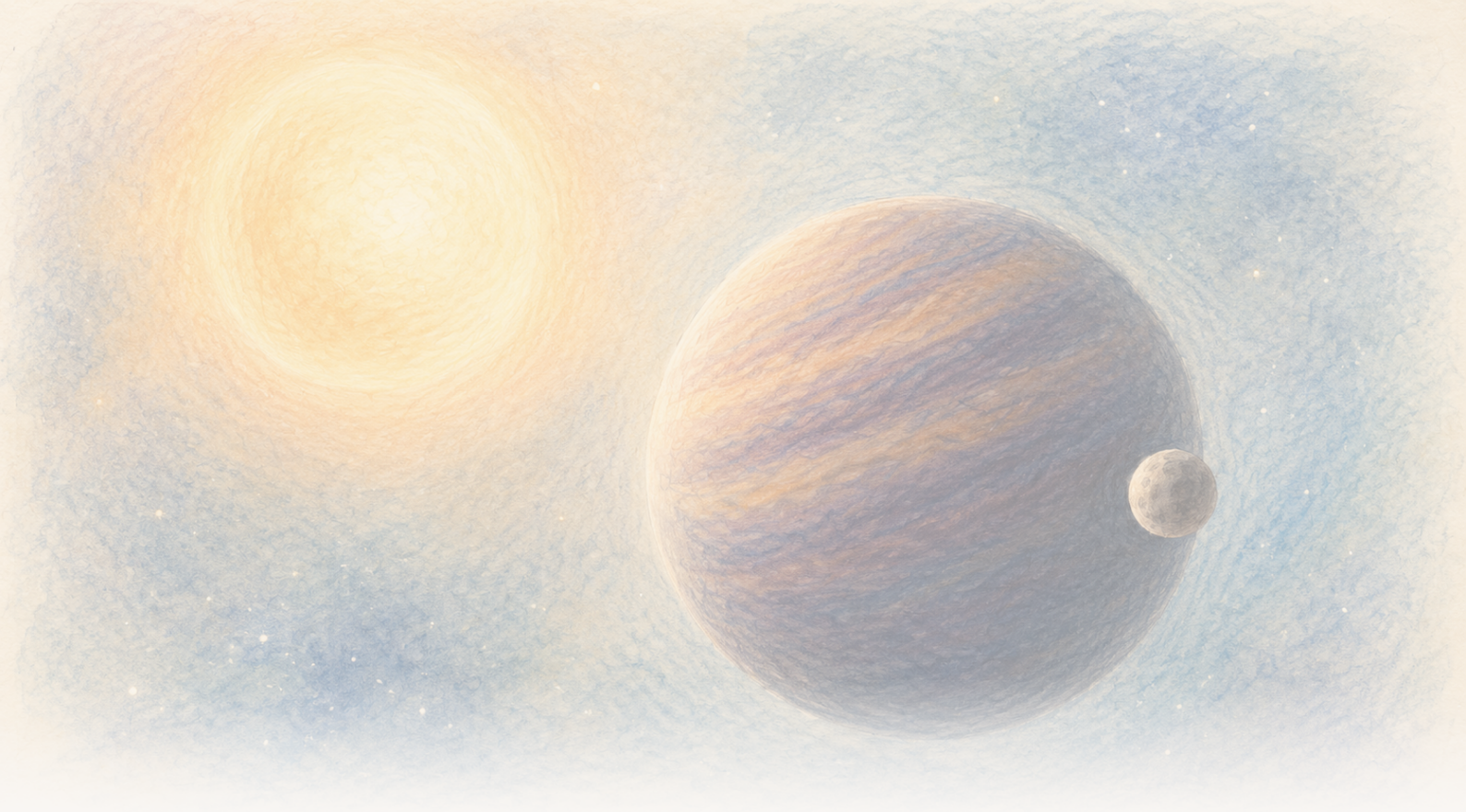


The CLEAN PAPER

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

# يبدو أن قزماً بنياً يتمايل كل 171 يوماً. قد يكون عالَم خفي يجذبه، لكن البيانات ما تزال تسمح بوجود اثنين

تكشف ثلاثة وعشرون طيفاً عالي الجودة انزياحاً دورياً قوياً في حركة *CD-35 2722 B*. النموذج المفضل هو رفيق واحد لا مركزي بكتلة دنيا قرب كتلة المشتري، لكن نموذجاً بجسمين يستطيع تقليد الإشارة نفسها، ويبقى التغير البطيء في القزم البني ممكناً من حيث المبدأ، كما أن كلمة «قمر خارج شمسي» لا تملك حداً متفقاً عليه هنا.

