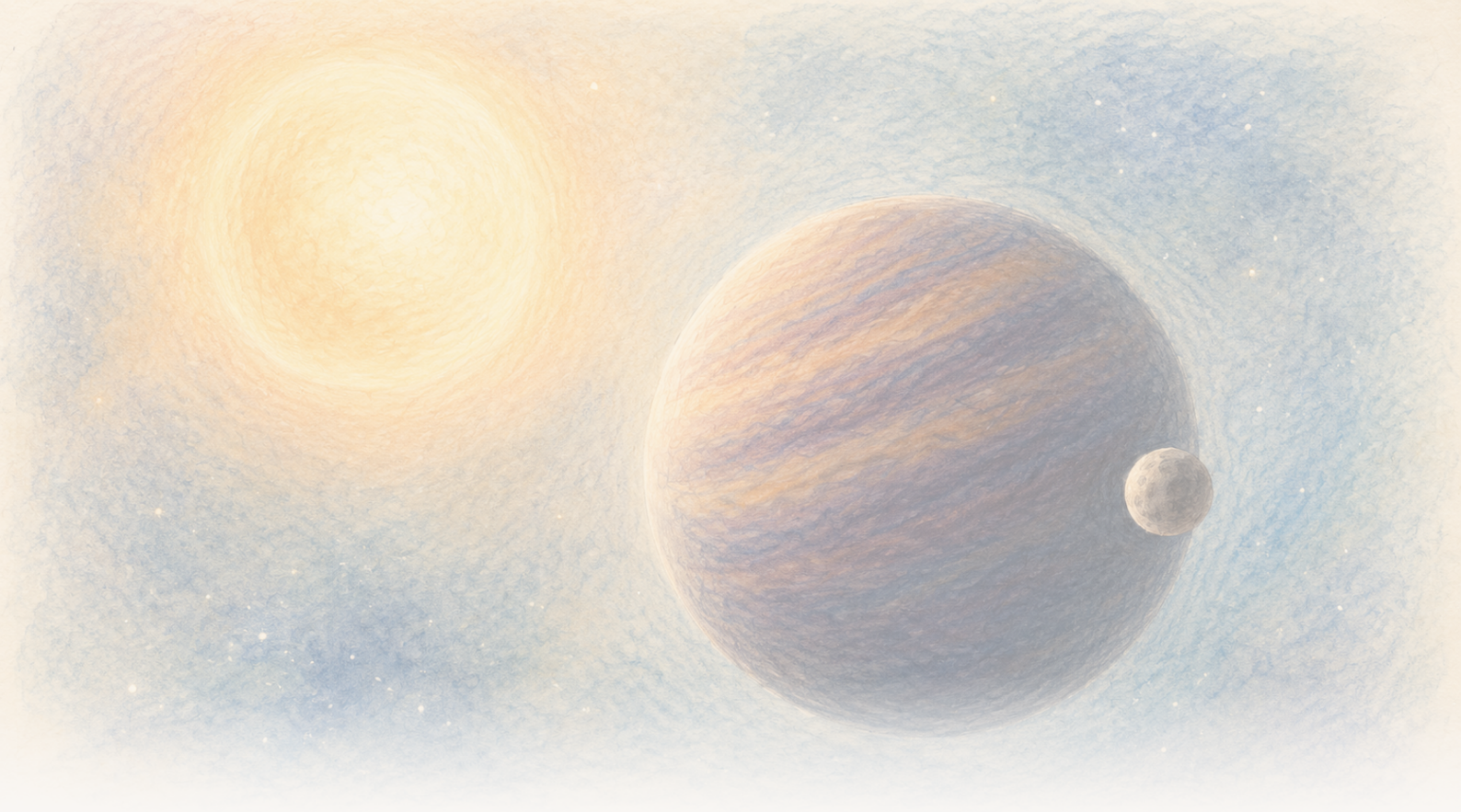


The Clean Paper

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

# Коричневый карлик, похоже, колеблется каждые 171 день. Возможно, его тянет один скрытый мир, но данные допускают и два

*Двадцать три спектра высокого качества выявляют сильное периодическое смещение в движении CD-35 2722 B. Предпочтительная модель — один эксцентричный компаньон с минимальной массой около массы Юпитера, но модель с двумя объектами может имитировать тот же сигнал, медленная изменчивость коричневого карлика в принципе остаётся возможной, а слово «экзолуна» здесь не имеет установленной границы.*

