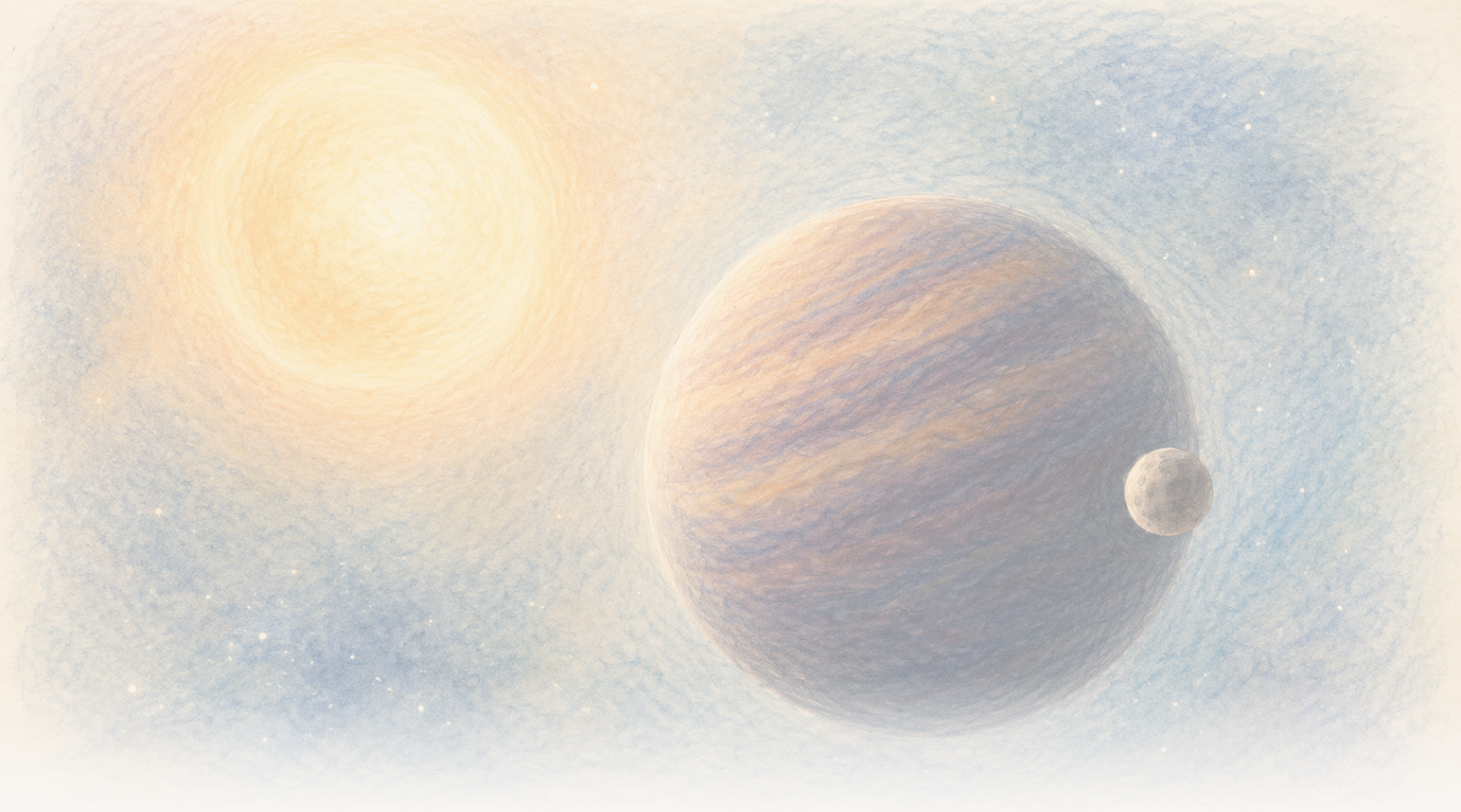


The Clean Paper

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

Ein Brauner Zwerg scheint alle 171 Tage zu taumeln. Eine verborgene Welt könnte ihn ziehen – doch auch zwei Begleiter sind mit den Daten vereinbar

Dreiundzwanzig hochwertige Spektren zeigen eine starke periodische Verschiebung in der Bewegung von CD-35 2722 B. Das bevorzugte Modell ist ein exzentrischer Begleiter mit einer Mindestmasse nahe der Jupitermasse, doch ein Zwei-Objekt-Modell kann dasselbe Signal nachahmen, langsame Variabilität des Braunen Zwergs bleibt prinzipiell möglich, und der Begriff „Exomond" hat hier keine festgelegte Grenze.

