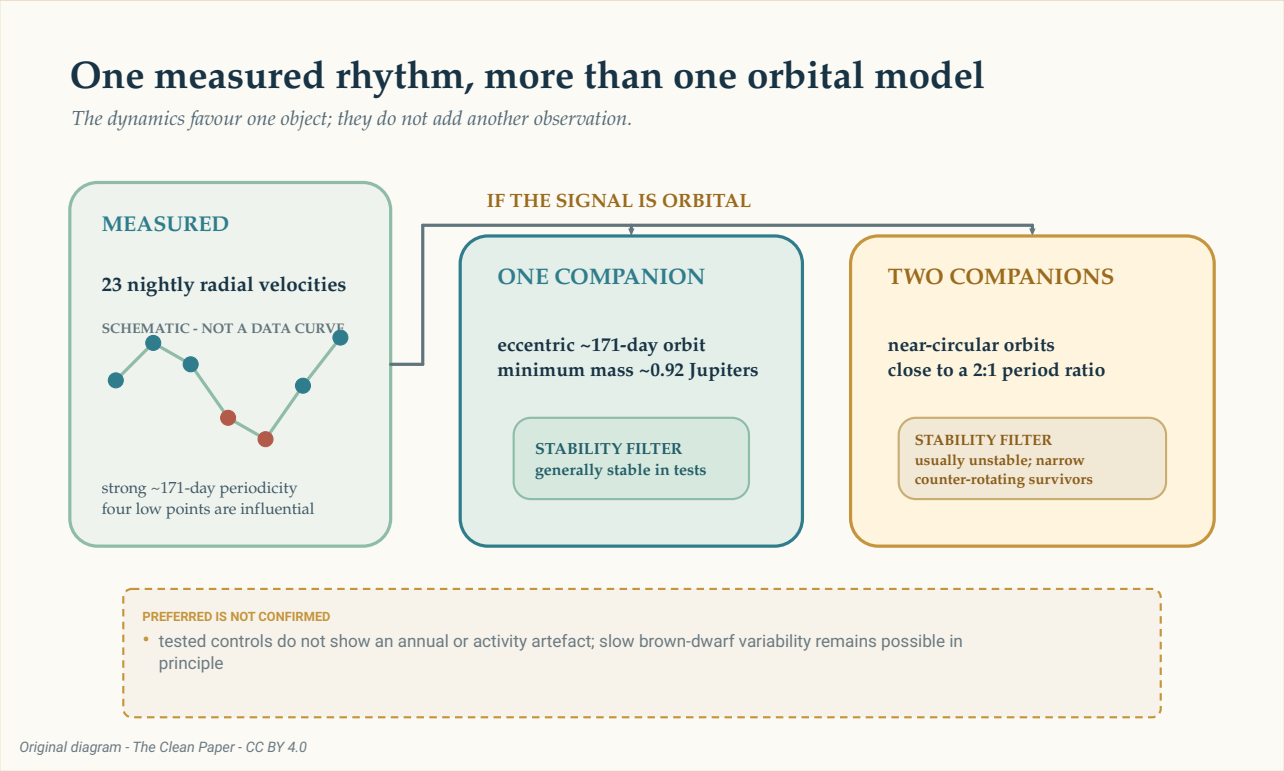
Незручна відповідь: два компаньйони можуть імітувати одного

Для ексцентричного сигналу радіальної швидкості існує відома неоднозначність. За певних умов два об’єкти на майже кругових орбітах, причому один має приблизно вдвічі довший період, можуть утворити сукупну схему, схожу на один об’єкт на

витягнутій орбіті.

Ця неоднозначність є й тут. Модель із двома компаньйонами може описати нинішні вимірювання зовнішнім сигналом близько 171 дня й короткоперіодним внутрішнім сигналом. Оскільки час спостережень нерівномірно охоплює фази, коротший сигнал має кілька аліасів. Через довгі прогалини між 23 вибраними ночами різні пробні періоди можуть містити різну кількість неспостережених циклів між візитами й усе одно збігатися з тими самими вимірюваннями. Тому періоди-кандидати близько 14, 70, 88 і 115 днів — це альтернативні підгонки одного погано вибраного короткого сигналу, а не чотири незалежно виявлені ритми.

Автори відкидають погано визначене вікно 13–17 днів. У ньому підгонка не виділяє одного переконливого періоду: багато близьких розв'язків нижче приблизно 20 днів відтворюють рідкі вимірювання, тому все вікно, імовірно, є артефактом вибірки. Серед інших вікон приблизно 88-денний розв'язок кращий за альтернативи близько 70 і 115 днів, але недостатньо, щоб стаття заявляла відомий другий період. У табличній найкращій підгонці мінімальна маса зовнішнього об'єкта близько 0,87 маси Юпітера, а внутрішнього — близько 0,22. Ці числа описують менш бажану модель, а не вимірювання двох установлених світів.



Якщо приблизно 171-денний сигнал орбітальний, ту саму загальну схему радіальної швидкості можна представити одним ексцентричним компаньйоном або двома майже круговими компаньйонами з періодами близько до співвідношення два до одного. Тести стабільності підтримують інтерпретацію з одним об'єктом, але не перетворюють модель на зображення й не виключають усі форми повільної мінливості коричневого карлика.