---

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 ,655 869-865 (2026) · DOI: w-10751-026-s41586/1038.10

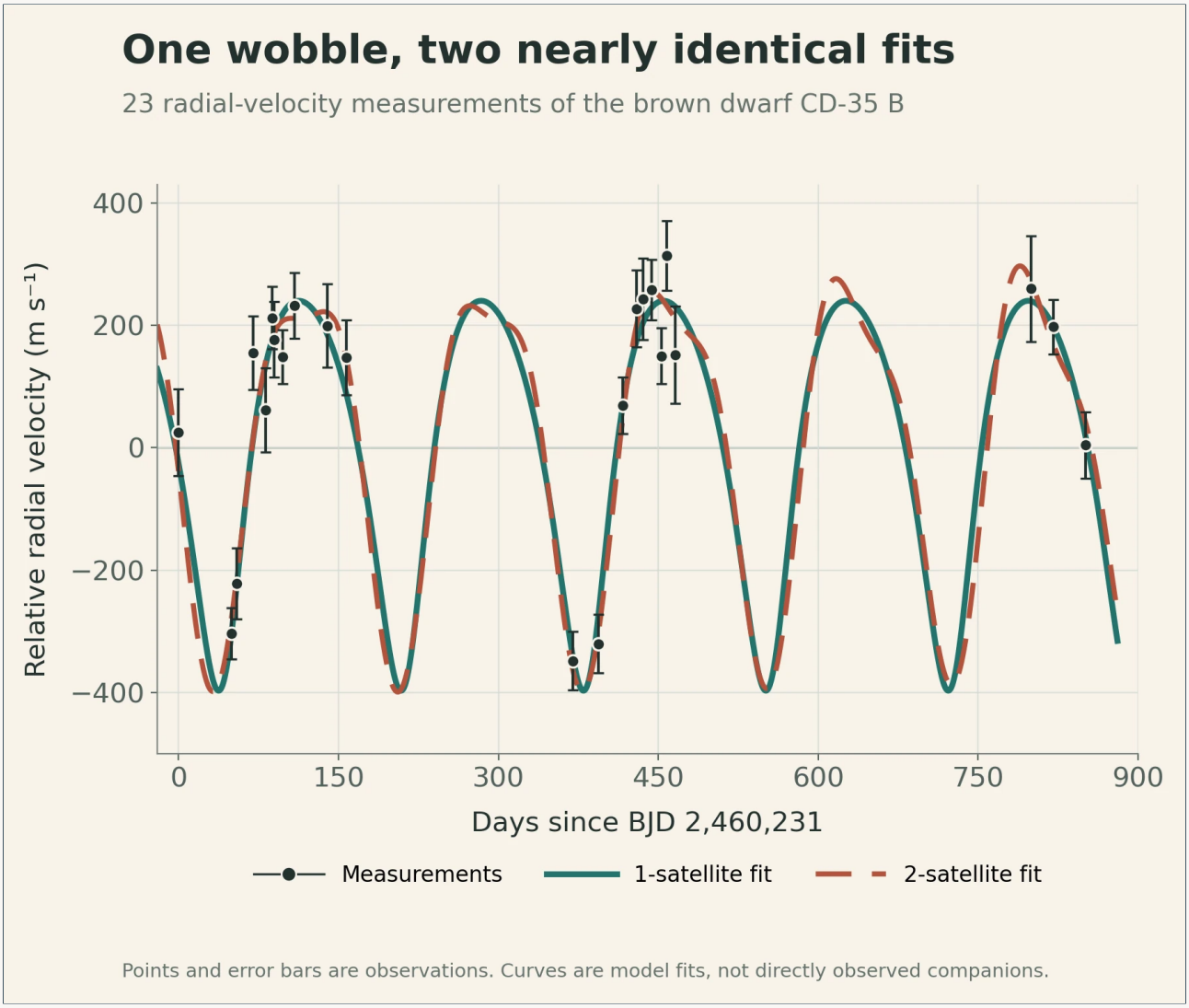
# يبدو أن قزماً بنياً يتمايل كل 171 يوماً. قد يكون عالَم خفي يجذبه، لكن البيانات ما تزال تسمح بوجود اثنين

يستطيع علماء الفلك رؤية B 2722 CD-35 كنقطة ضوء مستقلة، منفصلة عن النجم الذي يدور حوله. وهو قزم بني، يقع في مجال الكتلة بين الكواكب العملاقة والنجوم: فبكتلة تقارب 37 مرة كتلة المشتري، هو أثقل من كوكب عملاق نموذجي لكنه ليس نجماً عادياً يحرق الهيدروجين. أما الجسم الأصغر الذي قد يدور حول القزم البني نفسه فلا يستطيعون رؤيته. وإذا تأكد، فسيجعل هذا النظام أول تسلسل هرمي مرصود لقمر صناعي يدور حول جسم تحت نجمي أكبر يدور هو نفسه حول نجم.

ما يرونه بدلاً من ذلك هو إيقاع. في بعض الليالي ينزاح ضوء القزم البني قليلاً وهو يتحرك نحو الأرض. وفي ليال أخرى ينزاح وهو يتحرك مبتعداً. ويتكرر النمط كل **171 يوماً** تقريباً.

