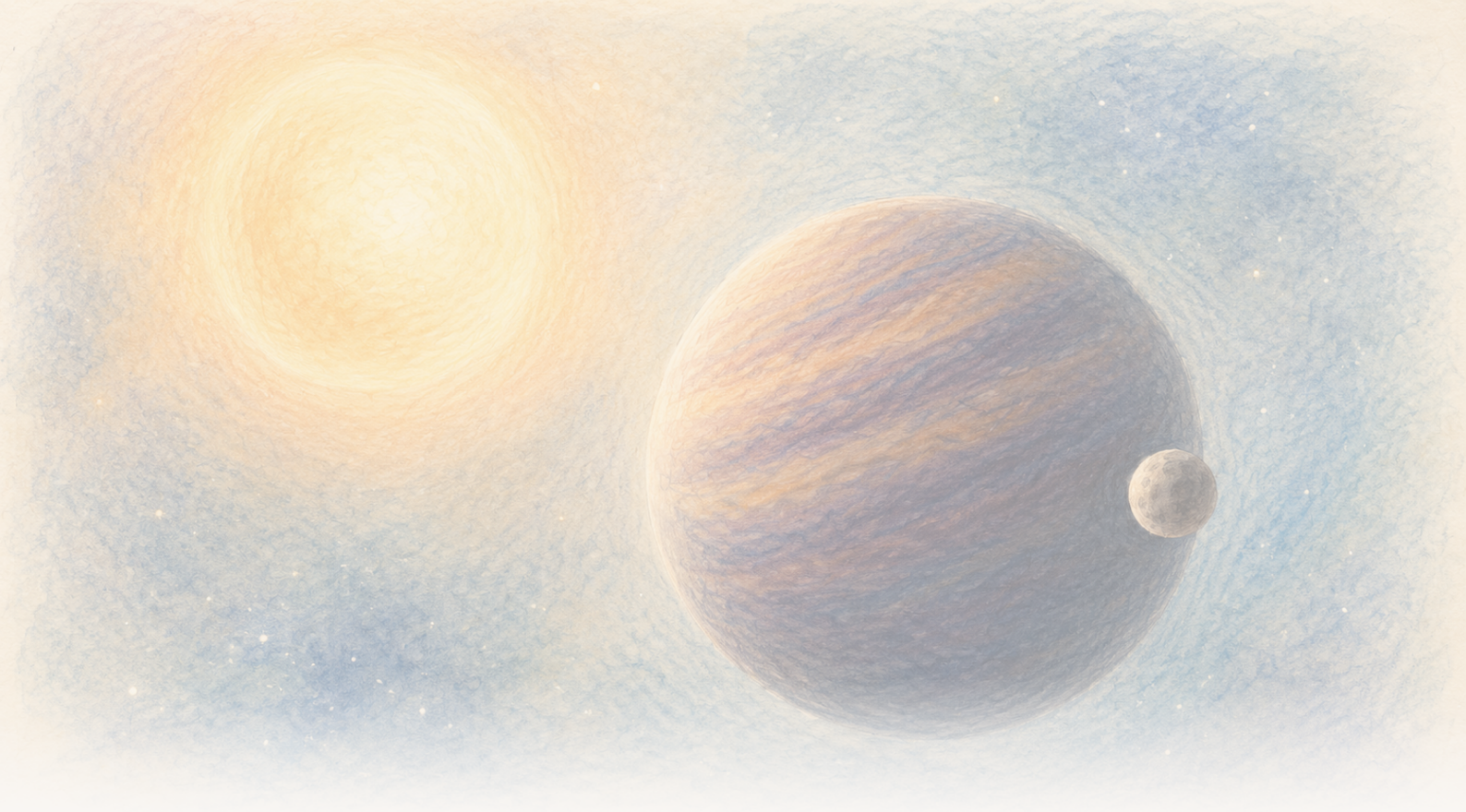


The Clean Paper

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

Карычневы карлік, здаецца, вагаецца кожныя 171 дзень. Магчыма, яго цягне адзін схаваны свет, але даныя ўсё яшчэ дапускаюць два

Дваццаць тры якасныя спектры паказваюць моцнае перыядычнае зрушэнне ў руху CD-35 2722 B. Пераважная мадэль — адзін эксцэнтрычны спадарожнік з мінімальнай масай каля масы Юпітэра, але мадэль з двума аб'ектамі можа імітаваць той самы сігнал, павольная зменлівасць карычневага карліка ў прынцыпе застаецца магчымай, а слова «экзамесяц» тут не мае ўсталяванай мяжы.

