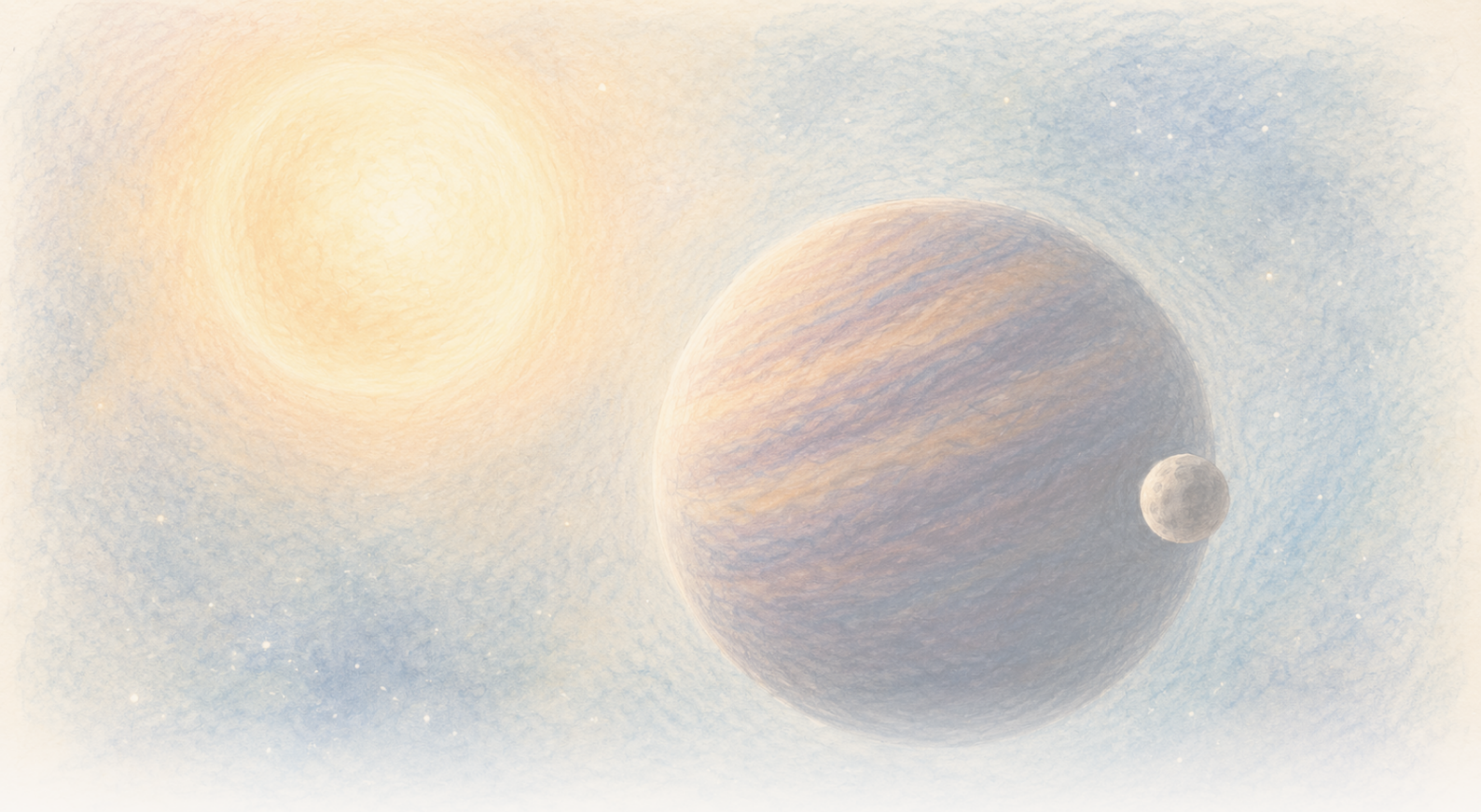


The CLEAN PAPER

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

ดาวแคระน้ำตาลดูเหมือนส่ายทุก 171 วัน โลกทึมองไม่เห็นหนึ่งดวงอาจกำลังดึงมัน แต่ข้อมูลยังยอมให้มีสองดวงได้