---

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

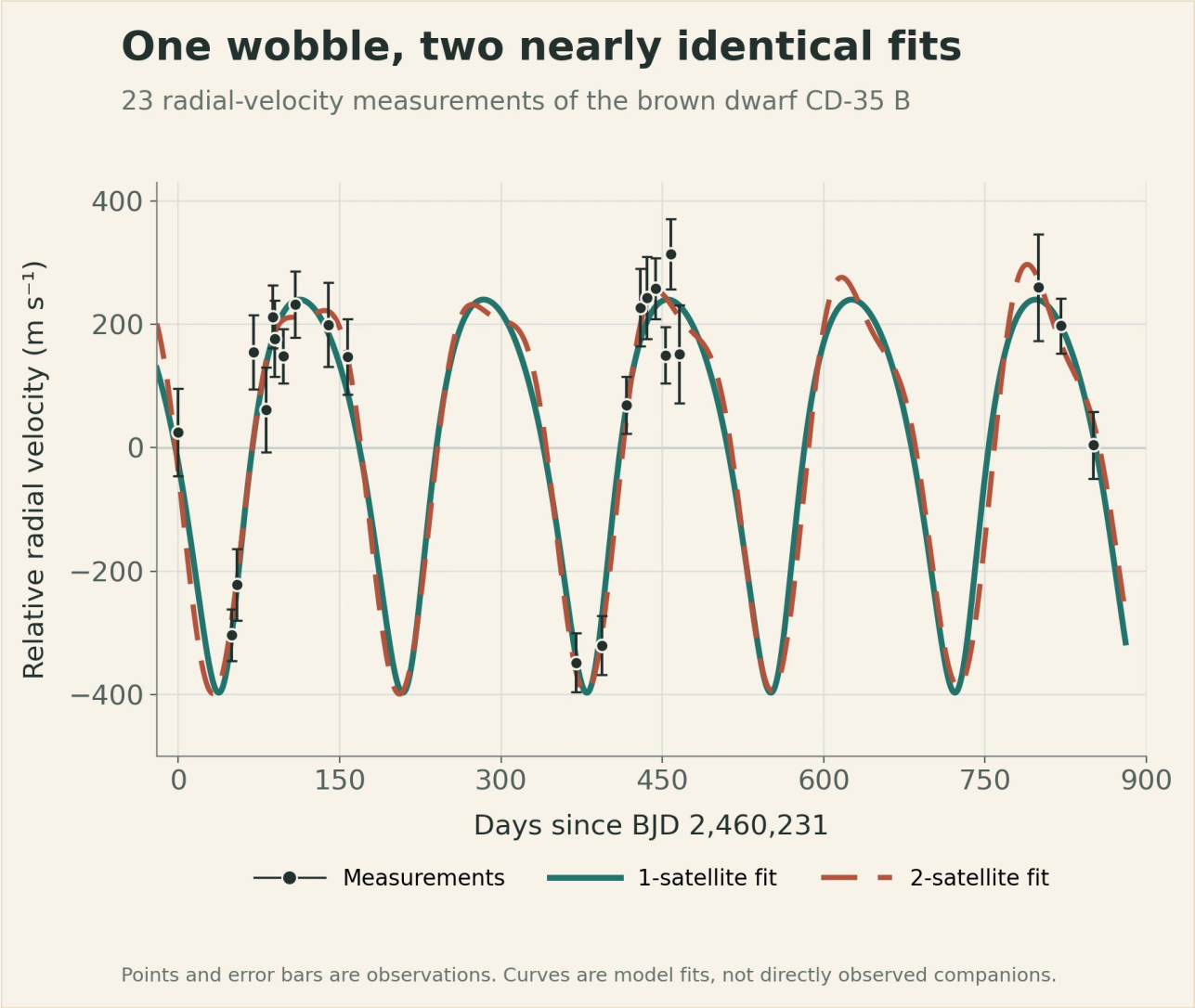
# Коричневый карлик, похоже, колеблется каждые 171 день. Возможно, его тянет один скрытый мир, но данные допускают и два

Астрономы видят CD-35 2722 B как отдельную точку света, отделённую от звезды, вокруг которой он обращается. Это коричневый карлик — объект в диапазоне масс между планетами-гигантами и звёздами: при массе около 37 масс Юпитера он тяжелее типичной планеты-гиганта, но не является обычной звездой, сжигающей водород. Меньший объект, который, возможно, обращается уже вокруг самого коричневого карлика, увидеть не удаётся. Если его существование подтвердится, это будет первая наблюдаемая иерархия, в которой спутник обращается вокруг более крупного субзвёздного объекта, а тот, в свою очередь, — вокруг звезды.