هذه الحركة ذهاباً وإياباً هي ما يستطيع رفيق غير مرئي أن يسببه: عندما يدور جسمان حول مركز كتلة مشترك، يدور الأصغر حول الأكبر، لكن الأكبر يرسم هو أيضاً حلقة أصغر بكثير. وإذا كان هذا الإيقاع مدارياً، فإن ورقة جديدة في Nature تقدم جسماً واحداً بكتلة كوكبية بوصفه التفسير المفضل للحلقة المقاسة حول B. 2722 CD-35

إنه احتمال مدهش، لا صورة لقمر. تكشف ثلاث وعشرون ليلة رصد عالية الجودة إشارة دورية قوية. وتحويل تلك الإشارة إلى عالم يتطلب نموذجاً، والبيانات الحالية ما تزال تسمح بأكثر من بنية مدارية. كما أنها لا تستبعد تماماً تغيرات بطيئة في القزم البني نفسه.




النقاط السوداء وأشرطة الخطأ هي قياسات السرعة الشعاعية الليلية الـ23. والمنحنيان المتصل والمتقطع هما أفضل ملاءمة لنموذجي قمر واحد وقمرين. تقاربهما الشديد يوضح كيف يمكن للبيانات كشف تمايل دوري من دون أن تحدد بعد بنية النظام، ولا يمثل أي منحنى صورة مباشرة لرفيق.

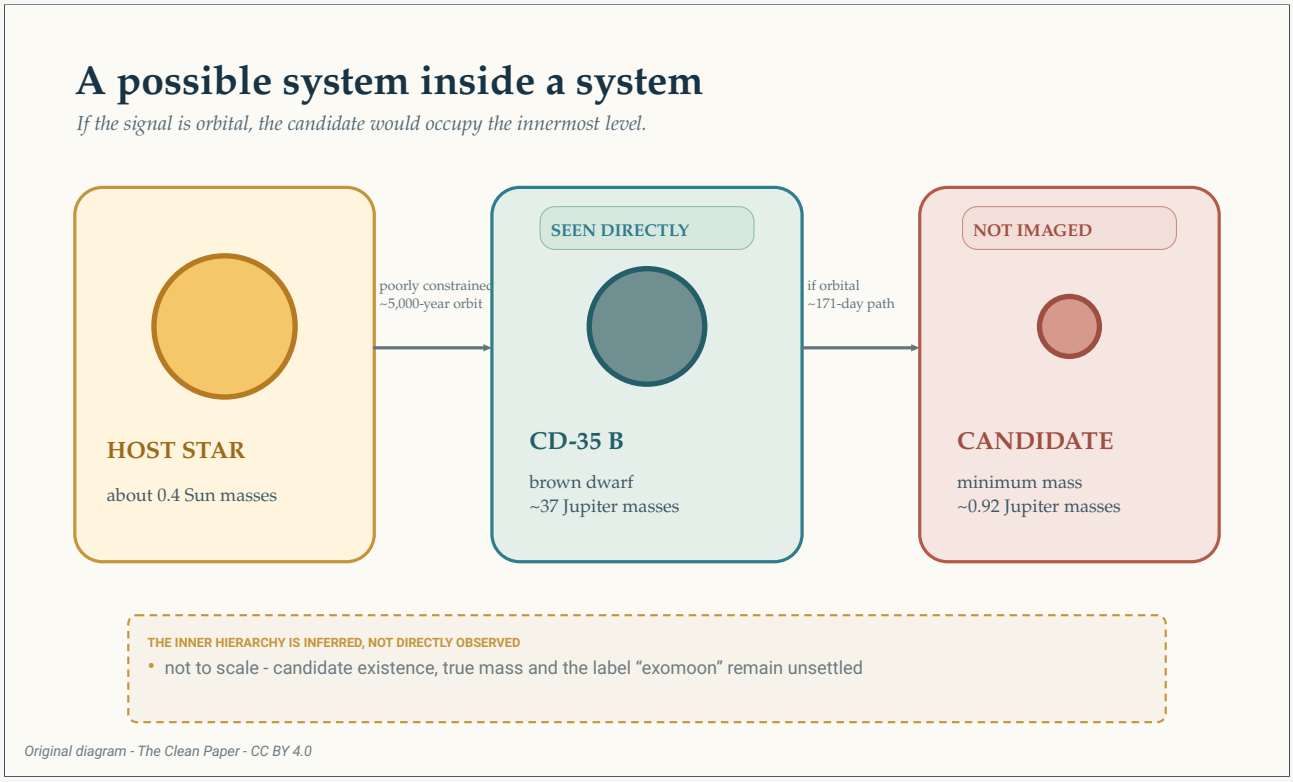
Original chart — The Clean Paper; data from Hoy et al., Nature ,(2026) Figure 1 source workbook CC BY 0.4

# نظام داخل نظام

**قزم بني** CD-35 B 2722: جسم بين الفئات المألوفة. هو أثقل من كوكب عملاق نموذجي لكنه غير ضخم بما يكفي ليلمع كنجم عادي يحرق الهيدروجين. تستخدم الورقة كتلة مقدرة بنحو **37 مشترياً**.

اكتُشف القزم البني بالتصوير المباشر، أي إن التلسكوبات فصلت ضوءه مكانياً عن ضوء نجمه المضيف. ويظهر على السماء على بعد نحو 8.2 ثانية قوسية من النجم. المدار الواسع الذي يربط الزوج غير معروف جيداً، لكن التقديرات الحالية تشير إلى مسار شديد الاستطالة يستغرق نحو **5,000 عام**.