สเปกตรัมคุณภาพสูง 23 ชุดเผยการเลื่อนเป็นคาบที่ชัดเจนในการเคลื่อนที่ของ CD-35 2722 B แบบจำลองที่ต้องการมากกว่าคือวัตถุคู่หนึ่งดวงในวงโคจรเยื้องศูนย์ มีมวลชั้นต่ำใกล้ดาวพฤหัสบดี แต่แบบจำลองสองวัตถุสามารถเสียนสัญญาณเดียวกันได้ ความแปรผันระยะยาวของดาวแคระน้ำตาลยังเป็นไปได้ในหลักการ และคำว่า "exomoon" ยังไม่มีขอบเขตที่ตกลงกันชัดในกรณีนี้

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

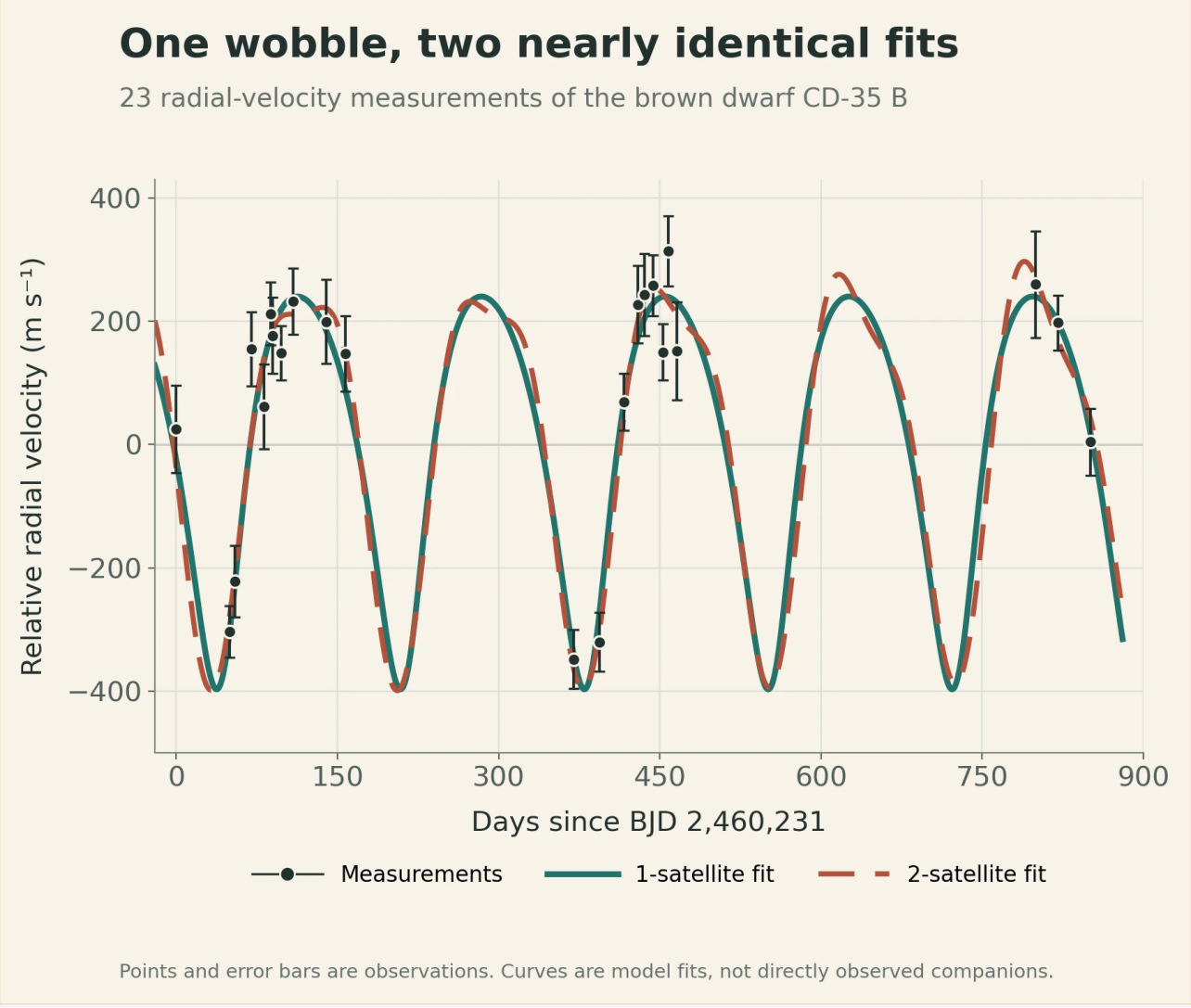
ดาวแคระน้ำตาลดูเหมือนโยกทุก 171 วัน โลกที่มองไม่เห็นหนึ่งดวงอาจกำลังดึงมันอยู่ แต่ข้อมูลยังยอมให้มีสองดวงได้