Вместо этого исследователи видят ритм. В одни ночи свет коричневого карлика слегка смещён из-за его движения к Земле. В другие — из-за движения от Земли. Картина повторяется примерно каждые **171 день**.

Именно такое движение туда-сюда может создавать невидимый компаньон: когда два объекта обращаются вокруг общего центра масс, меньший движется вокруг большего, но и больший совершает гораздо меньшую петлю. Если этот ритм имеет орбитальную природу, новая статья в Nature предлагает в качестве предпочтительного объяснения измеренной петли CD-35 2722 B один объект планетной массы.

Это замечательная возможность, но не фотография луны. Двадцать три ночи наблюдений высокого качества выявляют сильный периодический сигнал. Чтобы превратить этот сигнал в мир, нужна модель, а текущие данные всё ещё допускают более одной архитектуры системы. Они также не полностью исключают медленные изменения в самом коричневом карлике.




Чёрные точки и планки погрешностей — 23 ночных измерения лучевой скорости. Сплошная и пунктирная кривые — наилучшие модели с одним и двумя спутниками. Их почти полное совпадение показывает, почему данные могут выявить периодическое колебание, но пока не определить архитектуру системы; ни одна из кривых не является прямым изображением компаньона.

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

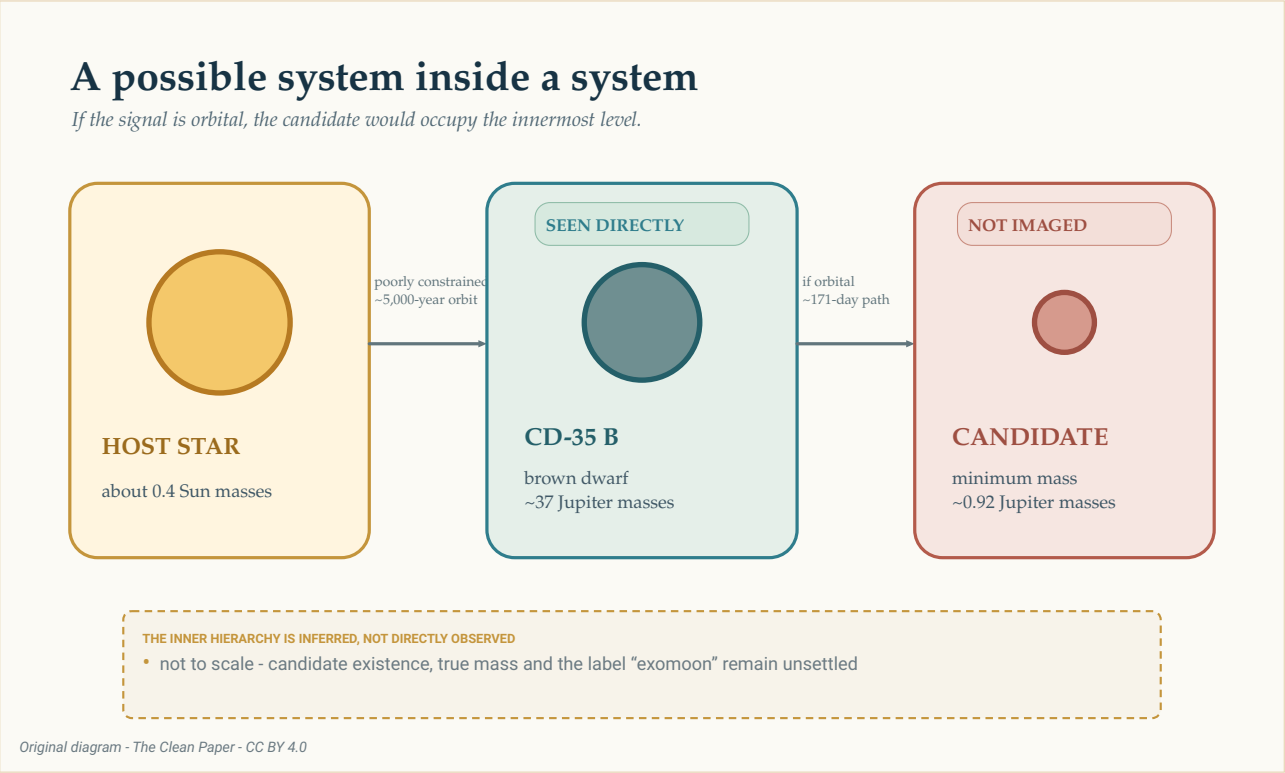
## Система внутри системы

CD-35 2722 B — **коричневый карлик**, объект между привычными категориями. Он массивнее типичной планеты-гиганта, но недостаточно массивен, чтобы светить как обычная звезда, сжигающая водород. В статье используется оценка массы около **37 масс Юпитера**.