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

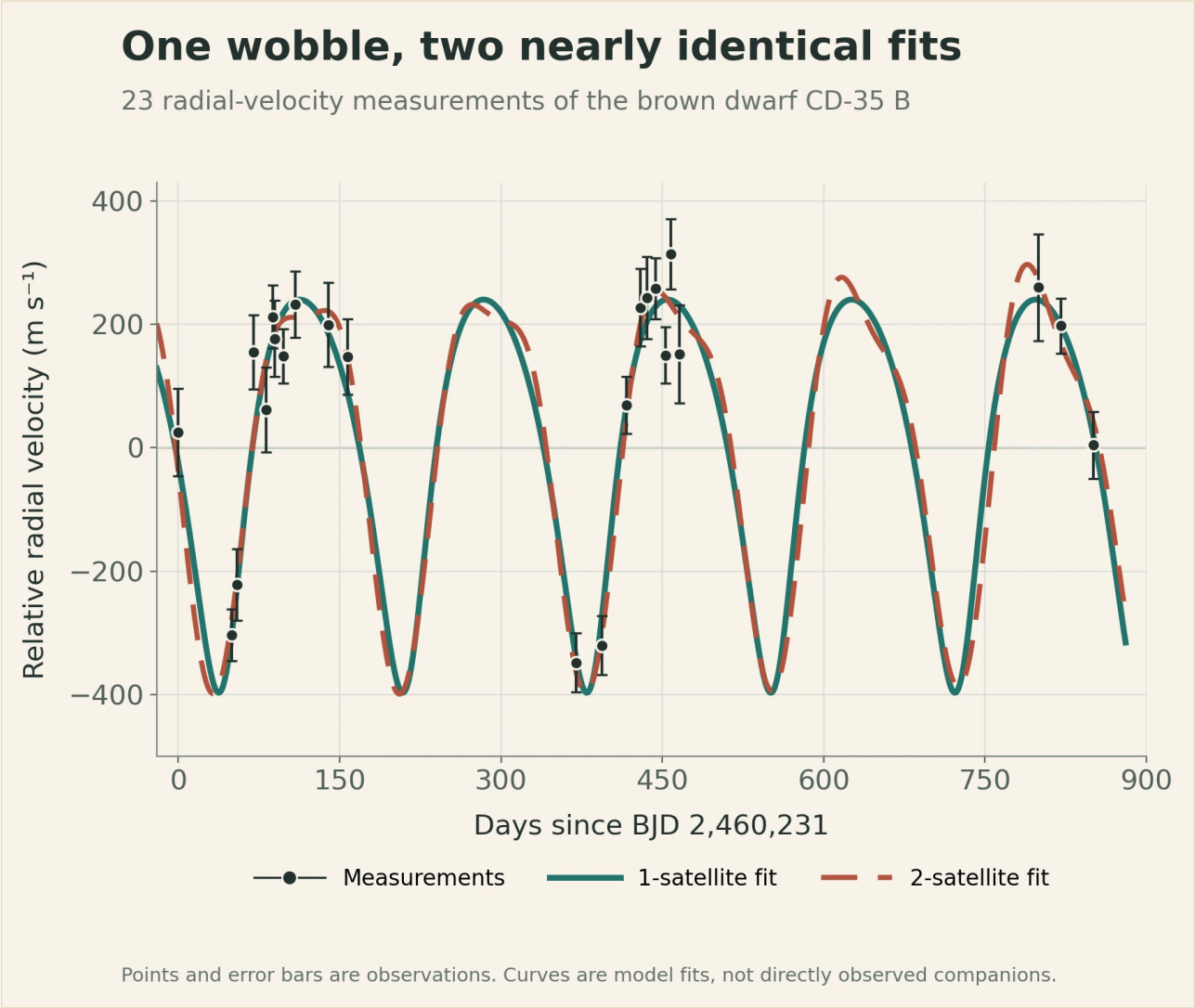
Ein Brauner Zwerg scheint alle 171 Tage zu taumeln. Eine verborgene Welt könnte ihn ziehen – doch auch zwei Begleiter sind mit den Daten vereinbar

Astronomen können CD-35 2722 B als eigenen Lichtpunkt sehen, getrennt von dem Stern, den er umkreist. Es ist ein Brauner Zwerg, also ein Objekt im Massenbereich zwischen Riesenplaneten und Sternen: Mit ungefähr 37 Jupitermassen ist er massereicher als ein typischer Riesenplanet, aber kein normaler wasserstoffbrennender Stern. Das kleinere Objekt, das möglicherweise den Braunen Zwerg selbst umkreist, können sie nicht sehen. Würde es bestätigt, wäre dies die erste beobachtete Hierarchie eines Satelliten um ein größeres substellares Objekt, das seinerseits einen Stern umkreist.

Was sie stattdessen sehen, ist ein Rhythmus. In manchen Nächten ist das Licht des Braunen Zwergs geringfügig verschoben, während er sich auf die Erde zubewegt. In anderen ist es verschoben, während er sich entfernt. Das Muster wiederholt sich ungefähr alle **171 Tage**.

Eine solche Hin-und-her-Bewegung kann ein unsichtbarer Begleiter erzeugen: Wenn zwei Objekte ein gemeinsames Massenzentrum umkreisen, zieht das kleinere seine Bahn um das größere, doch auch das größere beschreibt eine viel kleinere Schleife. Falls dieser Rhythmus orbital ist, präsentiert eine neue Nature-Arbeit ein Objekt mit Planetenmasse als bevorzugte Erklärung für die um CD-35 2722 B gemessene Schleife.

Das ist eine bemerkenswerte Möglichkeit, kein Foto eines Mondes. Dreiundzwanzig hochwertige Beobachtungsnächte zeigen ein starkes periodisches Signal. Um aus diesem Signal eine Welt zu machen, braucht es ein Modell, und die derzeitigen Daten erlauben weiterhin mehr als eine Architektur. Sie schließen langsame Veränderungen im Braunen Zwerg selbst ebenfalls nicht vollständig aus.