إذا كانت الإشارة الدورية مدارية، فستضع البنية المستنتجة المرشح في مستوى أعمق: نجم يدور حوله قزم بني، ورفيق بكتلة كوكبية يدور حول ذلك القزم البني.




إذا كانت الإشارة مدارية، فسيشغل المرشح المستوى الأعمق من هذا التسلسل الهرمي المحتمل. القزم البني وحده شوهد مباشرة. المدار الخارجي حول النجم ضعيف التقييد، بينما المسار الداخلي الذي يقارب 171 يوماً مستنتج من التمايل المقاس للقزم البني. الأحجام والمسافات ليست على مقياس.

The Clean Paper CC BY 0.4

من السهل رسم هذا التسلسل الهرمي المحتمل. لكن واقعه الفيزيائي ومفرداته لم يُحسما. هل يعد جسم بكتلة كوكبية يدور حول قزم بني قمراً، أم كوكباً، أم ببساطة تابعاً؟ لا توجد قاعدة فلكية مقبولة تحسم السؤال. لذلك تستخدم الورقة الكلمة الأوسع **exosatellite**، أي تابع خارج شمسي.

## كيف تحولت 23 ليلة إلى تمايل؟

رصد الفريق CD-35 2722 B (انظر صفحة Exoplanets on Eyes NASA) باستخدام CRIRES+، وهو مطياف عالي الدقة على التلسكوب الكبير جداً التابع للمرصد الأوروبي الجنوبي. بين أكتوبر 2023 وفبراير 2026، حصلوا على 26 حقبة رصد. كانت إحداها ضعيفة الإشارة أكثر من اللازم، ورُفضت اثنتان بسبب سوء الطقس وأعيدتا، فبقيت **23 ليلة عالية الجودة**.

يفصل المطياف الضوء إلى نمط مفصل من الخطوط. وعندما يتحرك المصدر نحو الأرض أو بعيداً عنها، تنزاح هذه الخطوط بمقدار ضئيل. وتسمى القياسات المتكررة لهذه الحركة على خط البصر **السرعات الشعاعية**. وهي لا تُظهر الجسم الخفي. بل تُظهر كيف قد يتحرك الجسم المرصود تحت شد غير مرئي.

تقع أقوى دورية في القياسات قرب 170 يوماً. وتتجاوز **عتبة احتمال الإنذار الكاذب 0.1%** في الدراسة. تسأل هذه العتبة: كم مرة يمكن للضوضاء، تحت افتراضات الاختبار، أن تولد قمة في مخطط الدورية بقوة مماثلة أو أكبر؟ وهي ليست احتمالاً قدره 99.9% لوجود تابع، ولا تقول وحدها إن كان هناك رفيق واحد أو اثنان.

**ماذا يمكن لإشارة السرعة الشعاعية أن تثبت؟**

نمط ملاءمة ويمكن عنه. وبعيداً المراقب نحو للحركة قياسات إلى الطيفية الخطوط في المتكررة الانزياحات الشعاعية السرعة تحول للرفيق. دنيا وكتلة المقاس التمايل ومدى دور باستنتاج يسمح ما مدار، بمعادلات متكرر

لكن الطريقة لا تصور الرفيق مباشرة. يمكن لغلاف جوي نجمي أو تحت نجمي أيضاً أن يحرك الخطوط الطيفية، ويمكن لجداول الرصد أن تنشئ إيقاعات مضللة، ويمكن لبنى مدارية مختلفة أن تقلد بعضها بعضاً. الإشارة وتفسيرها الفيزيائي والاسم الذي يُعطى للجسم المستنتج أسئلة منفصلة.

يستحق أخذ العينات الانتباه قبل القفز إلى جواب مداري. لأربعة قياسات سرعة شعاعية منخفضة جداً وزن كبير في النمط. حدثت في زوجين، تحت ظروف وُصفت بأنها جيدة، ولم تنشئ أي نقطة منفردة الإشارة عندما أعاد المؤلفون التحليل بعد حذف نقطة واحدة في كل مرة. ومع ذلك لم تُؤخذ عينات إلا من جزء من الأطوار المدارية الممكنة. ثلاث وعشرون ليلة موزعة على أكثر من سنتين ليست تغطية مستمرة.

اختبر المؤلفون أيضاً تشويشاً محتملاً بنصف سنة. فقد يؤدي تصحيح غير كامل لحركة الأرض المتغيرة أو لملف الجهاز إلى إشارة سنوية كاذبة يحولها أخذ العينات إلى نصف سنة أرضية، أي **5.182 يوماً**. أما دورهم المفضل فهو **11.171 يوماً**، مع عدم يقين +53.0/-36.0 يوم؛ ويذكر المؤلفون أن هذا يبعد نحو 20 انحرافاً معيارياً عن 5.182 يوماً. كما لم يجدوا ارتباطاً بحركة الأرض المتغيرة أو الرؤية الفلكية أو بخار الماء الجوي أو خصائص الجهاز التي فحصوها. هذه ضوابط مهمة. وتجعل التفسير المداري مقنعاً بما يكفي للنمذجة، لكنها لا تحدد الجسم وحدها.