Коричневый карлик был открыт методом прямого изображения: телескопы разрешили его свет отдельно от света звезды-хозяина. На небе он находится примерно в 2,8 угловой секунды от звезды. Широкая орбита, связывающая эту пару, известна плохо,

но современные оценки предполагают сильно вытянутую траекторию с периодом около **5 000 лет**.

Если периодический сигнал имеет орбитальную природу, предполагаемая архитектура добавит ещё один внутренний уровень: звезда, вокруг которой обращается коричневый карлик, и компаньон планетной массы, обращающийся вокруг этого карлика.




Если сигнал имеет орбитальную природу, кандидат займёт самый внутренний уровень этой возможной иерархии. Напрямую наблюдали только коричневый карлик. Внешняя орбита вокруг звезды ограничена плохо, тогда как внутренняя траектория с периодом около 171 дня выведена из измеренного колебания коричневого карлика. Размеры и расстояния показаны не в масштабе.

The Clean Paper CC BY 4.0

Такую возможную иерархию легко нарисовать. Но ни её физическая реальность, ни используемые слова пока не установлены. Следует ли считать тело планетной массы, обращающееся вокруг коричневого карлика, луной, планетой или просто спутником? У астрономов нет общепринятого правила, которое решало бы этот вопрос. Поэтому в статье используется более широкое слово **экзоспутник**.

## Как 23 ночи превратились в колебание

Команда наблюдала CD-35 2722 B (см. его страницу в NASA Eyes on Exoplanets) с помощью CRIRES+ — спектрографа высокого разрешения на Очень большом телескопе Европейской южной обсерватории. С октября 2023 года по февраль 2026 года исследователи

получили 26 эпох наблюдений. В одной сигнал оказался слишком слабым, ещё две, проведённые в плохую погоду, были отклонены и повторены, так что осталось **23 ночи высокого качества**.

Спектрограф разлагает свет в подробный узор линий. Когда источник движется к Земле или от неё, эти линии немного смещаются. Повторные измерения такого движения вдоль луча зрения называются **лучевыми скоростями**. Они не показывают скрытое тело. Они показывают, как наблюдаемый объект может двигаться под действием невидимого притяжения.

Самая сильная периодичность в измерениях находится вблизи 170 дней. Она превышает установленный в исследовании **порог вероятности ложной тревоги 0,1%**. Этот порог отвечает на вопрос, как часто шум при допущениях теста мог бы создать пик периодограммы не слабее наблюдаемого. Он не означает 99,9-процентную вероятность существования спутника и сам по себе ничего не говорит о том, один компаньон или два.

> **Что может установить сигнал лучевой скорости?**
>
> Метод лучевых скоростей превращает повторяющиеся смещения спектральных линий в измерения движения к наблюдателю и от него. Повторяющуюся картину можно описать уравнениями орбиты и тем самым вывести период, размер измеренного колебания и минимальную массу компаньона.
> Но метод не фотографирует компаньона напрямую. Атмосфера звезды или субзвёздного объекта тоже может смещать спектральные линии, график наблюдений может создавать вводящие в заблуждение ритмы, а разные орбитальные конфигурации способны имитировать друг друга. Сам сигнал, его физическое объяснение и название, данное предполагаемому объекту, — это разные вопросы.

Прежде чем принимать орбитальный ответ, важно обратить внимание на выборку. Четыре особенно низких измерения лучевой скорости имеют существенный вес в общей картине. Они были получены двумя парами при, согласно отчётам, хороших условиях, и ни одна отдельная точка не создавала сигнал сама по себе, когда авторы повторяли анализ, поочерёдно исключая по одному измерению. Тем не менее охвачена лишь часть возможных орбитальных фаз. Двадцать три ночи, распределённые более чем на два года, — не то же самое, что непрерывное покрытие.