นักดาราศาสตร์มองเห็น CD-35 2722 B เป็นจุดแสงของมันเอง แยกจากดาวฤกษ์ที่มันโคจรรอบ มันเป็นดาวแคระน้ำตาล ซึ่งมีมวลอยู่ระหว่างดาวเคราะห์ยักษ์กับดาวฤกษ์: ที่ประมาณ 37 เท่าของมวลดาวพฤหัสบดี มันหนักกว่าดาวเคราะห์ยักษ์ทั่วไป แต่ไม่ใช่ดาวฤกษ์ปกติที่เผาไฮโดรเจน พวกเขามองไม่เห็นวัตถุเล็กกว่าที่อาจโคจรรอบดาวแคระน้ำตาลนั้นเอง หากยืนยันได้ วัตถุชั้นในสุดนี้จะทำให้ระบบนี้เป็นลำดับชั้นแบบดาวบริวารรอบวัตถุใต้ดาวฤกษ์ที่ใหญ่กว่า ซึ่งตัวมันเองโคจรรอบดาวฤกษ์ ที่ถูกสังเกตเป็นครั้งแรก

สิ่งที่เห็นแทนคือจังหวะ ในบางคืน แสงของดาวแคระน้ำตาลเลื่อนเล็กน้อยเมื่อมันเคลื่อนเข้าหาโลก ในคืนอื่นเลื่อนไปอีกทางเมื่อมันเคลื่อนออก รูปแบบนี้ซ้ำประมาณทุก **171 วัน**

การเคลื่อนกลับไปกลับมานี้เป็นสิ่งที่เพื่อนร่วมวงโคจรซึ่งมองไม่เห็นสามารถสร้างได้: เมื่อวัตถุสองชิ้นโคจรรอบศูนย์มวลร่วม ชิ้นเล็กเดินทางรอบชิ้นใหญ่ แต่ชิ้นใหญ่เองก็วาดวงเล็กกว่ามากเช่นกัน หากจังหวะนี้มาจากวงโคจร บทความใหม่ใน Nature เสนอว่าวัตถุมวลระดับดาวเคราะห์หนึ่งชิ้นเป็นคำอธิบายที่ผู้เขียนเลือกมากที่สุดสำหรับวงโยกที่วัดรอบ CD-35 2722 B

นี่เป็นความเป็นไปได้ที่น่าทึ่ง ไม่ใช่ภาพถ่ายดวงจันทร์ คืนสังเกตคุณภาพสูง 23 คืนเปิดเผยสัญญาณคาบแรง การเปลี่ยนสัญญาณนั้นให้เป็นโลกหนึ่งดวงต้องอาศัยแบบจำลอง และข้อมูลปัจจุบันยังเปิดให้มีสถาปัตยกรรมมากกว่าหนึ่งแบบ อีกทั้งยังตัดการเปลี่ยนแปลงช้า ๆ ภายในดาวแคระน้ำตาลเองออกไม่หมด