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

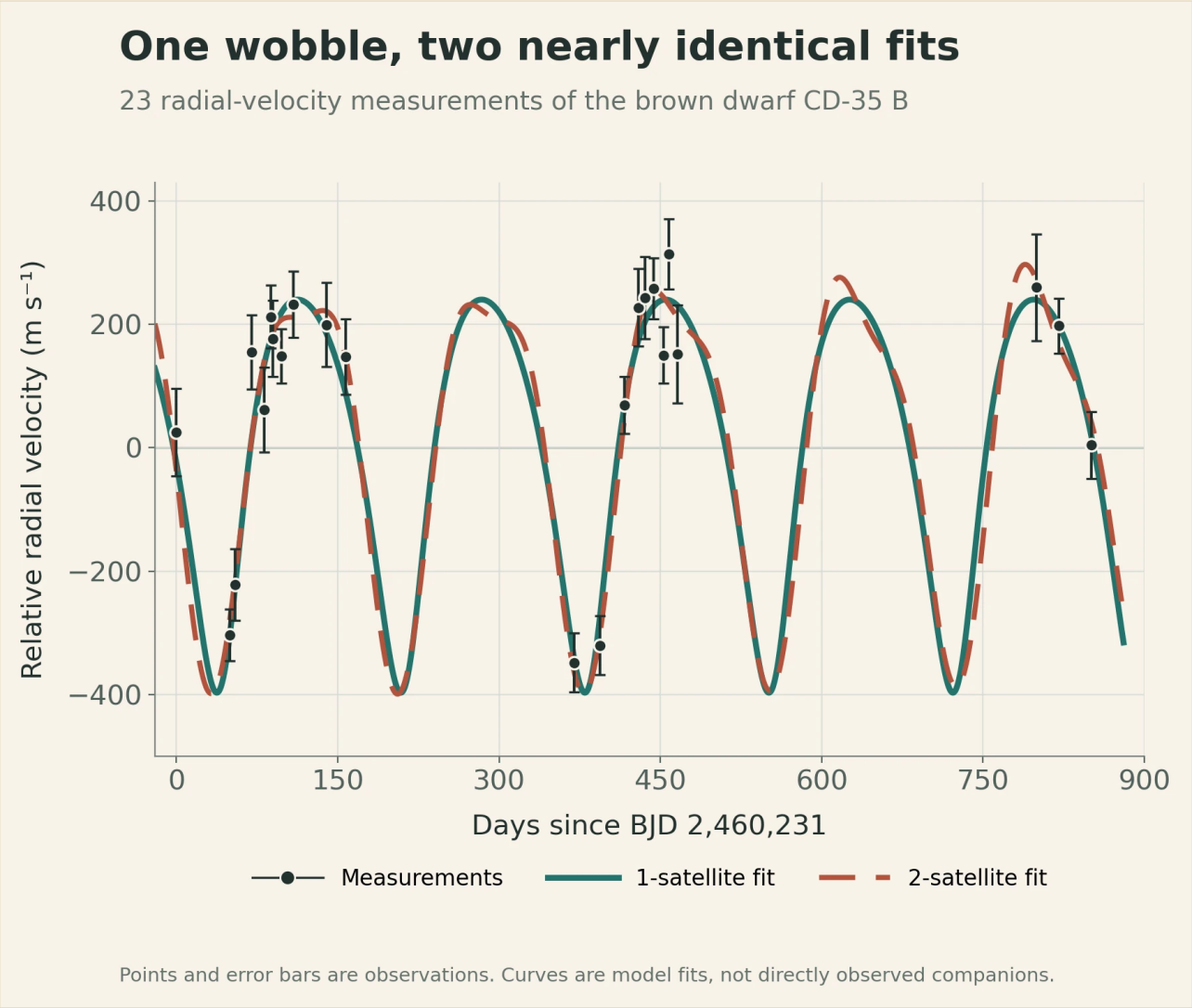
Карычневы карлік, здаецца, вагаецца кожныя 171 дзень. Магчыма, яго цягне адзін схаваны свет, але даныя ўсё яшчэ дапускаюць два

Астраномы бачаць CD-35 2722 B як асобную кропку святла, аддзеленую ад зоркі, вакол якой ён рухаецца. Гэта карычневы карлік — аб'ект у дыяпазоне мас паміж планетамі-гігантамі і зоркамі: пры масе каля 37 мас Юпітэра ён цяжэйшы за тыповую планету-гігант, але не з'яўляецца звычайнай зоркай, у якой гарыць вадарод. Меншы аб'ект, які можа абарачацца вакол самога карычневага карліка, яны не бачаць. Калі яго існаванне пацвердзіцца, гэта будзе першая назіраная іерархія, у якой спадарожнік абарачаецца вакол большага субзорнага аб'екта, а той, у сваю чаргу, — вакол зоркі.

Замест гэтага астраномы бачаць рытм. У адны ночы святло карычневага карліка крыху зрушана, калі ён рухаецца да Зямлі. У іншыя — калі ён аддаляецца. Карціна паўтараецца прыкладна кожныя **171 дзень**.

Такі рух наперад і назад можа ствараць нябачны спадарожнік: калі два аб'екты абарачаюцца вакол агульнага цэнтра мас, меншы рухаецца вакол большага, але і большы апісвае значна меншую пятлю. Калі гэты рытм мае арбітальнае паходжанне, новая праца ў Nature прапануе адзін аб'ект планетнай масы як найбольш пераважнае тлумачэнне пятлі, вымеранай у CD-35 2722 B.