Die schwarzen Punkte und Fehlerbalken sind die 23 nächtlichen Radialgeschwindigkeitsmessungen. Die durchgezogene und gestrichelte Kurve sind die besten Anpassungen eines Ein- beziehungsweise Zwei-Satelliten-Modells. Ihre nahezu vollständige Überlappung zeigt, warum die Daten ein periodisches Taumeln offenlegen können, ohne die Architektur des Systems bereits festzulegen; keine der Kurven ist ein direktes Bild eines Begleiters.

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

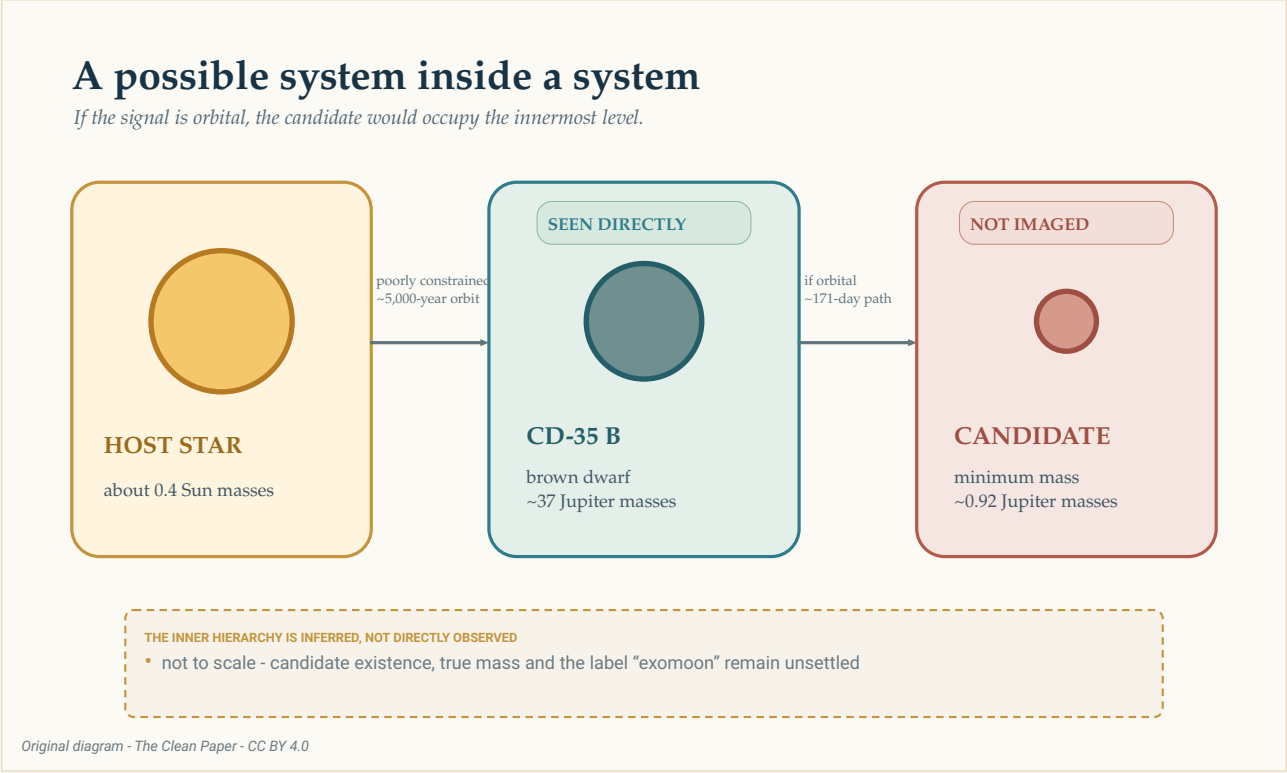
Ein System in einem System

CD-35 2722 B ist ein **Brauner Zwerg**: ein Objekt zwischen vertrauten Kategorien. Es ist massereicher als ein typischer Riesenplanet, aber nicht massereich genug, um wie ein gewöhnlicher wasserstoffbrennender Stern zu leuchten. Die Arbeit verwendet eine geschätzte Masse von ungefähr **37 Jupitermassen**.

Der Braune Zwerg wurde durch direkte Abbildung entdeckt, das heißt, Teleskope lösten sein Licht getrennt von dem seines Zentralsterns auf. Am Himmel erscheint er ungefähr 2,8 Bogensekunden

vom Stern entfernt. Die weite Umlaufbahn, die beide verbindet, ist schlecht bekannt, doch derzeitige Schätzungen sprechen für eine stark gestreckte Bahn mit einer Umlaufzeit von ungefähr **5.000 Jahren**.

Falls das periodische Signal orbital ist, würde die erschlossene Architektur den Kandidaten eine Ebene tiefer anordnen: ein Stern, der von einem Braunen Zwerg umkreist wird, den wiederum ein Begleiter mit Planetenmasse umkreist.