# أبسط جواب مداري: رفيق واحد

في النموذج المفضل، يتبع جسم واحد مداراً لا مركزياً، أي ممدوداً إلى حد ما، حول القزم البني كل 11.171 يوماً. تبلغ لا مركزية المدار الملائم نحو **27.0** ونصف محوره الرئيسي نحو **200.0 وحدة فلكية** — أي قرابة خُمس متوسط المسافة بين الأرض والشمس.

يبلغ اتساع التمايل المقاس نحو **318 متراً في الثانية**. ومن هذه الحركة يعطي النموذج للرفيق كتلة دنيا تقارب **92.0 كتلة المشتري**.

كلمة دنيا مهمة. تقيس السرعة الشعاعية فقط الجزء من الحركة المدارية الموجه نحونا أو بعيداً عنا. إذا رأينا المدار من الحافة، يظهر معظم حركته على هذا الخط. وإذا رأيناه أقرب إلى الوجه، تمر نسبة كبيرة من الحركة عبر السماء، ويحتاج رفيق أثقل إلى إنتاج التمايل المقاس نفسه.

يكتب الفلكيون النتيجة **m sin(i)**: الكتلة مضروبة في جيب ميل المدار، أو زاوية الرؤية، المجهولة. تقيد البيانات هذا الحاصل، لا الكتلة الحقيقية وحدها. ولذلك فإن نحو 92.0 كتلة مشتري حد سفلي، لا قياساً للكتلة الدقيقة للجسم.

**لماذا تخفي زاوية الرؤية الكتلة؟**

انظر ثم الحركة. من المكون هذا قياس فيسهل عنك، وبعيداً نحوك مراراً العداء يتحرك الجانب. من دائرياً مضماراً تشاهد أنك تخيل عنك. بعيداً أو نحوك وبالكاد رؤيتك مجال عبر الغالب في العداء يتحرك فوق. من نفسه المضمار إلى ترى السرعة الشعاعية المكون الأول فقط. يصف العامل `sin(i)` رياضياً مقدار الحركة المدارية على خط بصرنا. وإلى أن يُعرف الميل `i`، تظل الكتلة المستنتجة حداً أدنى.

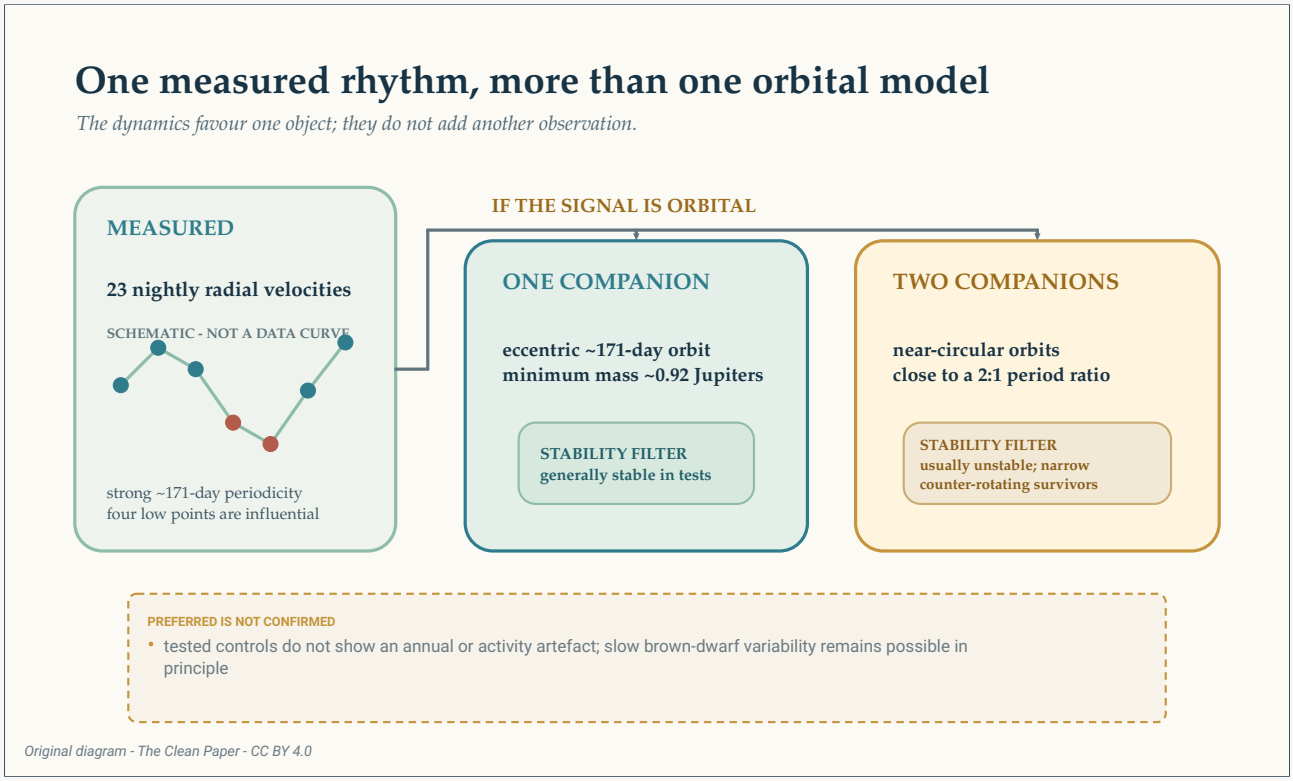
ثم سأل المؤلفون هل يمكن لهذا المدار أن يستمر بدلاً من أن يدمر نفسه سريعاً. وجدت اختباراتهم العددية أن نموذج الرفيق الواحد مستقر عموماً. وهذا يجعله تفسيراً فيزيائياً معقولاً للإشارة، لا كشفاً ثانياً مستقلاً.