The Clean Paper CC BY 4.0

Розрахунки стабільності загострюють порівняння. У більшості перевірених конфігурацій із двома компаньйонами один об’єкт викидало протягом кількох сотень симульованих років. Уцілілі конфігурації займали вузьку й незвичну область, де орбіти були майже в одній площині, але рухалися в протилежних напрямках. Зоря-господар створювала додаткові нестабільні області.

Це причина віддати перевагу одному ексцентричному компаньйону перед перевіреними системами з двома. Але не доказ того, що природа обрала простішу модель. Стабільність фільтрує можливі інтерпретації після вимірювання радіальних швидкостей; вона не додає ще одну спостережувану точку до кривої.

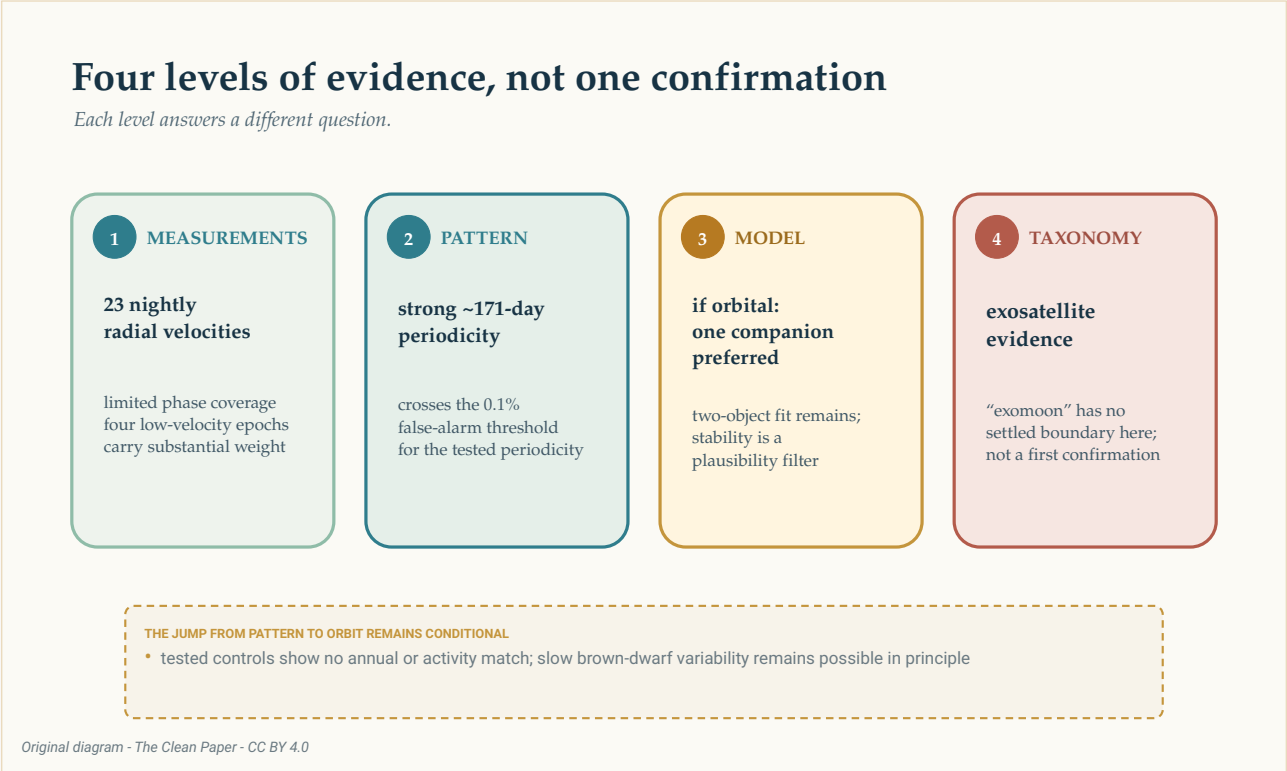
> **Як одна ексцентрична орбіта може виглядати як дві кругові?**
>
> Ідеальна кругова орбіта створює просту повторювану хвилю радіальної швидкості. Ексцентрична орбіта додає до неї спотворення. Дві кругові орбіти з періодами близько два до одного можуть поєднатися так, що один сигнал дає основний ритм, а другий — подібне спотворення.
> Це **орбітальне виродження**: різні фізичні системи дають подібні вимірювання. Більше спостережень у моменти, коли моделі прогнозують різні швидкості, може розв’язати неоднозначність. Динамічний тест допомагає запитати, чи здатна кожна запропонована система вижити, але не замінює цих спостережень.

Чи може ритм походити від самого коричневого карлика?

Коричневий карлик — не мовчазна пробна маса. Його атмосфера обертається, утворює хмари й може мати магнітну активність. Змінні поверхневі структури можуть деформувати спектральні лінії й імітувати рух.