Авторы также проверили возможный полугодовой артефакт. Неточная поправка на меняющееся движение Земли или профиль прибора могла бы создать ложный годовой сигнал, который из-за выборки проявился бы как половина земного года, то есть **182,5 дня**. Предпочтительный период составляет **171,11 дня** с неопределённостью +0,53/-0,36 дня; авторы сообщают, что это примерно на 20 стандартных отклонений отличается от 182,5 дня. Они также не обнаружили корреляции с меняющимся движением Земли, качеством изображения, содержанием водяного пара в атмосфере или исследованными свойствами прибора. Это важные проверки. Они делают орбитальное

объяснение достаточно убедительным, чтобы строить модели, но сами по себе не идентифицируют объект.

## Самый простой орбитальный ответ: один компаньон

В предпочтительной модели один объект обращается вокруг коричневого карлика по эксцентричной, то есть несколько вытянутой, орбите с периодом 171,11 дня. Подогнанная орбита имеет эксцентриситет около **0,27** и большую полуось около **0,200 астрономической единицы** — примерно одну пятую среднего расстояния между Землёй и Солнцем.

Амплитуда измеренного колебания составляет около **318 метров в секунду**. Из этого движения модель выводит минимальную массу компаньона около **0,92 массы Юпитера**.

Слово *минимальная* важно. Лучевая скорость измеряет только ту часть орбитального движения, которая направлена к нам или от нас. Если орбита видна с ребра, большая часть движения приходится на это направление. Если же мы видим её ближе к плоскости, большая часть движения проходит поперёк неба, и для создания того же измеренного колебания потребовался бы более массивный компаньон.

Астрономы записывают результат как **m sin(i)**: масса, умноженная на синус неизвестного наклонения орбиты, то есть угла обзора. Данные ограничивают это произведение, а не истинную массу саму по себе. Поэтому около 0,92 массы Юпитера — нижняя граница, а не измерение точной массы объекта.

> **Почему угол обзора скрывает массу?**
>
> Представьте, что вы смотрите на круговую беговую дорожку сбоку. Бегун попеременно движется к вам и от вас, поэтому эту составляющую движения легко измерить. Теперь посмотрите на ту же дорожку сверху. Бегун движется главным образом поперёк вашего поля зрения и почти не приближается и не удаляется.
> Лучевая скорость видит только первую составляющую. Математический множитель `sin(i)` описывает, какая доля орбитального движения направлена вдоль нашего луча зрения. Пока наклонение `i` неизвестно, выведенная масса остаётся минимальной.

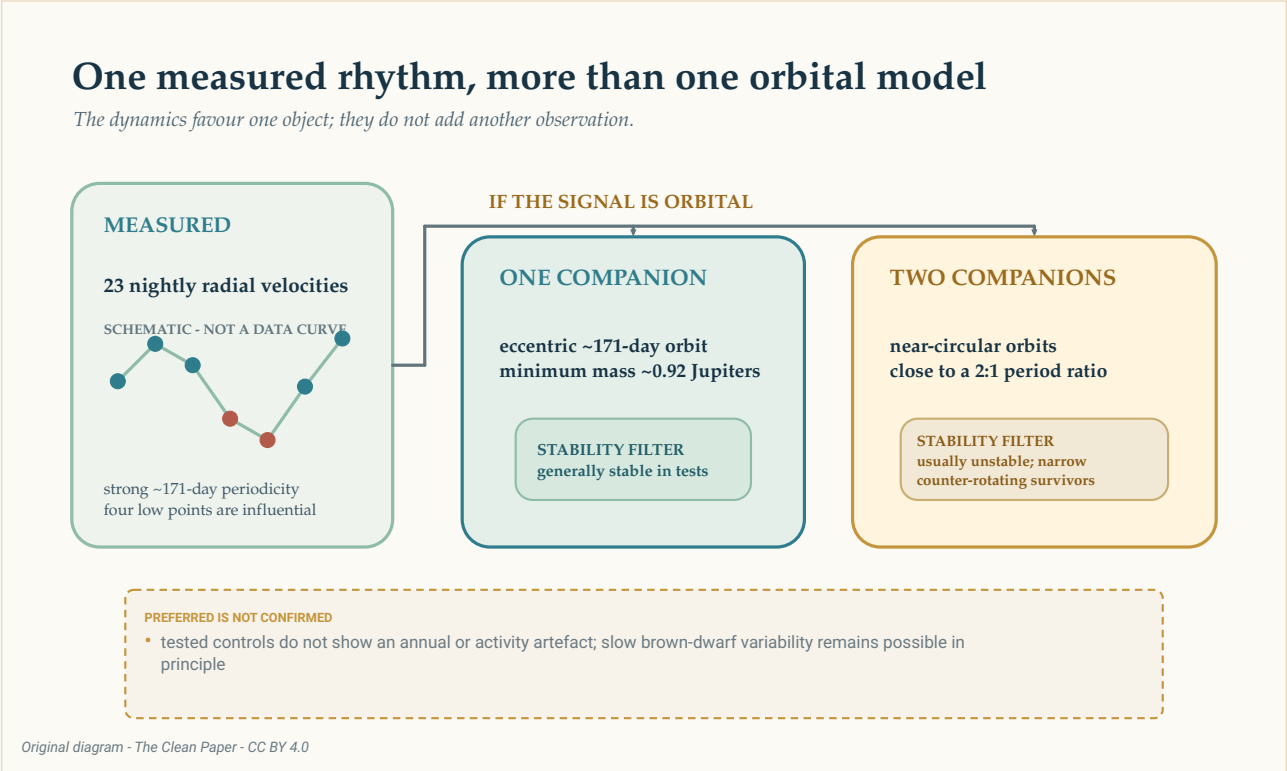
Затем авторы спросили, способна ли такая орбита сохраняться, а не быстро разрушиться. Их численные тесты показали, что модель с одним компаньоном в целом устойчива. Это делает её физически правдоподобным толкованием сигнала. Но это не является вторым обнаружением.