## الجواب المزعج: رفيقان يستطيعان تقليد واحد

لإشارة السرعة الشعاعية اللامركزية غموض معروف. ففي بعض الظروف، يمكن لجسمين في مدارين شبه دائريين، يستغرق أحدهما نحو ضعف زمن الآخر، أن ينتجا معاً نمطاً يشبه جسماً واحداً في مدار ممدود.

ويظهر هذا الغموض هنا. يستطيع نموذج برفيقين ملاءمة القياسات الحالية بإشارة خارجية قرب 171 يوماً وإشارة داخلية أقصر دوراً. ولأن أزمنة الرصد لا تغطي كل الأطوار بالتساوي، تحمل الإشارة الأقصر عدة aliases. ولأن الليالي الـ23 المختارة تترك فجوات طويلة، يمكن لفترات تجريبية مختلفة أن تفترض أعداداً مختلفة من الدورات غير المرصودة بين الزيارات ومع ذلك تتوافق مع القياسات نفسها. لذلك فإن الفترات المرشحة قرب 14 و70 و88 و115 يوماً ليست أربعة إيقاعات مستقلة مكتشفة، بل ملاءمات بديلة لإشارة قصيرة واحدة رديئة أخذ العينات.

يرفض المؤلفون نافذة 13 إلى 17 يوماً ضعيفة التقييد. ففيها لا تعزل الملاءمة دوراً مقنعاً واحداً: حلول كثيرة متقاربة تحت نحو 20 يوماً تستطيع إعادة إنتاج القياسات منخفضة الكثافة، ما يجعل النافذة كلها على الأرجح أثراً لأخذ العينات. ومن النوافذ الباقية، تلائم حل نحو 88 يوماً أفضل من بدائل نحو 70 و115 يوماً، لكن ليس بفارق يسمح للورقة بادعاء معرفة دور ثانٍ. وفي أفضل ملاءمة مجدولة، تبلغ الكتلة الدنيا للجسم الخارجي نحو 87.0 كتلة مشتري وللجسم الداخلي نحو 22.0 كتلة مشتري. هذه الأرقام تصف نموذجاً غير مفضل، وليست قياسات لعالمين مثبتين.




إذا كانت الإشارة البالغة نحو 171 يوماً مدارية، فيمكن تمثيل نمط السرعة الشعاعية العام نفسه برفيق واحد لا مركزي أو برفيقين شبه دائريين قريبين من نسبة دور اثنين إلى واحد. تفضل اختبارات الاستقرار تفسير الجسم الواحد، لكنها لا تحول نموذجاً إلى صورة ولا تستبعد كل أشكال تغير القزم البني

البطيء.

The Clean Paper CC BY 0.4

تشحذ حسابات الاستقرار المقارنة. فقد طردت معظم ترتيبات الرفيقين المختبرة أحد الجسمين خلال بضع مئات من السنوات المحاكاة. وشغلت التكوينات الباقية منطقة ضيقة وغير مألوفة كانت فيها المدارات قريبة من المستوى نفسه لكنها تتحرك في اتجاهين متعاكسين. كما أدخل النجم المضيف مناطق إضافية غير مستقرة.

هذا سبب لتفضيل رفيق واحد لا مركزي على أنظمة الرفيقين المختبرة. وليس دليلاً على أن الطبيعة اختارت النموذج الأبسط. يرشح الاستقرار التفسيرات الممكنة بعد قياس السرعات الشعاعية؛ ولا يضيف نقطة مرصودة أخرى إلى المنحنى.