Falls das Signal orbital ist, würde der Kandidat die innerste Ebene dieser möglichen Hierarchie einnehmen. Nur der Braune Zwerg wurde direkt gesehen. Die äußere Bahn um den Stern ist schlecht bestimmt, während die innere Bahn von ungefähr 171 Tagen aus dem gemessenen Taumeln des Braunen Zwergs erschlossen wird. Größen und Abstände sind nicht maßstabsgetreu.

The Clean Paper CC BY 4.0

Diese mögliche Hierarchie lässt sich leicht zeichnen. Ihre physische Realität und ihr Vokabular sind nicht geklärt. Gilt ein Objekt mit Planetenmasse, das einen Braunen Zwerg umkreist, als Mond, Planet oder einfach als Satellit? Astronomen besitzen keine allgemein akzeptierte Regel, die diese Frage entscheidet. Die Arbeit verwendet daher den weiteren Begriff **Exosatellit**.

Wie aus 23 Nächten ein Taumeln wurde

Das Team beobachtete CD-35 2722 B – siehe seinen Eintrag bei NASA Eyes on Exoplanets – mit CRIRES+, einem hochauflösenden Spektrografen am Very Large Telescope der Europäischen Südsternwarte. Zwischen Oktober 2023 und Februar 2026 sammelte es 26 Beobachtungsepochen.

Eine hatte zu wenig Signal, zwei bei schlechtem Wetter wurden verworfen und wiederholt; übrig blieben **23 hochwertige Nächte**.

Ein Spektrograf zerlegt Licht in ein detailliertes Linienmuster. Bewegt sich die Quelle auf die Erde zu oder von ihr weg, verschieben sich diese Linien geringfügig. Wiederholte Messungen dieser Bewegung entlang der Sichtlinie heißen **Radialgeschwindigkeiten**. Sie zeigen den verborgenen Körper nicht. Sie zeigen, wie sich der beobachtete Körper möglicherweise unter einem unsichtbaren Zug bewegt.

Die stärkste Periodizität der Messungen liegt nahe 170 Tagen. Sie überschreitet die **Schwelle einer Falschalarmwahrscheinlichkeit von 0,1 %** der Studie. Diese Schwelle fragt, wie häufig Rauschen unter den Annahmen des Tests einen mindestens ebenso starken Peak im Periodogramm erzeugen würde. Sie ist keine Wahrscheinlichkeit von 99,9 %, dass ein Satellit existiert, und sagt für sich allein nichts darüber aus, ob es einen oder zwei Begleiter gibt.

> **Was kann ein Radialgeschwindigkeitssignal feststellen?**
>
> Die Radialgeschwindigkeitsmethode verwandelt wiederholte Verschiebungen von Spektrallinien in Messungen der Bewegung auf den Beobachter zu und von ihm weg. Ein wiederkehrendes Muster kann mit den Gleichungen einer Umlaufbahn angepasst werden; daraus lassen sich eine Periode, die Größe des gemessenen Taumelns und eine Mindestmasse des Begleiters erschließen.
> Die Methode fotografiert den Begleiter jedoch nicht direkt. Auch eine stellare oder substellares Atmosphäre kann Spektrallinien verschieben, Beobachtungspläne können irreführende Rhythmen erzeugen, und unterschiedliche Bahnanordnungen können einander nachahmen. Das Signal, seine physische Erklärung und der Name des erschlossenen Objekts sind getrennte Fragen.

Vor der orbitalen Antwort verdient die Abtastung Aufmerksamkeit. Vier besonders niedrige Radialgeschwindigkeitsmessungen tragen beträchtliches Gewicht im Muster. Sie traten in zwei Paaren unter laut Bericht guten Bedingungen auf, und keine einzelne erzeugte das Signal, als die Autoren die Analyse wiederholten und jeweils einen Punkt entfernten. Dennoch ist nur ein Teil der möglichen Orbitalphasen erfasst. Dreiundzwanzig über mehr als zwei Jahre verteilte Nächte sind keine kontinuierliche Abdeckung.

Die Autoren prüften außerdem ein mögliches Halbjahresartefakt. Eine unvollständige Korrektur der sich verändernden Erdbewegung oder des Instrumentenprofils könnte ein falsches Jahressignal erzeugen, das durch die Abtastung auf ein halbes Erdenjahr beziehungsweise **182,5 Tage** gespiegelt wird. Ihre bevorzugte Periode beträgt **171,11 Tage**, mit einer Unsicherheit von +0,53/-0,36 Tagen; laut den Autoren liegt sie ungefähr 20 Standardabweichungen von 182,5 Tagen entfernt. Sie berichten außerdem keine Korrelation mit der sich ändernden Erdbewegung, dem Seeing, atmosphärischem Wasserdampf oder den untersuchten Instrumenteneigenschaften. Das sind wichtige Kontrollen. Sie machen eine orbitale Erklärung überzeugend genug, um sie zu modellieren, identifizieren das Objekt aber nicht von selbst.

Die einfachste orbitale Antwort: ein Begleiter

Im bevorzugten Modell folgt ein Objekt alle 171,11 Tage einer exzentrischen, also etwas gestreckten Bahn um den Braunen Zwerg. Die angepasste Bahn besitzt eine Exzentrizität von ungefähr **0,27** und eine große Halbachse von ungefähr **0,200 Astronomischen Einheiten** – etwa ein Fünftel des mittleren Abstands Erde–Sonne.