Оцінений максимальний період обертання CD-35 2722 B становить близько **0,65 дня**, значно менше за 171 день. Команда не відновила сильного короткого сигналу обертання чи переконливого сигналу хмар або грануляції в перевірених моделях активності. Вона також перевірила річну вибірку й параметри приладу, не знайшовши відповідності 171-денному ритму.

Ці перевірки звужують альтернативи, але стаття не стверджує, що усунено всю внутрішню мінливість. Довготривалу магнітну активність або циркуляцію атмосфери коричневого карлика принципово виключити не можна. Ця можливість має стояти поруч з орбітальними моделями, а не бути прихованою після них.



Докази проходять через окремі рівні: 23 нічні радіальні швидкості з обмеженим охопленням фаз, сильна приблизно 171-денна періодичність, найкраща модель з одним компаньйоном за умови орбітального сигналу і, нарешті, невизначена назва «екзомісяць». Сходи відділяють вимірювання, статистичну схему, фізичну інтерпретацію й таксономію; це не стрілка підтвердження.

The Clean Paper CC BY 4.0

Чи це екзомісяць?

У Сонячній системі місяць обертається навколо планети. CD-35 2722 B — коричневий карлик, а справжня маса виведеного компаньйона невідома. Звичні назви починають давати збій, коли один об'єкт лежить біля межі планета—коричневий карлик, а інший — біля межі місяць—планета.

Стаття не заявляє про перший підтверджений екзомісяць. Вона зазначає, що жодного екзомісяця ще не виявлено з високою впевненістю, подає докази на користь **екзосупутника** планетної маси й називає систему кроком до беззаперечного виявлення. Обговорення можливої новизни починається умовно: якщо сигнал виявиться справжнім.

Ця обережність не робить результат порожнім. Вимірювати радіальні швидкості безпосередньо для слабкого коричневого карлика-компаньйона складно. Якщо подальші спостереження збережуть сигнал, система покаже, що методи пошуку планет можуть проникати ще на один рівень небесної ієрархії.

Ще один сезон спостережень може зробити більше, ніж просто додати точки. Моделі

з одним і двома компаньйонами прогнозують різні швидкості в певні майбутні моменти. Вимірювання, що заповнять пропущені орбітальні фази, можуть перевірити збереження 171-денного ритму, зменшити вплив чотирьох низьких точок і змусити конкуруючі криві розійтися.

Наразі найчесніше зображення — не новий місяць поруч із коричневим карликом. Це спектр, повторений ніч за ніччю, з невеликим періодичним зміщенням. Усередині цього ритму може бути світ. Досягнення полягає в тому, щоб зрозуміти, скільки з нього можна вивести, не вдаючи, що висновок уже завершено.

Короткий підсумок

Астрономи виміряли радіальну швидкість безпосередньо зображеного коричневого карлика CD-35 2722 B у 23 високоякісні ночі між жовтнем 2023 року й лютим 2026 року. Його спектральні лінії показують сильне періодичне зміщення близько 171 дня. Найкраща орбітальна модель містить одного ексцентричного компаньйона з мінімальною масою близько 0,92 маси Юпітера, але справжня маса невідома через невідомий нахил орбіти. Два майже кругові компаньйони можуть імітувати той самий загальний сигнал, хоча більшість перевірених конфігурацій із двома об’єктами була динамічно нестабільною. Чотири епохи з низькою швидкістю мають великий вплив, а охоплення орбітальних фаз залишається обмеженим: спостереження вибірково охоплюють частини можливого 171-денного циклу, а не безперервно простежують кожну фазу. Перевірки не визначили обертання, річну вибірку, погоду чи досліджені характеристики приладу як джерело, але повільну мінливість коричневого карлика принципово виключити не можна. Невидимий об’єкт не був безпосередньо зображений, модель з одним об’єктом є найкращою, а не підтвердженою, і немає усталеного правила, за яким тіло планетної маси навколо коричневого карлика є екзомісяцем.

Твереза оцінка

Що спостерігали: двадцять три нічні вимірювання радіальної швидкості CD-35 2722 B містять сильну приблизно 171-денну періодичність. Сам коричневий карлик побачили безпосередньо; запропонований компаньйон — ні.

Чому автори віддають перевагу: якщо сигнал орбітальний, один ексцентричний компаньйон із мінімальною масою близько маси Юпітера дає найпростішу динамічно правдоподібну інтерпретацію нинішніх даних.

Що залишається відкритим: два компаньйони можуть описати радіальні швидкості, хоча перевірені системи зазвичай нестабільні; повільна мінливість коричневого карлика принципово не виключена; невідомий кут спостереження залишає справжню

масу компаньйона невизначеною.

Чого стаття не встановлює: першого підтвердженого екзомісяця, безпосередньо побаченого супутника, точно одного орбітального об’єкта, справжньої маси 0,92 маси Юпітера або 99,9% імовірності правильності найкращої фізичної моделі.

Що підвищило б упевненість: подальші вимірювання радіальної швидкості, які охоплять більше орбітальних фаз, перевірять збереження 171-денного сигналу й потраплять у моменти, коли моделі з одним і двома компаньйонами дають різні прогнози.

Джерела

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