**كيف يمكن لمدار لا مركزي واحد أن يبدو كمدارين دائريين؟**

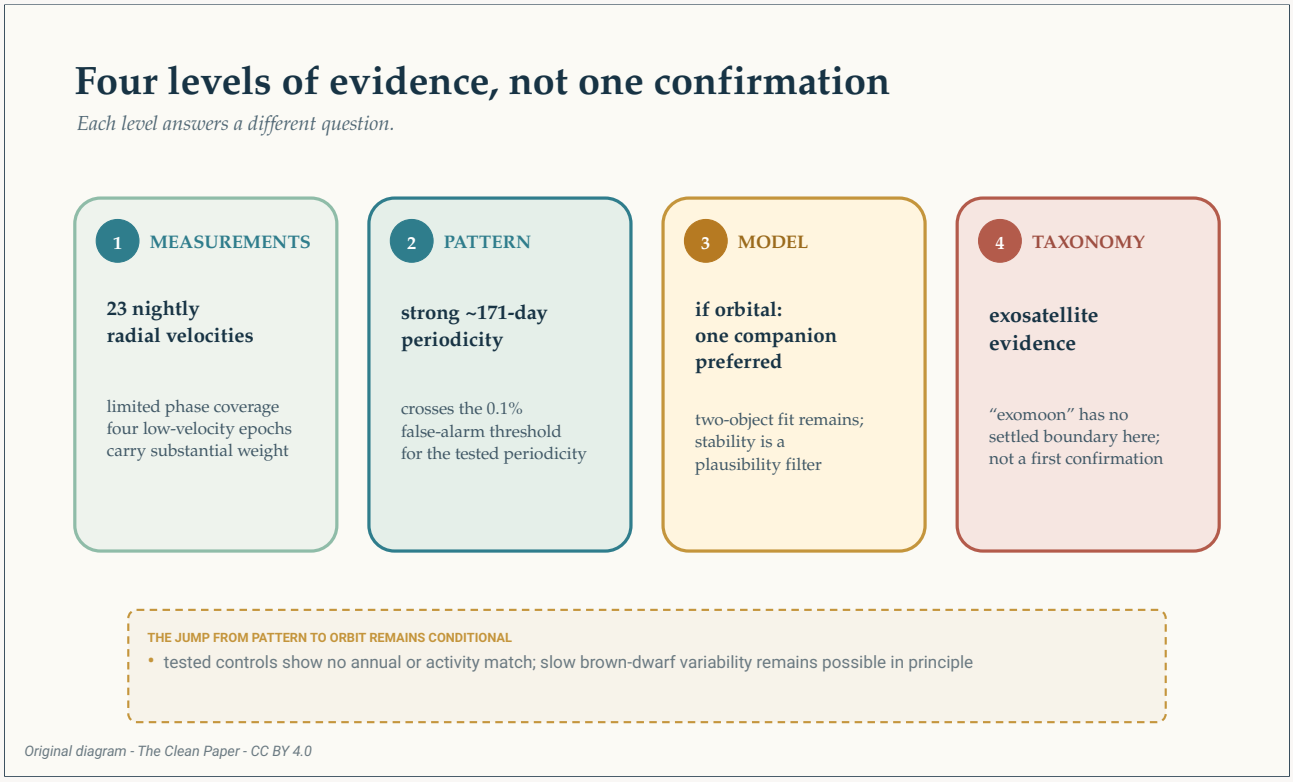
لمدارين ويمكن الموجة. تلك إلى تشوهات اللامركزي المدار ويضيف متكررة. بسيطة شعاعية سرعة موجة المثالي الدائري المدار ينتج مشابهاً. تشوهاً الأخرى وتوفر الرئيسي الإيقاع إشارة توفر بحيث يتراكبا أن واحد إلى اثنين نسبة قرب بفترتين دائريين هذا **انحلال مداري**: أنظمة فيزيائية مختلفة تنتج قياسات متشابهة. يمكن لمزيد من الرصد في أوقات تتنبأ فيها النماذج بسرعات مختلفة أن يفصل بينها. ويساعد اختبار الديناميكيات بسؤال ما إذا كان كل نظام مقترح يمكن أن يبقى، لكنه لا يستطيع استبدال تلك الرصديات.

# هل يمكن أن يأتي الإيقاع من القزم البني؟

القزم البني ليس كتلة اختبار صامتة. يدور غلافه الجوي، وتتشكل فيه السحب، وقد يملك نشاطاً مغناطيسياً. ويمكن لأنماط السطح المتغيرة إعادة تشكيل الخطوط الطيفية وتقليد الحركة.

يبلغ الحد الأعلى المقدر لفترة دوران CD-35 2722 B نحو **65.0 يوم**، أقصر بكثير من 171 يوماً. لم يستعد الفريق إشارة دوران قصيرة قوية، ولا إشارة مقنعة شبيهة بالسحب أو التحبب، في نماذج النشاط التي اختبرها. كما فحص أخذ العينات السنوي والكميات المرتبطة بالجهاز من دون العثور على ما يطابق إيقاع 171 يوماً.

تضيق هذه الفحوص البدائل، لكن الورقة لا تدعي استبعاد كل التغير الداخلي. لا يمكن من حيث المبدأ استبعاد نشاط مغناطيسي طويل المدى أو دوران جوي في القزم البني. ينبغي أن تبقى هذه الإمكانية بجانب النماذج المدارية، لا مخفية بعدها.




ترتفع الأدلة عبر مستويات منفصلة: 23 سرعة شعاعية ليلية بتغطية طور محدودة، ودورية قوية تقارب 171 يوماً، ونموذج مفضل لرفيق واحد إذا كانت الإشارة مدارية، وأخيراً تسمية «قمر خارج شمسي» غير محسومة. يفصل السلم القياس والنمط الإحصائي والتفسير الفيزيائي والتصنيف، وليس سهم تأكيد.

The Clean Paper CC BY 0.4

# هل هو قمر خارج شمسي؟

في النظام الشمسي، يدور القمر حول كوكب. أما CD-35 2722 B فقزم بني، والكتلة الحقيقية للرفيق المستنتج لم تُعرف بعد. تبدأ الأسماء المألوفة بالتوتر عندما يقع جسم قرب حد الكوكب-القزم البني وآخر قرب حد القمر-الكوكب.