Гэта надзвычайная магчымасць, але не фатаграфія месяца. Дваццаць тры ночы якасных назіранняў паказваюць моцны перыядычны сігнал. Каб ператварыць гэты сігнал у свет, патрэбная мадэль, а цяперашнія даныя ўсё яшчэ дапускаюць больш за адну архітэктуру. Яны таксама не выключаюць цалкам павольныя змены ў самім карычневым карліку.



Чорныя кропкі і палосы памылак — 23 начныя вымярэнні прамянёвай хуткасці. Суцэльная і пункцірная крывыя — найлепшыя мадэлі з адным і двума спадарожнікамі. Іх амаль поўнае супадзенне паказвае, чаму даныя могуць выявіць перыядычнае ваганне, але пакуль не вызначаюць архітэктуру сістэмы; ніводная крывая не з'яўляецца непасрэдным здымкам спадарожніка.

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

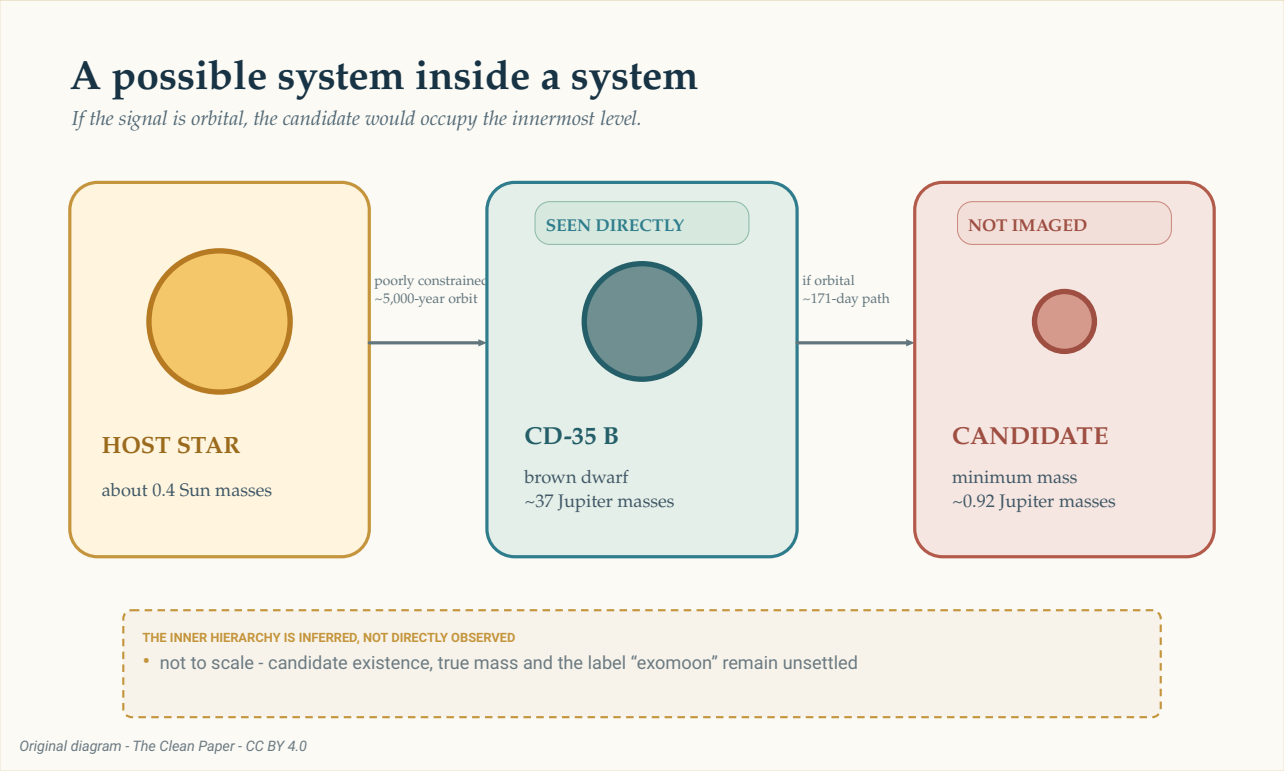
Сістэма ўнутры сістэмы

CD-35 2722 B — **карычневы карлік**, аб'ект паміж звыклымі катэгорыямі. Ён цяжэйшы за тыповую планету-гігант, але недастаткова масіўны, каб свяціцца як звычайная зорка з тэрмаядзерным гарэннем вадароду. Праца выкарыстоўвае ацэненую масу каля **37 Юпітэраў**.

Карычневы карлік быў адкрыты метадам прамога здымання: тэлескопы адрознілі яго святло ад святла зоркі-гаспадара. На небе ён знаходзіцца прыкладна ў 2,8 вуглавой секунды ад зоркі. Шырокая арбіта, якая злучае пару, вядомая дрэнна, але цяперашнія

ацэнкі паказваюць на моцна выцягнуты шлях працягласцю каля **5 000 гадоў**.