Das gemessene Taumeln hat eine Amplitude von ungefähr **318 Metern pro Sekunde**. Aus dieser Bewegung ergibt das Modell für den Begleiter eine Mindestmasse von ungefähr **0,92 Jupitermassen**.

Das Wort *Mindest-* ist wichtig. Die Radialgeschwindigkeit misst nur den Teil der Orbitalbewegung, der auf uns zu oder von uns weg gerichtet ist. Wird eine Bahn von der Kante gesehen, liegt ein großer Teil ihrer Bewegung entlang dieser Linie. Wird sie stärker von oben gesehen, verläuft ein großer Teil der Bewegung quer über den Himmel, und ein massereicherer Begleiter wäre nötig, um dasselbe gemessene Taumeln zu erzeugen.

Astronomen schreiben das Ergebnis als **m sin(i)**: Masse mal Sinus der unbekannten Bahnneigung beziehungsweise des Betrachtungswinkels. Die Daten begrenzen dieses Produkt, nicht die wahre Masse allein. Ungefähr 0,92 Jupitermassen sind daher eine Untergrenze, keine Messung der exakten Masse des Objekts.

> **Warum verbirgt der Betrachtungswinkel Masse?**
>
> Stellen Sie sich vor, Sie betrachten eine Laufbahn von der Seite. Der Läufer bewegt sich wiederholt auf Sie zu und von Ihnen weg, sodass diese Bewegungskomponente leicht zu messen ist. Schauen Sie nun von oben auf dieselbe Bahn. Der Läufer bewegt sich überwiegend quer durch Ihr Blickfeld und kaum auf Sie zu oder von Ihnen weg.
> Die Radialgeschwindigkeit sieht nur die erste Komponente. Der mathematische Faktor `sin(i)` beschreibt, wie viel der Orbitalbewegung entlang unserer Sichtlinie liegt. Solange die Neigung `i` unbekannt ist, bleibt die erschlossene Masse eine Mindestmasse.

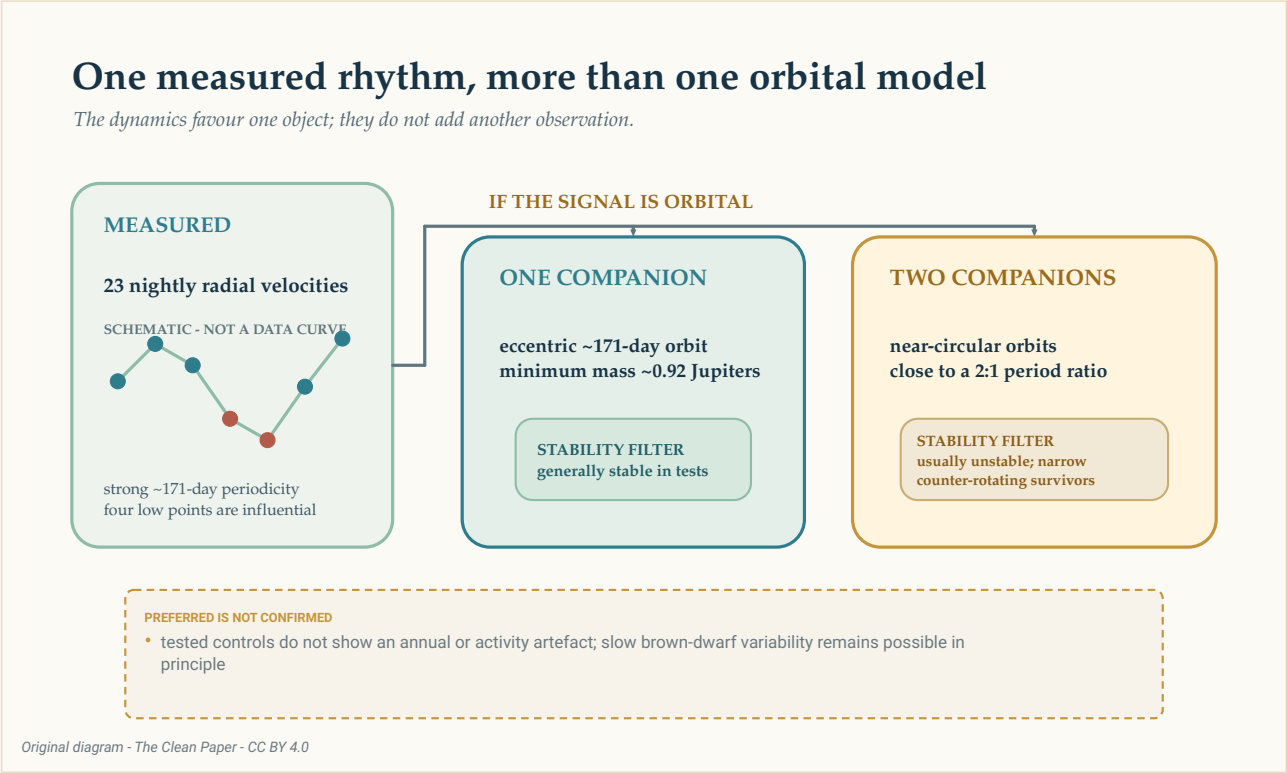
Anschließend fragten die Autoren, ob diese Bahn bestehen könnte, statt sich rasch selbst zu zerstören. Ihre numerischen Tests fanden das Ein-Begleiter-Modell im Allgemeinen stabil. Das macht es zu einer physikalisch plausiblen Deutung des Signals. Es ist keine zweite Detektion.