จุดสีดำและ แถบค่าคลาดเคลื่อน คือการวัด radial velocity รายคืน 23 ค่า เส้นทึบและเส้นประคือแบบจำลองที่ฟิตดีที่สุดสำหรับดาวบริวารหนึ่งและสองดวง การที่เส้นเกือบซ้อนกันแสดงว่าข้อมูลสามารถเผยการโยกเป็นคาบได้โดยยังระบุสถาปัตยกรรมระบบไม่ได้; ไม่มีเส้นใดเป็นภาพโดยตรงของเพื่อนร่วมวงโคจร

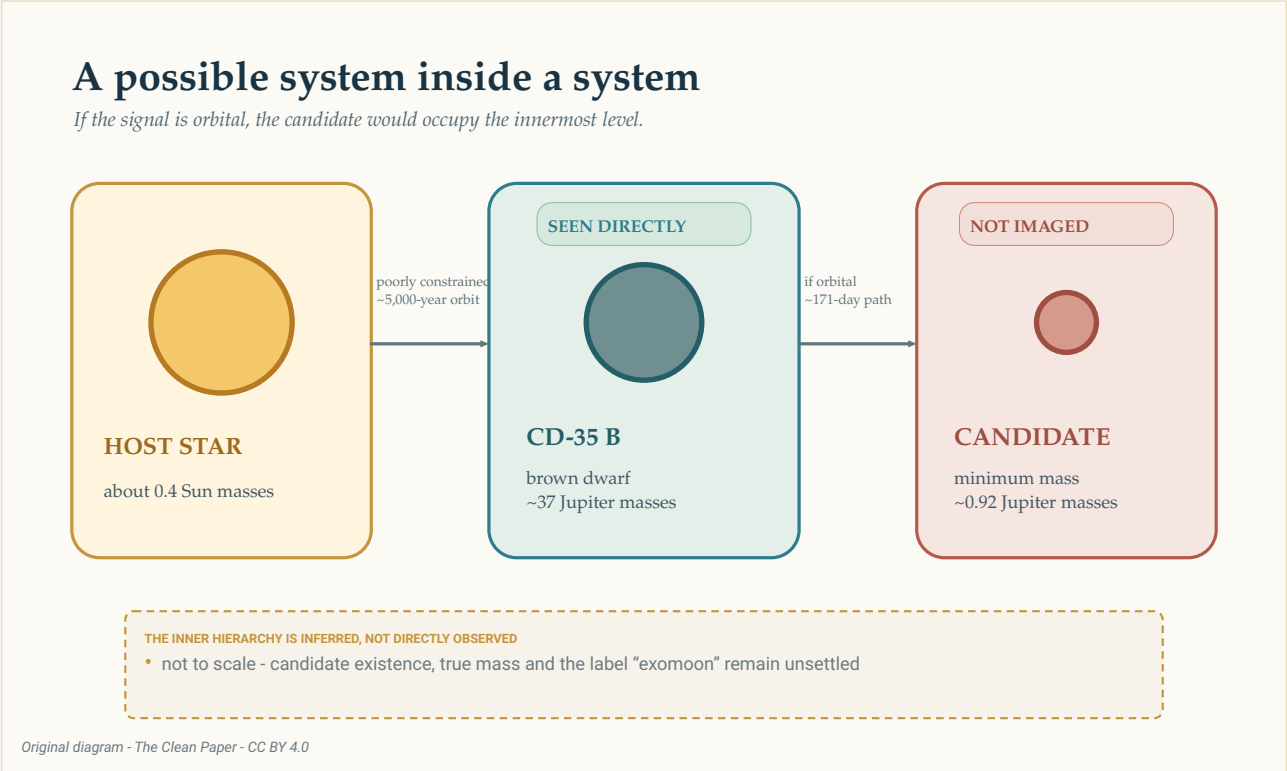
Original chart — The Clean Paper; data from Hoy et al., Nature (2026), Figure 1 source workbook CC BY 4.0

ระบบซ้อนอยู่ในระบบ

CD-35 2722 B เป็น **ดาวแคระน้ำตาล**: วัตถุที่อยู่ระหว่างหมวดหมู่คุ้นเคย มันหนักกว่าดาวเคราะห์ยักษ์ทั่วไป แต่ไม่หนักพอจะส่องแสงเหมือนดาวฤกษ์ที่เผาไฮโดรเจนตามปกติ บทความใช้มวลประมาณ **37 ดาวพฤหัสบดี**