Калі перыядычны сігнал арбітальны, меркаваная архітэктура змясціла б кандыдата яшчэ на адзін узровень унутр: зорка, вакол якой абарачаецца карычневы карлік, і аб'ект планетнай масы, што абарачаецца вакол гэтага карычневага карліка.



Калі сігнал арбітальны, кандыдат займаў бы самы ўнутраны ўзровень гэтай магчымай іерархіі. Непасрэдна ўбачаны толькі карычневы карлік. Знешняя арбіта вакол зоркі абмежавана слаба, а ўнутраны шлях працягласцю каля 171 дня выведзены з вымеранага вагання карычневага карліка. Памеры і адлегласці не ў маштабе.

The Clean Paper CC BY 4.0

Такую магчымую іерархію лёгка намаляваць. Але яе фізічная рэальнасць і тэрміналогія не ўсталяваныя. Ці лічыцца цела планетнай масы, якое абарачаецца вакол карычневага карліка, месяцам, планетай або проста спадарожнікам? У астраномаў няма агульнапрынятага правіла, якое вырашае гэтае пытанне. Таму праца выкарыстоўвае шырэйшае слова **экзаспадарожнік**.

Як 23 ночы ператварыліся ў ваганне

Каманда назірала CD-35 2722 B — глядзіце яго старонку ў NASA Eyes on Exoplanets — з дапамогай CRIRES+, спектрографа высокага раздзялення на Вельмі вялікім тэлескопе Еўрапейскай паўднёвай абсерваторыі. З кастрычніка 2023 года па люты 2026 года яны атрымалі 26 эпох назіранняў. Адна мела занадта слабы сігнал, а дзве, праведзеныя пры

дрэнным надвор’і, былі адкінутыя і паўтораныя, таму засталося **23 якасныя ночы**.

Спектрограф раскладвае святло ў падрабязны ўзор ліній. Калі крыніца рухаецца да Зямлі або ад яе, гэтыя лініі крыху зрушваюцца. Паўторныя вымярэнні такога руху ўздоўж лініі зроку называюцца **прамянёвымі хуткасцямі**. Яны не паказваюць схаванае цела. Яны паказваюць, як назіраны аб’ект можа рухацца пад уздзеяннем нябачнага прыцягнення.

Наймацнейшая перыядычнасць у вымярэннях знаходзіцца каля 170 дзён. Яна перавышае прыняты ў даследаванні **парог імавернасці фальшывай трывогі 0,1%**. Гэты парог пытаецца, наколькі часта шум пры дапушчэннях тэсту мог бы стварыць пік перыядаграмы не слабейшы за назіраны. Гэта не азначае 99,9% імавернасці існавання спадарожніка і само па сабе нічога не кажа пра тое, адзін спадарожнік ці два.

> **Што можа ўстанавіць сігнал прамянёвай хуткасці?**
>
> Метад прамянёвай хуткасці ператварае паўторныя зрухі спектральных ліній у вымярэнні руху да назіральніка і ад яго. Паўтаральную карціну можна апісаць арбітальнымі ўраўненнямі і атрымаць перыяд, амплітуду вымеранага вагання і мінімальную масу спадарожніка.
> Але метад не фатаграфуе спадарожнік непасрэдна. Атмасфера зоркі або субзорнага аб’екта таксама можа зрушваць спектральныя лініі, графік назіранняў можа ствараць падманлівыя рытмы, а розныя арбітальныя схемы могуць імітаваць адна адну. Сам сігнал, яго фізічнае тлумачэнне і назва меркаванага аб’екта — розныя пытанні.

Перш чым прыняць арбітальнае тлумачэнне, трэба звярнуць увагу на выбарку. Чатыры асабліва нізкія значэнні прамянёвай хуткасці маюць значную вагу ў карціне. Яны з’явіліся дзвюма парамі пры добрых, паводле справаздачы, умовах, і ніводнае асобнае значэнне не стварала сігнал самастойна, калі аўтары паўтаралі аналіз, па чарзе выдаляючы адну кропку. Аднак назіралася толькі частка магчымых арбітальных фаз. Дваццаць тры ночы на працягу больш як двух гадоў — не тое самае, што бесперапыннае пакрыццё.

Аўтары таксама праверылі магчымы паўгадавы артэфакт. Недакладная папраўка на зменлівы рух Зямлі або профіль інструмента магла б стварыць фальшывы гадавы сігнал, які з-за выбаркі выглядаў бы як палова зямнога года, або **182,5 дня**. Іх пераважны перыяд — **171,11 дня** з нявызначанасцю +0,53/-0,36 дня; паводле аўтараў, гэта прыкладна на 20 стандартных адхіленняў ад 182,5 дня. Яны таксама не знайшлі карэляцыі са зменамі руху Зямлі, якасцю бачнасці, атмасфернай вадзяной парай або даследаванымі ўласцівасцямі інструмента. Гэта важныя кантрольныя праверкі. Яны робяць арбітальнае тлумачэнне дастаткова пераканаўчым для мадэлявання, але самі па сабе не ідэнтыфікуюць аб’ект.