Die unbequeme Alternative: Zwei Begleiter können einen einzelnen nachahmen

Ein exzentrisches Radialgeschwindigkeitssignal besitzt eine bekannte Mehrdeutigkeit. Unter bestimmten Bedingungen können zwei Objekte auf nahezu kreisförmigen Bahnen – wobei eines ungefähr doppelt so lange braucht wie das andere – ein kombiniertes Muster erzeugen, das einem Objekt auf gestreckter Bahn ähnelt.

Diese Mehrdeutigkeit erscheint auch hier. Ein Zwei-Begleiter-Modell kann die gegenwärtigen Messungen mit einem äußeren Signal nahe 171 Tagen und einem kürzerperiodischen inneren Signal anpassen. Da die Beobachtungszeiten nicht jede Phase gleichmäßig abdecken, besitzt das kürzere Signal mehrere Aliaslösungen. Weil die 23 ausgewählten Nächte lange Lücken lassen, können unterschiedliche Testperioden zwischen den Besuchen verschieden viele unbeobachtete Umläufe zählen und dennoch zu denselben Messungen passen. Die Kandidatenperioden nahe 14, 70, 88 und 115 Tagen sind daher alternative Anpassungen eines einzigen schlecht abgetasteten kürzeren Signals, nicht vier unabhängig entdeckte Rhythmen.

Die Autoren verwerfen das schlecht begrenzte Fenster von 13 bis 17 Tagen. Dort isoliert die Anpassung keine überzeugende Einzelperiode: Viele dicht beieinanderliegende Lösungen unter ungefähr 20 Tagen können die Messungen mit geringer zeitlicher Dichte reproduzieren, weshalb das gesamte Fenster wahrscheinlich ein Abtastartefakt ist. Unter den verbleibenden Fenstern passt die ungefähr 88-tägige Lösung besser als die Alternativen um 70 und 115 Tage, aber nicht deutlich genug, dass die Arbeit eine bekannte zweite Periode beansprucht. In der tabellierten besten Anpassung beträgt die Mindestmasse des äußeren Objekts ungefähr 0,87 Jupitermassen und die des inneren ungefähr 0,22 Jupitermassen. Diese Zahlen beschreiben ein weniger bevorzugtes Modell; sie sind keine Messungen zweier bestätigter Welten.



Falls das ungefähr 171-tägige Signal orbital ist, kann dasselbe grobe Radialgeschwindigkeitsmuster durch einen exzentrischen Begleiter oder durch zwei nahezu kreisförmige Begleiter nahe einem Periodenverhältnis von zwei zu eins dargestellt werden. Stabilitätstests sprechen für die Ein-Objekt-Deutung, doch sie verwandeln ein Modell weder in ein Bild noch schließen sie jede Form langsamer Variabilität des Braunen Zwergs aus.

The Clean Paper CC BY 4.0

Die Stabilitätsrechnungen schärfen den Vergleich. Die meisten getesteten Zwei-Begleiter-Anordnungen

schleuderten eines der Objekte innerhalb weniger hundert simulierter Jahre hinaus. Die überlebenden Konfigurationen lagen in einem engen und ungewöhnlichen Bereich, in dem die Bahnen fast in derselben Ebene lagen, sich aber in entgegengesetzten Richtungen bewegten. Der Zentralstern führte weitere instabile Bereiche ein.

Das ist ein Grund, einen exzentrischen Begleiter gegenüber den getesteten Zwei-Begleiter-Systemen zu bevorzugen. Es beweist nicht, dass die Natur das einfachere Modell gewählt hat. Stabilität filtert mögliche Deutungen, nachdem die Radialgeschwindigkeiten gemessen wurden; sie fügt der Kurve keinen weiteren beobachteten Punkt hinzu.