ดาวแคระน้ำตาลถูกค้นพบด้วย direct imaging หมายถึงกล้องโทรทรรศน์แยกแสงของมันออกจากดาวเจ้าบ้านได้ บนท้องฟ้ามันปรากฏห่างจากดาวประมาณ 2.8 arcseconds วงโคจรกว้างที่เชื่อมทั้งคู่ยังรู้ไม่ดี แต่การประเมินปัจจุบันบอกว่าเป็นเส้นทางยืดมาก ใช้เวลาราว **5,000 ปี**

ถ้าสัญญาณคาบเป็นวงโคจร สถาปัตยกรรมที่อนุมานได้จะวางผู้สมัครลึกเข้าไปอีกระดับ: ดาวฤกษ์มีดาวแคระน้ำตาลโคจร และดาวแคระน้ำตาลมีเพื่อนร่วมวงโคจรมวลระดับดาวเคราะห์อีกชั้น



หากสัญญาณเป็นวงโคจร วัตถุผู้สมัครจะอยู่ชั้นในสุดของลำดับชั้นที่เป็นไปได้นี้ มีเพียงดาวแคระน้ำตาลที่เห็นโดยตรง วงโคจรชั้นนอกรอบดาวฤกษ์ยังจำกัดได้ไม่ดี ส่วนเส้นทางชั้นในราว 171 วันอนุมานจากการโยกที่วัดของดาวแคระน้ำตาล ขนาดและระยะทางไม่ได้วาดตามสเกล

The Clean Paper CC BY 4.0

ลำดับชั้นที่เป็นไปได้นี้วาดง่าย แต่ความจริงทางกายภาพและคำเรียกยังไม่ลงตัว วัตถุมวลระดับดาวเคราะห์ที่โคจรรอบดาวแคระน้ำตาลควรนับเป็นดวงจันทร์ ดาวเคราะห์ หรือเพียงดาวบริวาร? นักดาราศาสตร์ยังไม่มีกฎที่ยอมรับร่วมกันเพื่อปิดคำถามนี้ บทความจึงใช้คำกว้างกว่า คือ **exosatellite**

23 คืนกลายเป็นการโยกได้อย่างไร

ทีมสังเกต CD-35 2722 B (ดู รายการ NASA Eyes on Exoplanets) ด้วย CRIRES+ สเปกโทรกราฟความละเอียดสูงบน Very Large Telescope ของ European Southern Observatory ระหว่างตุลาคม 2023 ถึงกุมภาพันธ์ 2026 พวกเขาได้ 26 epochs การสังเกต หนึ่งครั้งสัญญาณน้อยเกินไป และสองครั้งที่ถ่ายในอากาศไม่ดีถูกทิ้งแล้วสังเกตใหม่ เหลือ **23 คืนคุณภาพสูง**

สเปกโทรกราฟกระจายแสงเป็นลวดลายเส้นละเอียด เมื่อแหล่งกำเนิดเคลื่อนเข้าหาหรือออกจากโลก เส้นเหล่านั้นจะเลื่อนไปเล็กน้อย การวัดการเคลื่อนตามแนวสายตาซ้ำ ๆ เรียกว่า **radial velocities** มันไม่ได้แสดงวัตถุที่ซ่อนอยู่ แต่แสดงว่าวัตถุที่เรามองเห็นอาจกำลังเคลื่อนภายใต้แรงดึงที่มองไม่เห็น

คาบที่แรงที่สุดในข้อมูลอยู่ใกล้ 170 วัน และข้าม **เกณฑ์ false-alarm probability 0.1%** ของงาน เกณฑ์นี้ถามว่าภายใต้สมมติฐานของการทดสอบ noise จะสร้างยอด periodogram อย่างน้อยแรงเท่านี้บ่อยเพียงใด มันไม่ใช่ความน่าจะเป็น 99.9% ว่ามีดาวบริวาร และด้วยตัวมันเองไม่ได้บอกว่ามีหนึ่งดวงหรือสองดวง