Найпрасцейшы арбітальны адказ: адзін спадарожнік

У пераважнай мадэлі адзін аб’ект рухаецца па эксцэнтрычнай, або некалькі выцягнутай, арбіце вакол карычневага карліка кожныя 171,11 дня. Эксцэнтрысітэт падагнанай арбіты складае каля **0,27**, а вялікая паўвось — каля **0,200 астранамічнай адзінкі**, прыкладна пятую частку сярэдняй адлегласці паміж Зямлёй і Сонцам.

Амплітуда вымеранага вагання — каля **318 метраў за секунду**. З гэтага руху мадэль атрымлівае мінімальную масу спадарожніка каля **0,92 масы Юпітэра**.

Слова *мінімальная* істотнае. Прамянёвая хуткасць вымярае толькі тую частку арбітальнага руху, што накіравана да нас і ад нас. Калі арбіту бачым з рабра, большасць руху праяўляецца ўздоўж гэтай лініі. Калі ж амаль зверху, значная частка руху адбываецца папярок неба, і для таго самага вымеранага вагання патрэбны больш масіўны спадарожнік.

Астраномы запісваюць вынік як **m sin(i)**: маса, памножаная на сінус невядомага нахілу арбіты, або вугла назірання. Даныя абмяжоўваюць гэты здабытак, а не сапраўдную масу асобна. Таму каля 0,92 масы Юпітэра — ніжняя мяжа, а не дакладнае вымярэнне масы аб’екта.

> **Чаму вугал назірання хавае масу?**
>
> Уявіце, што вы глядзіце на кругавую бегавую дарожку збоку. Бягун рэгулярна рухаецца да вас і ад вас, таму гэтую складовую руху лёгка вымераць. Цяпер паглядзіце на тую ж дарожку зверху. Бягун рухаецца пераважна папярок вашага поля зроку і амаль не набліжаецца або аддаляецца.
> Прамянёвая хуткасць бачыць толькі першую складовую. Матэматычны множнік `sin(i)` апісвае, якая доля арбітальнага руху накіравана ўздоўж нашай лініі зроку. Пакуль нахіл `i` невядомы, выведзеная маса застаецца мінімальнай.

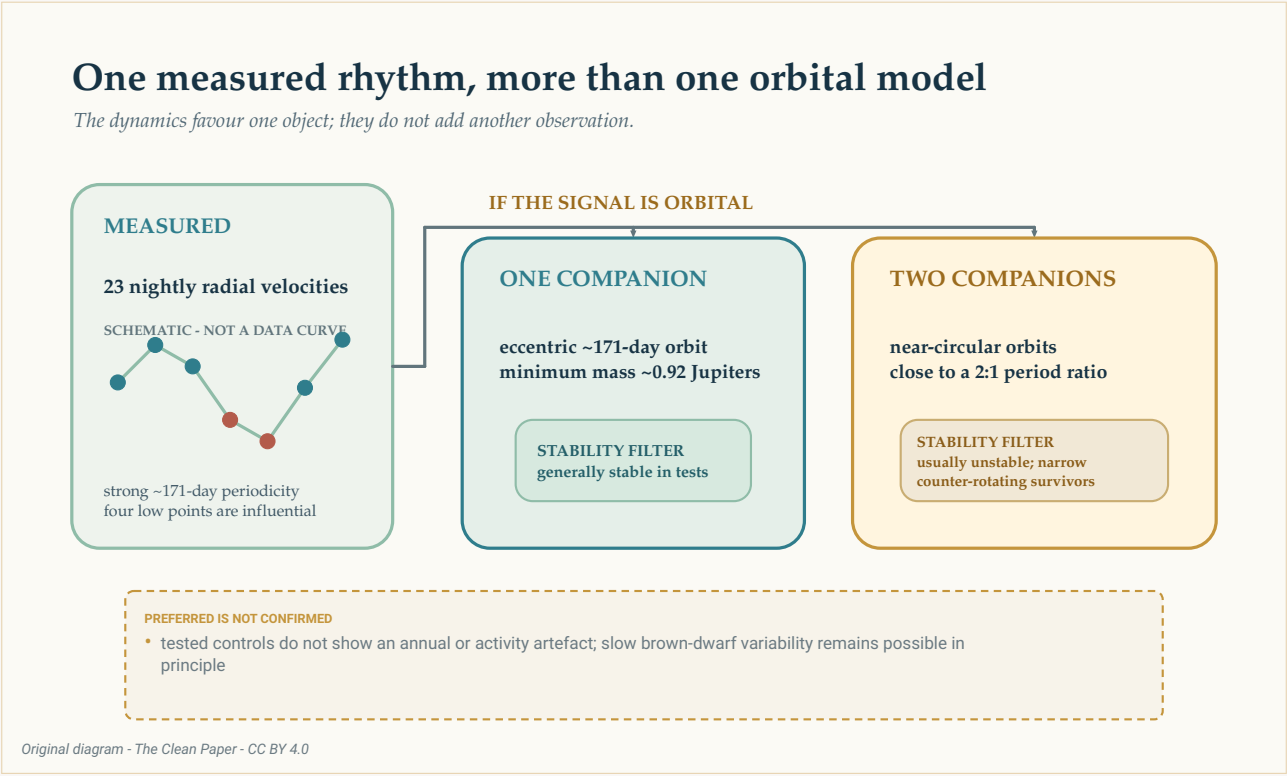
Затым аўтары спыталі, ці можа гэтая арбіта існаваць доўга, а не хутка разбурыцца. Іх лікавыя тэсты паказалі, што мадэль з адным спадарожнікам у цэлым устойлівая. Гэта робіць яе фізічна праўдападобнай інтэрпрэтацыяй сігналу, але не з’яўляецца другім выяўленнем.