# Неудобный ответ: два компаньона могут имитировать одного

Для эксцентричного сигнала лучевой скорости известна неоднозначность. При некоторых условиях два объекта на почти круговых орбитах, один из которых совершает оборот примерно вдвое дольше другого, способны вместе создать картину, похожую на сигнал одного объекта на вытянутой орбите.

Эта неоднозначность проявляется и здесь. Модель с двумя компаньонами может описать нынешние измерения внешним сигналом около 171 дня и внутренним сигналом с меньшим периодом. Поскольку моменты наблюдений неравномерно покрывают все фазы, у короткого сигнала есть несколько алиасов. Из-за длинных промежутков между 23 выбранными ночами разные пробные периоды могут подразумевать разное число ненаблюдавшихся циклов между визитами и всё же совпадать с теми же измерениями. Поэтому периоды-кандидаты около 14, 70, 88 и 115 дней — альтернативные подгонки одного плохо выбранного короткого сигнала, а не четыре независимо обнаруженных ритма.

Авторы отвергают плохо ограниченное окно от 13 до 17 дней. В этой области подгонка не выделяет один убедительный период: множество близко расположенных решений короче примерно 20 дней способны воспроизвести редкие измерения, поэтому всё окно, вероятно, является артефактом выборки. Среди оставшихся окон решение около 88 дней подходит лучше, чем варианты примерно 70 и 115 дней, но недостаточно, чтобы статья заявила известный второй период. В табличной наилучшей подгонке минимальная масса внешнего объекта составляет около 0,87 массы Юпитера, а внутреннего — около 0,22 массы Юпитера. Эти числа описывают менее предпочтительную модель; это не измерения двух установленных миров.




Если приблизительно 171-дневный сигнал имеет орбитальную природу, одну и ту же общую картину лучевой скорости можно представить одним эксцентричным компаньоном или двумя почти круговыми компаньонами с отношением периодов, близким к двум к одному. Тесты устойчивости благоприятствуют интерпретации с одним объектом, но не превращают модель в изображение и не исключают все формы медленной изменчивости коричневого карлика.

The Clean Paper CC BY 4.0

Расчёты устойчивости уточняют сравнение. В большинстве проверенных конфигураций с двумя компаньонами один объект выбрасывался из системы в течение нескольких сотен смоделированных лет. Выжившие конфигурации занимали узкую и необычную область, где орбиты лежали почти в одной плоскости, но движение по ним шло в противоположных направлениях. Звезда-хозяин создавала дополнительные области неустойчивости.

Это основание предпочесть одного эксцентричного компаньона проверенным системам с двумя объектами. Но это не доказательство того, что природа выбрала более простую модель. Анализ устойчивости фильтрует возможные интерпретации после измерения лучевых скоростей; он не добавляет к кривой ещё одну наблюдаемую точку.