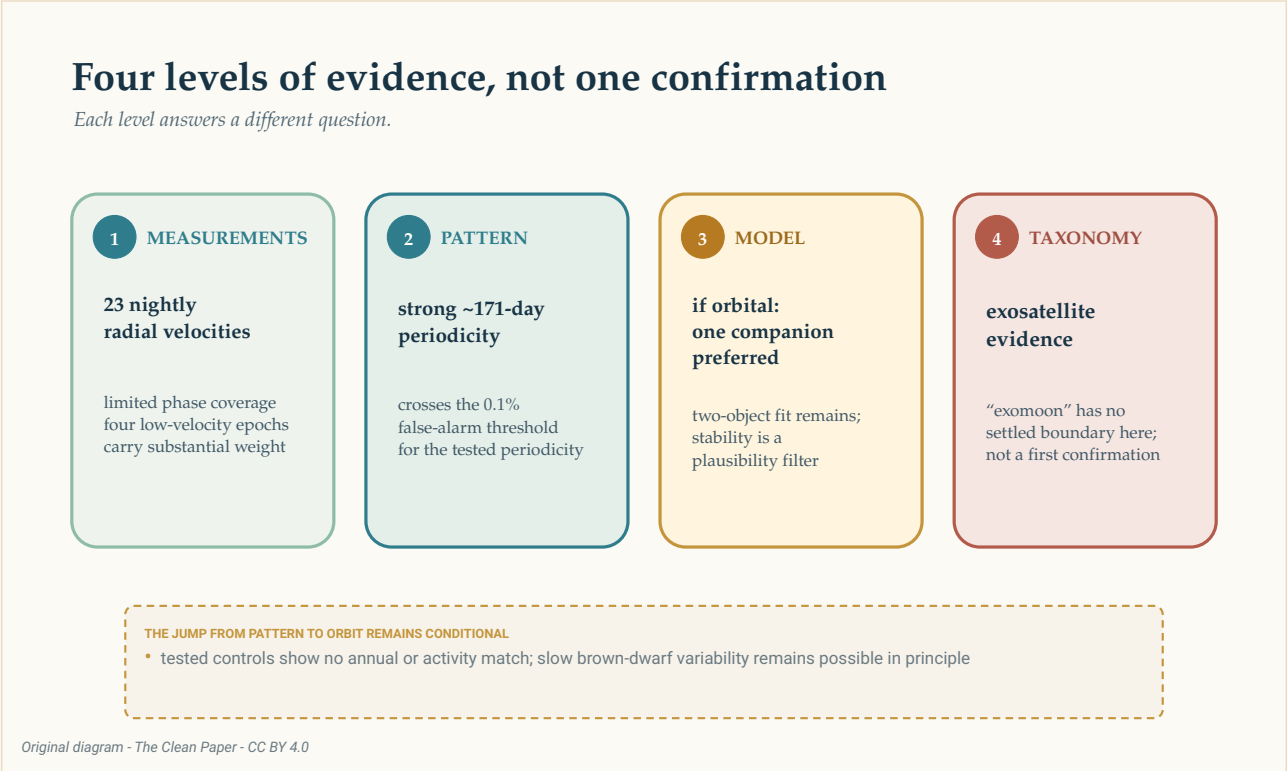
> **Wie kann eine exzentrische Bahn wie zwei kreisförmige aussehen?**
>
> Eine perfekte Kreisbahn erzeugt eine einfache, wiederkehrende Radialgeschwindigkeitswelle. Eine exzentrische Bahn fügt dieser Welle Verzerrungen hinzu. Zwei Kreisbahnen mit Perioden nahe einem Verhältnis von zwei zu eins können sich so überlagern, dass ein Signal den Hauptrhythmus und das andere eine ähnliche Verzerrung liefert.
> Dies ist eine **orbitale Entartung**: Unterschiedliche physische Systeme erzeugen ähnliche Messungen. Weitere Beobachtungen zu Zeitpunkten, an denen die Modelle unterschiedliche Geschwindigkeiten vorhersagen, können die Mehrdeutigkeit auflösen. Ein Dynamiktest hilft, indem er fragt, ob jedes vorgeschlagene System überleben könnte; er kann diese Beobachtungen aber nicht ersetzen.

Könnte der Rhythmus vom Braunen Zwerg stammen?

Ein Brauner Zwerg ist keine stumme Testmasse. Seine Atmosphäre rotiert, bildet Wolken und kann magnetisch aktiv sein. Veränderliche Oberflächenmuster können Spektrallinien umformen und Bewegung vortäuschen.

Die geschätzte maximale Rotationsperiode von CD-35 2722 B beträgt ungefähr **0,65 Tage**, deutlich weniger als 171 Tage. Das Team fand weder ein starkes kurzes Rotationssignal noch ein überzeugendes wolken- oder granulationsähnliches Signal in den getesteten Aktivitätsmodellen. Es untersuchte außerdem jährliche Abtastung und instrumentelle Größen, ohne eine Übereinstimmung mit dem 171-Tage-Rhythmus zu finden.

Diese Prüfungen schränken die Alternativen ein, doch die Arbeit behauptet nicht, sämtliche intrinsische Variabilität beseitigt zu haben. Langzeitige magnetische Aktivität oder atmosphärische Zirkulation im Braunen Zwerg kann prinzipiell nicht ausgeschlossen werden. Diese verbleibende Möglichkeit gehört neben die orbitalen Modelle und nicht versteckt dahinter.



Die Evidenz steigt über getrennte Stufen: 23 nächtliche Radialgeschwindigkeiten mit begrenzter Phasenabdeckung, eine starke Periodizität von ungefähr 171 Tagen, ein bevorzugtes Ein-Begleiter-Modell, falls das Signal orbital ist, und schließlich eine ungeklärte Bezeichnung als „Exomond". Die Leiter trennt Messung, statistisches Muster, physische Deutung und Taxonomie; sie ist kein Bestätigungspfeil.

The Clean Paper CC BY 4.0

Ist es ein Exomond?