Нязручны адказ: два спадарожнікі могуць імітаваць аднаго

Эксцэнтрычны сігнал прамянёвай хуткасці мае вядомую неадназначнасць. Пры пэўных умовах два аб’екты на амаль кругавых арбітах, адзін з якіх абарачаецца прыкладна ўдвая даўжэй за другі, могуць стварыць сумарную карціну, падобную да аднаго аб’екта на выцягнутай арбіце.

Гэтая неадназначнасць з’яўляецца і тут. Мадэль з двума спадарожнікамі можа апісаць цяперашнія вымярэнні з вонкавым сігналам каля 171 дня і больш кароткім унутраным сігналам. Паколькі час назіранняў не ахоплівае ўсе фазы раўнамерна, кароткі сігнал мае некалькі аліясаў. Праз доўгія прамежкі паміж 23 адабранымі начамі розныя пробныя перыяды могуць змяшчаць розную колькасць нябачных цыклаў паміж візітамі і ўсё яшчэ супадаць з тымі ж вымярэннямі. Таму кандыдатныя перыяды каля 14, 70, 88 і 115 дзён — альтэрнатыўныя падгонкі аднаго дрэнна адабранага кароткага сігналу, а не чатыры незалежна выяўленыя рытмы.

Аўтары адкідаюць дрэнна абмежаванае акно 13–17 дзён. У ім падгонка не вылучае адзін пераканаўчы перыяд: шмат блізкіх рашэнняў ніжэй за прыкладна 20 дзён могуць узнавіць вымярэнні з рэдкай выбаркай, таму ўсё акно, верагодна, з’яўляецца артэфактам выбаркі. Сярод астатніх вокнаў рашэнне каля 88 дзён апісвае даныя лепш, чым варыянты каля 70 і 115 дзён, але недастаткова, каб праца сцвярджала вядомы другі перыяд. У таблічнай найлепшай падгонцы мінімальная маса вонкавага аб’екта складае каля 0,87 масы Юпітэра, а ўнутранага — каля 0,22. Гэтыя лічбы апісваюць менш пераважную мадэль, а не вымярэнні двух устаноўленых светаў.



Калі прыкладна 171-дзённы сігнал мае арбітальнае паходжанне, адну і тую ж агульную карціну прамянёвай хуткасці можна апісаць адным эксцэнтрычным спадарожнікам або двума амаль кругавымі спадарожнікамі з суадносінамі перыядаў каля двух да аднаго. Тэсты ўстойлівасці аддаюць перавагу інтэрпрэтацыі з адным аб’ектам, але не ператвараюць мадэль у здымак і не выключаюць усе формы павольнай зменлівасці карычневага карліка.

The Clean Paper CC BY 4.0

Разлікі ўстойлівасці ўдакладняюць параўнанне. Большасць праверaных схем з двума

спадарожнікамі выкідвала адзін аб’ект на працягу некалькіх сотняў змадэляваных гадоў. Канфігурацыі, якія выжывалі, займалі вузкую і незвычайную вобласць: арбіты былі амаль у адной плоскасці, але рухаліся ў процілеглых напрамках. Зорка-гаспадар уводзіла дадатковыя няўстойлівыя вобласці.

Гэта прычына аддаць перавагу аднаму эксцэнтрычнаму спадарожніку перад праверанымі сістэмамі з двума. Але не доказ таго, што прырода выбрала прасцейшую мадэль. Аналіз устойлівасці фільтруе магчымыя інтэрпрэтацыі пасля вымярэння прамянёвых хуткасцяў; ён не дадае новую назіраную кропку да крывой.

Як адна эксцэнтрычная арбіта можа выглядаць як дзве кругавыя?