### Как одна эксцентричная орбита может выглядеть как две круговые?

Идеальная круговая орбита создаёт простую повторяющуюся волну лучевой скорости. Эксцентричная орбита добавляет к ней искажения. Две круговые орбиты с периодами, близкими к отношению два к одному, могут сложиться так, что один сигнал задаёт основной ритм, а другой создаёт похожее искажение. Это **орбитальное вырождение**: разные физические системы дают сходные

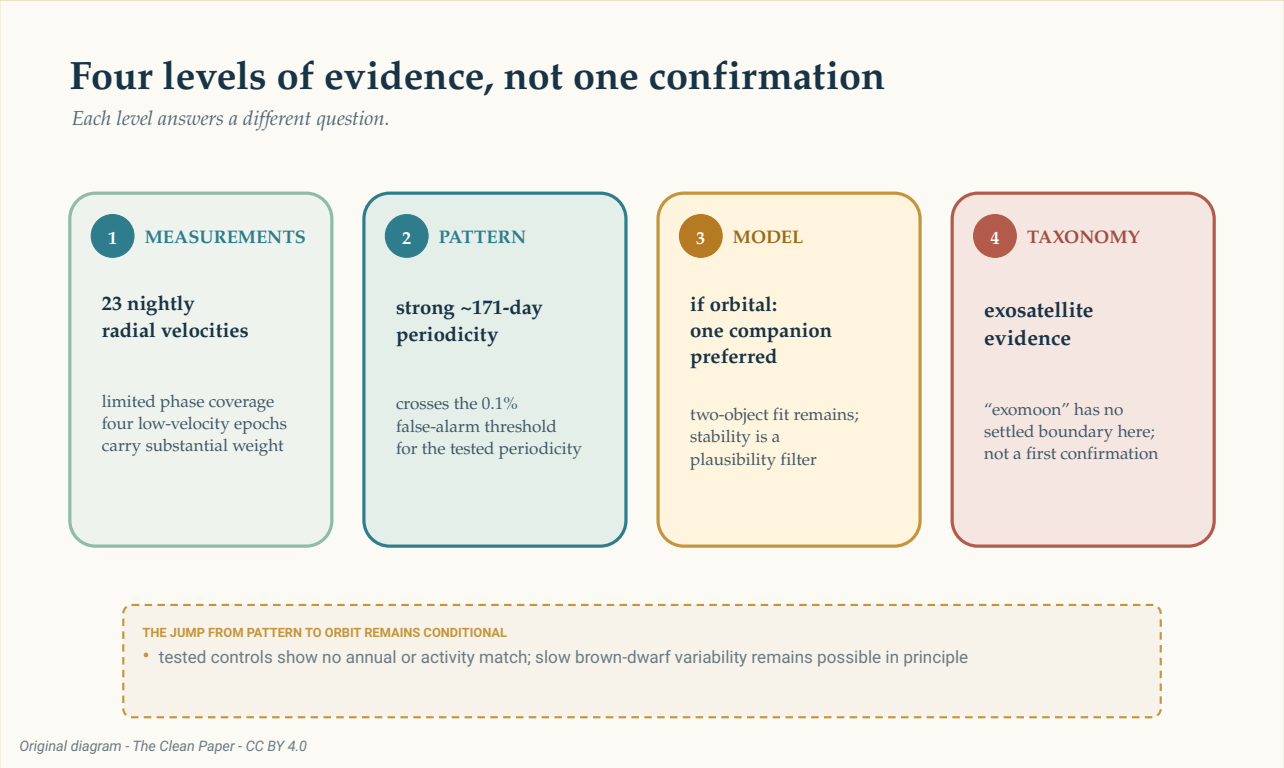
> измерения. Дополнительные наблюдения в моменты, когда модели предсказывают разные скорости, способны разрешить неоднозначность. Динамический тест помогает спросить, могла ли каждая предложенная система сохраниться, но не заменяет эти наблюдения.

## Может ли ритм исходить от самого коричневого карлика?

Коричневый карлик — не безмолвная пробная масса. Его атмосфера вращается, образует облака и может проявлять магнитную активность. Меняющиеся поверхностные структуры способны изменять форму спектральных линий и имитировать движение.

Оценённый максимальный период вращения CD-35 2722 B составляет около **0,65 дня**, намного меньше 171 дня. В проверенных моделях активности команда не обнаружила сильного короткого сигнала вращения или убедительного сигнала, похожего на облачность либо грануляцию. Исследователи также проверили годовую выборку и параметры прибора, не найдя соответствия 171-дневному ритму.

Эти проверки сужают круг альтернатив, но статья не утверждает, что исключена вся внутренняя изменчивость. В принципе нельзя исключить магнитную активность или атмосферную циркуляцию коричневого карлика на больших временных масштабах. Эта оставшаяся возможность должна стоять рядом с орбитальными моделями, а не быть спрятана после них.