Im Sonnensystem umkreist ein Mond einen Planeten. CD-35 2722 B ist ein Brauner Zwerg, und die wahre Masse des erschlossenen Begleiters ist noch unbekannt. Vertraute Bezeichnungen geraten unter Spannung, wenn ein Objekt nahe der Grenze zwischen Planet und Braunem Zwerg und ein anderes nahe der Grenze zwischen Mond und Planet liegt.

Die Arbeit beansprucht nicht den ersten bestätigten Exomond. Sie erklärt, dass noch kein Exomond zuverlässig entdeckt wurde, präsentiert Evidenz für einen **Exosatelliten** mit Planetenmasse und bezeichnet das System als Schritt in Richtung einer unstrittigen Entdeckung. Ihre Diskussion möglicher Neuartigkeit beginnt bedingt: falls sich das Signal als echt erweist.

Diese Vorsicht macht das Ergebnis nicht leer. Radialgeschwindigkeiten direkt von einem lichtschwachen Braunen-Zwerg-Begleiter zu messen, ist schwierig. Falls weitere Beobachtungen das Signal erhalten, würde das System zeigen, dass Methoden der Planetensuche eine weitere Ebene einer himmlischen Hierarchie erreichen können.

Eine weitere Beobachtungssaison kann mehr leisten als nur Punkte hinzuzufügen. Die Ein- und Zwei-

Begleiter-Modelle sagen zu bestimmten zukünftigen Zeiten unterschiedliche Geschwindigkeiten voraus. Messungen, die fehlende Orbitalphasen füllen, können prüfen, ob der 171-Tage-Rhythmus fortbesteht, den Einfluss der vier niedrigen Punkte verringern und die konkurrierenden Kurven auseinanderlaufen lassen.

Vorerst ist das ehrlichste Bild kein neuer Mond neben einem Braunen Zwerg. Es ist ein Spektrum, Nacht für Nacht wiederholt, das eine kleine periodische Verschiebung trägt. In diesem Rhythmus könnte eine Welt liegen. Die Leistung besteht darin zu lernen, wie viel sich daraus erschließen lässt, ohne so zu tun, als sei die Schlussfolgerung bereits vollständig.

Kurz zusammengefasst

Astronomen maßen die Radialgeschwindigkeit des direkt abgebildeten Braunen Zwergs CD-35 2722 B in 23 hochwertigen Nächten zwischen Oktober 2023 und Februar 2026. Seine Spektrallinien zeigen eine starke periodische Verschiebung nahe 171 Tagen. Das bevorzugte orbitale Modell enthält einen exzentrischen Begleiter mit einer Mindestmasse von ungefähr 0,92 Jupitermassen, doch die wahre Masse ist unbekannt, weil die Bahnneigung unbekannt ist. Zwei nahezu kreisförmige Begleiter können dasselbe grobe Signal nachahmen, obwohl die meisten getesteten Zwei-Objekt-Konfigurationen dynamisch instabil waren. Vier Epochen niedriger Geschwindigkeit sind einflussreich, und die Orbitalphasenabdeckung bleibt begrenzt: Die Beobachtungen erfassen nur ausgewählte Teile des möglichen 171-Tage-Zyklus, statt ihn kontinuierlich durch jede Phase zu verfolgen. Tests identifizierten weder Rotation, jährliche Abtastung, Wetter noch untersuchte Instrumenteneigenschaften als Ursache, doch langzeitige Variabilität des Braunen Zwergs kann prinzipiell nicht ausgeschlossen werden. Das unsichtbare Objekt wurde nicht direkt abgebildet, das Ein-Objekt-Modell ist bevorzugt und nicht bestätigt, und es gibt keine festgelegte Regel, nach der ein Objekt mit Planetenmasse um einen Braunen Zwerg als Exomond gilt.

Nüchtern geprüft

Was beobachtet wurde: Dreiundzwanzig nächtliche Radialgeschwindigkeitsmessungen von CD-35 2722 B enthalten eine starke Periodizität von ungefähr 171 Tagen. Der Braune Zwerg selbst wurde direkt abgebildet; der vorgeschlagene Begleiter nicht.

Was die Autoren bevorzugen: Falls das Signal orbital ist, liefert ein exzentrischer Begleiter mit einer Mindestmasse nahe der Jupitermasse die einfachste dynamisch plausible Deutung der derzeitigen Daten.

Was offen bleibt: Zwei Begleiter können die Radialgeschwindigkeiten anpassen, obwohl die getesteten Systeme meist instabil sind; langzeitige Variabilität des Braunen Zwergs ist prinzipiell nicht ausgeschlossen; und der unbekannte Betrachtungswinkel lässt die wahre Begleitermasse unbestimmt.

Was die Arbeit nicht belegt: Einen ersten bestätigten Exomond, einen direkt gesehenen Satelliten, exakt ein umlaufendes Objekt, eine wahre Masse von 0,92 Jupitermassen oder eine Wahrscheinlichkeit von 99,9 %, dass das bevorzugte physische Modell korrekt ist.

Was das Vertrauen erhöhen würde: Weitere Radialgeschwindigkeitsmessungen, die mehr Orbitalphasen abdecken, prüfen, ob das 171-Tage-Signal fortbesteht, und Zeitpunkte erfassen, an denen die Ein- und Zwei-Begleiter-Modelle unterschiedliche Vorhersagen machen.

Quellen

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