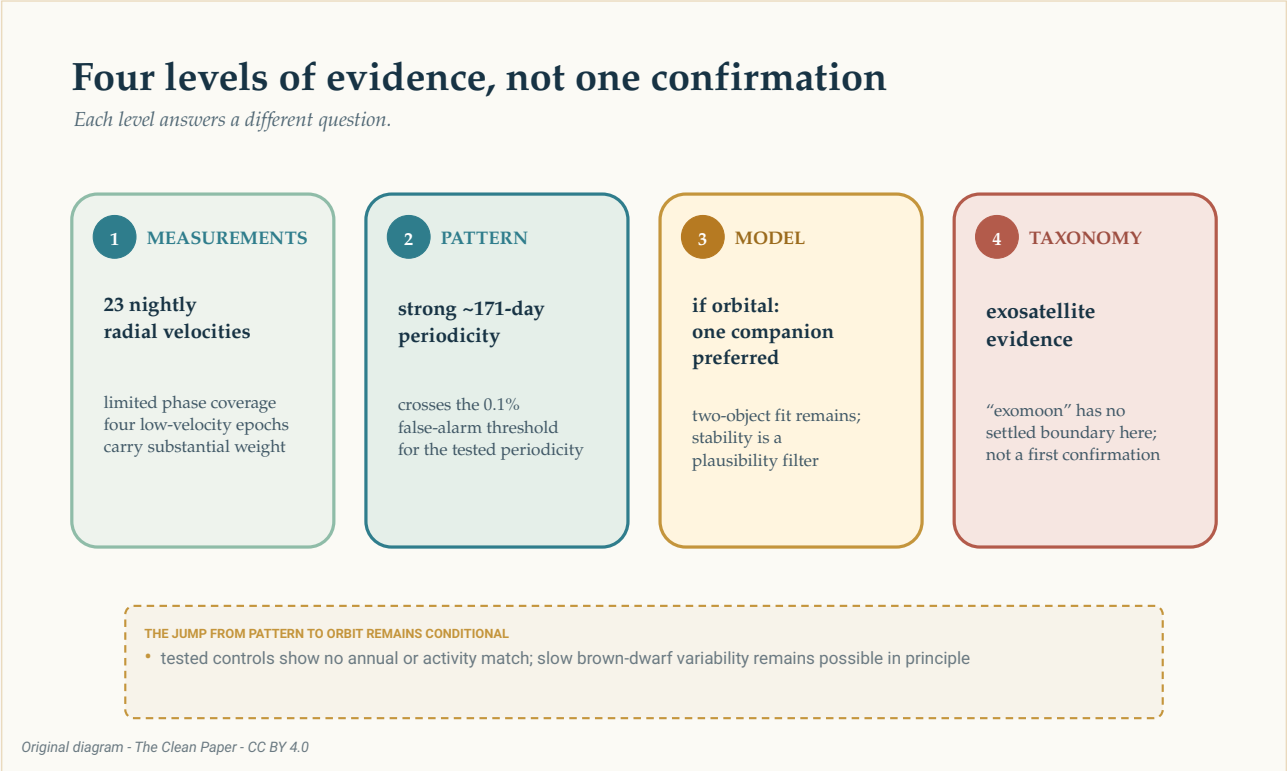
Ідэальная круглая арбіта стварае простую паўтаральную хвалю прамянёвай хуткасці. Эксцэнтрычная арбіта дадае скажэнні. Дзве кругавыя арбіты з перыядамі каля суадносін два да аднаго могуць скласціся так, што адзін сігнал задае асноўны рытм, а другі — падобнае скажэнне.
Гэта **арбітальная дэгенерацыя**: розныя фізічныя сістэмы ствараюць падобныя вымярэнні. Дадатковыя назіранні ў моманты, калі мадэлі прадказваюць розныя хуткасці, могуць разарваць неадназначнасць. Дынамічны тэст дапамагае спытаць, ці можа кожная прапанаваная сістэма выжыць, але не замяняе назіранні.

Ці можа рытм паходзіць ад карычневага карліка?

Карычневы карлік — не маўклівая пробная маса. Яго атмасфера круціцца, утварае воблакі і можа мець магнітную актыўнасць. Зменлівыя паверхневыя структуры могуць змяняць форму спектральных ліній і імітаваць рух.

Ацэнены максімальны перыяд кручэння CD-35 2722 B — каля **0,65 дня**, значна карацей за 171 дзень. Каманда не выявіла моцнага кароткага сігналу кручэння або пераканаўчага сігналу, падобнага да воблакаў ці грануляцыі, у праверaных мадэлях актыўнасці. Яны таксама даследавалі гадавую выбарку і параметры інструмента, не знайшоўшы адпаведнасці 171-дзённаму рытму.

Гэтыя праверкі звужаюць альтэрнатывы, але праца не сцвярджае, што ўся ўнутраная зменлівасць выключана. Доўгатэрміновую магнітную актыўнасць або атмасферную цыркуляцыю карычневага карліка ў прынцыпе выключыць нельга. Гэтая магчымасць павінна стаяць побач з арбітальнымі мадэлямі, а не хавацца пасля іх.



Доказы ўздымаюцца праз асобныя ўзроўні: 23 начныя вымярэнні прамянёвай хуткасці з абмежаваным ахопам фаз, моцная перыядычнасць каля 171 дня, пераважная мадэль з адным спадарожнікам пры ўмове арбітальнага сігналу і, нарэшце, нявызначаная назва «экзамесяц». Лесвіца раздзяляе вымярэнне, статыстычны ўзор, фізічную інтэрпрэтацыю і класіфікацыю; гэта не стрэлка пацвярджэння.

The Clean Paper CC BY 4.0

Гэта экзамесяц?