لا تدعي الورقة أول قمر خارج شمسي مؤكد. بل تقول إنه لم يُكشف بعد عن قمر خارج شمسي بثقة، وتعرض دليلاً على **تابع خارج شمسي** بكتلة كوكبية، وتصف النظام بأنه خطوة نحو كشف لا لبس فيه. ويبدأ نقاشها عن الجدة المحتملة بصيغة شرطية: إذا ثبتت صحة الإشارة.

هذا الحذر لا يجعل النتيجة فارغة. قياس السرعات الشعاعية مباشرة من رفيق قزم بني خافت أمر صعب. وإذا حافظت الرصديات المتواصلة على الإشارة، فسيبين النظام أن طرق البحث عن الكواكب تستطيع النزول مستوى آخر في التسلسل السماوي.

يمكن لموسم رصد آخر فعل أكثر من إضافة نقاط. يتنبأ نموذجا الرفيق الواحد والرفيقين بسرعات مختلفة في أوقات مستقبلية محددة. ويمكن لقياسات تملأ الأطوار المدارية المفقودة أن تختبر استمرار إيقاع 171 يوماً، وتقلل تأثير النقاط الأربع المنخفضة، وتجعل المنحنيات المتنافسة تتباعد.

في الوقت الحالي، الصورة الأكثر صدقاً ليست قمراً جديداً معلقاً إلى جوار قزم بني. إنها طيف، يتكرر ليلة بعد ليلة، ويحمل انزياحاً دورياً صغيراً. قد يكون داخل ذلك الإيقاع عالم. والإنجاز هو تعلم مقدار ما يمكن استنتاجه منه من دون التظاهر بأن الاستنتاج مكتمل بالفعل.

# الخلاصة الواضحة

قاس علماء الفلك السرعة الشعاعية للقزم البني المصور مباشرة 35-CD 2722 B في 23 ليلة عالية الجودة بين أكتوبر 2023 وفبراير 2026. تظهر خطوطه الطيفية انزياحاً دورياً قوياً قرب 171 يوماً. يحتوي النموذج المداري المفضل رفيقاً واحداً لا مركزياً بكتلة دنيا تقارب 92.0 كتلة مشتري، لكن الكتلة الحقيقية مجهولة لأن ميل المدار مجهول. يستطيع رفيقان شبه دائريين تقليد الإشارة العامة نفسها، رغم أن معظم ترتيبات الجسمين المختبرة كانت غير مستقرة ديناميكياً. أربع حقب منخفضة السرعة مؤثرة، وتبقى تغطية الطور المداري محدودة: تأخذ الرصديات عينات من أجزاء مختارة من دورة 171 يوماً الممكنة بدلاً من تتبع كل طور باستمرار. لم تحدد الاختبارات الدوران أو أخذ العينات السنوي أو الطقس أو خصائص الجهاز المفحوصة كمصدر، لكن لا يمكن استبعاد تغير طويل المدى في القزم البني من حيث المبدأ. لم يُصور الجسم غير المرئي مباشرة، ونموذج الجسم الواحد مفضل لا مؤكد، ولا توجد قاعدة محسومة تقول إن جسماً بكتلة كوكبية يدور حول قزم بني هو قمر خارج شمسي.

# مراجعة بلا تهويل

**ما الذي رُصد:** تحتوي 23 قياساً ليلياً للسرعة الشعاعية لـCD-35 2722 B على دورية قوية تقارب 171 يوماً. القزم البني نفسه صُوّر مباشرة؛ أما الرفيق المقترح فلم يُصور.

**ما الذي يفضله المؤلفون:** إذا كانت الإشارة مدارية، فإن رفيقاً واحداً لا مركزياً بكتلة دنيا قرب كتلة المشتري يقدم أبسط تفسير معقول ديناميكياً للبيانات الحالية.

**ما الذي يبقى مفتوحاً:** يستطيع رفيقان ملاءمة السرعات الشعاعية، رغم أن الأنظمة المختبرة غالباً غير مستقرة؛ ولا يُستبعد من حيث المبدأ تغير طويل المدى في القزم البني؛ كما تترك زاوية الرؤية المجهولة الكتلة الحقيقية للرفيق غير محددة.

**ما الذي لا تثبته الورقة:** أول قمر خارج شمسي مؤكد، أو تابعاً شوهد مباشرة، أو وجود جسم واحد بالضبط، أو كتلة حقيقية قدرها 92.0 كتلة مشتري، أو احتمالاً 99.9% لصحة النموذج الفيزيائي المفضل.

**ما الذي سيرفع الثقة:** قياسات سرعة شعاعية متواصلة تغطي أطواراً مدارية أكثر، وتختبر استمرار إشارة 171 يوماً، وتأخذ عينات في أوقات يتنبأ فيها نموذجا الجسم الواحد والجسمين بنتائج مختلفة.

---

## المصادر

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., Nature_Hoy-2026 for code analysis and data reduced https://github.com/kevinmhoy/Nature_Hoy-2026