Доказательства поднимаются через отдельные уровни: 23 ночных измерения лучевой скорости с ограниченным покрытием фаз, сильная периодичность около 171 дня, предпочтительная модель с одним компаньоном, если сигнал орбитальный, и, наконец, неустановившийся ярлык «экзолуна». Лестница разделяет измерение, статистическую картину, физическую интерпретацию и классификацию; это не стрелка подтверждения.

The Clean Paper CC BY 4.0

## Экзолуна ли это?

В Солнечной системе луна обращается вокруг планеты. CD-35 2722 B — коричневый карлик, а истинная масса предполагаемого компаньона пока неизвестна. Привычные названия начинают давать сбой, когда один объект находится возле границы между планетой и коричневым карликом, а другой — возле границы между луной и планетой.

Статья не заявляет о первой подтверждённой экзолуне. В ней говорится, что ни одна экзолуна пока не обнаружена с высокой уверенностью, представлены свидетельства в пользу **экзоспутника** планетной массы, а система названа шагом к бесспорному обнаружению. Обсуждение возможной новизны начинается условно: если сигнал окажется реальным.

Эта осторожность не делает результат пустым. Напрямую измерять лучевые скорости слабого коричневого карлика-компаньона трудно. Если дальнейшие наблюдения сохранят сигнал, система покажет, что методы поиска планет могут проникнуть ещё на один уровень небесной иерархии.

Ещё один сезон наблюдений способен не просто добавить точки. Модели с одним и двумя компаньонами предсказывают разные скорости в определённые будущие моменты. Измерения, заполняющие отсутствующие орбитальные фазы, могут проверить устойчивость 171-дневного ритма, уменьшить влияние четырёх низких точек и заставить конкурирующие кривые разойтись.

Пока самый честный образ — не новая луна, висящая возле коричневого карлика. Это спектр, повторяемый ночь за ночью и несущий небольшое периодическое смещение. Внутри этого ритма может скрываться мир. Достижение состоит в том, чтобы понять, сколько можно из него вывести, не притворяясь, будто вывод уже завершён.

## Краткий итог

Астрономы измерили лучевую скорость напрямую изображённого коричневого карлика CD-35 2722 B в 23 ночи высокого качества с октября 2023 года по февраль 2026 года. Его спектральные линии показывают сильное периодическое смещение около 171 дня. Предпочтительная орбитальная модель содержит один эксцентричный

компаньон с минимальной массой около 0,92 массы Юпитера, но истинная масса неизвестна из-за неизвестного наклонения орбиты. Два компаньона на почти круговых орбитах способны имитировать тот же общий сигнал, хотя большинство проверенных конфигураций с двумя объектами оказались динамически неустойчивыми. Четыре эпохи с низкой скоростью сильно влияют на результат, а покрытие орбитальных фаз остаётся ограниченным: наблюдения охватывают лишь выбранные части возможного 171-дневного цикла, а не непрерывно отслеживают его на всех фазах. Проверки не выявили вращение, годовую выборку, погоду или исследованные параметры прибора как источник сигнала, но в принципе нельзя исключить долговременную изменчивость коричневого карлика. Невидимый объект не был изображён напрямую, модель с одним объектом предпочтительна, но не подтверждена, и нет установленного правила, по которому тело планетной массы вокруг коричневого карлика следует считать экзолуной.

## Проверка без прикрас

**Что наблюдалось:** Двадцать три ночных измерения лучевой скорости CD-35 2722 B содержат сильную периодичность около 171 дня. Сам коричневый карлик был изображён напрямую; предполагаемый компаньон — нет.

**Что предпочитают авторы:** Если сигнал имеет орбитальную природу, один эксцентричный компаньон с минимальной массой около массы Юпитера даёт самое простое динамически правдоподобное объяснение текущих данных.

**Что остаётся открытым:** Два компаньона могут описать лучевые скорости, хотя проверенные системы обычно неустойчивы; долговременная изменчивость коричневого карлика в принципе не исключена; неизвестный угол обзора оставляет истинную массу компаньона неопределённой.

**Чего статья не устанавливает:** Первую подтверждённую экзолуну, напрямую увиденный спутник, существование ровно одного орбитального объекта, истинную массу 0,92 массы Юпитера или 99,9-процентную вероятность правильности предпочтительной физической модели.

**Что повысило бы уверенность:** Дальнейшие измерения лучевой скорости, охватывающие больше орбитальных фаз, проверяющие сохранение 171-дневного сигнала и попадающие в моменты, когда модели с одним и двумя компаньонами дают разные предсказания.

# Источники

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