У Сонечнай сістэме месяц абарачаецца вакол планеты. CD-35 2722 B — карычневы карлік, а сапраўдная маса меркаванага спадарожніка пакуль невядомая. Звыклыя назвы пачынаюць дрэнна працаваць, калі адзін аб'ект знаходзіцца каля мяжы паміж планетай і карычневым карлікам, а другі — каля мяжы паміж месяцам і планетай.

Праца не сцвярджае адкрыццё першага пацверджанага экзамесяца. Яна кажа, што ніводны экзамесяц пакуль не выяўлены з высокай упэўненасцю, прадстаўляе доказы на карысць **экзаспадарожніка** планетнай масы і называе сістэму крокам да бясспрэчнага выяўлення. Абмеркаванне магчымай навізны пачынаецца ўмоўна: калі сігнал апынецца сапраўдным.

Гэтая асцярожнасць не робіць вынік пустым. Непасрэдна вымяраць прамянёвыя хуткасці цьмянага карычневага карліка-спадарожніка цяжка. Калі далейшыя назіранні захаваюць сігнал, сістэма пакажа, што метады пошуку планет могуць пранікнуць яшчэ на адзін узровень нябеснай іерархіі.

Яшчэ адзін сезон назіранняў можа не проста дадаць кропкі. Мадэлі з адным і двума спадарожнікамі прадказваюць розныя хуткасці ў канкрэтныя будучыя моманты. Вымярэнні, якія запоўняць прапушчаныя арбітальныя фазы, могуць праверыць устойлівасць 171-дзённага рытму, паменшыць уплыў чатырох нізкіх кропак і прымусіць канкуруючыя крывыя разысціся.

Пакуль што найбольш сумленная выява — не новы месяц побач з карычневым карлікам. Гэта спектр, паўтораны ноч за ноччу, з малым перыядычным зрушэннем. Унутры гэтага рытму можа быць свет. Дасягненне — зразумець, колькі можна з яго вывесці, не выдаючы няпоўную выснову за завершаную.

Кароткі вынік

Астраномы вымералі прамянёвую хуткасць непасрэдна знятага карычневага карліка CD-35 2722 B у 23 якасныя ночы паміж кастрычнікам 2023 года і лютым 2026 года. Яго спектральныя лініі паказваюць моцнае перыядычнае зрушэнне каля 171 дня. Пераважная арбітальная мадэль змяшчае адзін эксцэнтрычны спадарожнік з мінімальнай масай каля 0,92 масы Юпітэра, але сапраўдная маса невядомая, бо невядомы нахіл арбіты. Два амаль кругавыя спадарожнікі могуць імітаваць той самы агульны сігнал, хаця большасць праверaных канфігурацый з двума аб'ектамі была дынамічна няўстойлівай. Чатыры эпохі з нізкай хуткасцю істотна ўплываюць на вынік, а ахоп арбітальных фаз застаецца абмежаваным: назіранні выбіраюць толькі асобныя часткі магчымага 171-дзённага цыклу, а не бесперапынна прасочваюць яго праз усе фазы. Тэсты не выявілі кручэнне, гадавую выбарку, надвор'е або даследаваныя ўласцівасці інструмента як крыніцу сігналу, але доўгатэрміновую зменлівасць карычневага карліка ў прынцыпе выключыць нельга. Нябачны аб'ект не быў непасрэдна зняты, мадэль з адным аб'ектам толькі пераважная, а не пацверджаная, і няма агульнапрынятага правіла, паводле якога цела планетнай масы вакол карычневага карліка абавязкова з'яўляецца экзамесяцам.

Праверка без сенсацый

Што назіралася: 23 начныя вымярэнні прамянёвай хуткасці CD-35 2722 B змяшчаюць моцную перыядычнасць каля 171 дня. Сам карычневы карлік быў непасрэдна зняты; прапанаваны спадарожнік — не.

Чаму аўтары аддаюць перавагу: калі сігнал арбітальны, адзін эксцэнтрычны спадарожнік з мінімальнай масай каля масы Юпітэра дае найпрасцейшую дынамічна праўдападобную інтэрпрэтацыю цяперашніх даных.

Што застаецца адкрытым: два спадарожнікі могуць апісаць прамянёвыя хуткасці, хаця праверaныя сістэмы звычайна няўстойлівыя; доўгатэрміновая зменлівасць

карычневага карліка ў прынцыпе не выключана; невядомы вугал назірання пакідае сапраўдную масу спадарожніка нявызначанай.

Чаго праца не ўстанаўлівае: першага пацверджанага экзамесяца, непасрэдна ўбачанага спадарожніка, дакладна аднаго арбітальнага аб’екта, сапраўднай масы 0,92 масы Юпітэра або 99,9% імавернасці правільнасці пераважнай фізічнай мадэлі.

Што павысіць упэўненасць: далейшыя вымярэнні прамянёвай хуткасці, якія ахопяць больш арбітальных фаз, праверацъ устойлівасць 171-дзённага сігналу і будуць праведзены ў моманты, калі мадэлі з адным і двума спадарожнікамі даюць розныя прадказанні.

Крыніцы

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