> **สัญญาณ radial velocity ยืนยันอะไรได้?**
>
> Radial velocity แปลงการเลื่อนของเส้นสเปกตรัมซ้ำ ๆ เป็นการวัดการเคลื่อนเข้าหาและออกจากผู้สังเกต รูปแบบซ้ำสามารถฟิตด้วยสมการวงโคจร ทำให้นักวิจัยอนุมานคาบ ขนาดการโยกที่วัด และมวลขั้นต่ำของเพื่อนร่วมวงโคจรได้ แต่วิธีนี้ไม่ได้ถ่ายภาพเพื่อนร่วมวงโคจรโดยตรง บรรยากาศดาวฤกษ์หรือวัตถุใต้ดาวฤกษ์ก็สามารถเปลี่ยนเส้นสเปกตรัม ตารางการสังเกตสร้างจังหวะหลอก และรูปแบบวงโคจรต่างกันเลียนแบบกันได้ สัญญาณ คำอธิบายทางกายภาพ และชื่อที่ให้วัตถุอนุมานเป็นคนละคำถาม

การสุ่มตัวอย่างควรได้รับความสนใจก่อนคำตอบเรื่องวงโคจร ค่า radial velocity ที่ต่ำเป็นพิเศษสี่ค่าให้น้ำหนักกับรูปแบบมาก พวกมันเกิดเป็นสองคู่ ภายใต้สภาพที่รายงานว่าดี และไม่มีจุดเดียวใดสร้างสัญญาณขึ้นมาเองเมื่อผู้เขียนทำการวิเคราะห์ซ้ำโดยตัดทีละจุด อย่างไรก็ดี มีการสุ่มตัวอย่างเพียงบางส่วนของ phase วงโคจรที่เป็นไปได้ คืนสังเกต 23 คืนกระจายตลอดมากกว่าสองปีไม่เหมือนการติดตามต่อเนื่อง

ผู้เขียนยังทดสอบ artefact ครึ่งปี การแก้การเคลื่อนของโลกหรือ profile ของเครื่องมือที่ไม่สมบูรณ์อาจสร้างสัญญาณปีหลอก ซึ่งการสุ่มตัวอย่าง alias เป็นครึ่งปีโลก หรือ **182.5 วัน** คาบที่ผู้เขียนเลือกคือ **171.11 วัน** โดยความไม่แน่นอน +0.53/-0.36 วัน; ผู้เขียนรายงานว่าค่านี้ห่างจาก 182.5 วันประมาณ 20 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน พวกเขายังไม่พบสหสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่เปลี่ยนของโลก seeing ไอน้ำในบรรยากาศ หรือคุณสมบัติเครื่องมือที่ตรวจ นี่เป็นการควบคุมสำคัญ ทำให้คำอธิบายด้วยวงโคจรน่าเชื่อพอจะสร้างแบบจำลอง แต่ไม่ได้ระบุตัววัตถุด้วยตัวเอง

คำตอบวงโคจรที่ง่ายที่สุด: เพื่อนร่วมวงโคจรหนึ่งดวง

ในแบบจำลองที่ผู้เขียนเลือก วัตถุหนึ่งชื้นโคจรรอบดาวแคระน้ำตาลทุก 171.11 วันในวงโคจร eccentric หรือยืดเล็กน้อย วงโคจรที่ฟิตได้มี eccentricity ประมาณ **0.27** และ semi-major axis ประมาณ **0.200 หน่วยดาราศาสตร์** — ราวหนึ่งในห้าของระยะเฉลี่ยโลก-ดวงอาทิตย์

การโยกที่วัดมี amplitude ราว **318 เมตรต่อวินาที** จากการเคลื่อนนี้ แบบจำลองให้มวลขั้นต่ำของเพื่อนร่วมวงโคจรราว **0.92 เท่ามวลดาวพฤหัสบดี**

คำว่า *ขั้นต่ำ* สำคัญ Radial velocity วัดเฉพาะส่วนของการเคลื่อนวงโคจรที่ชี้เข้าหาและออกจากเรา ถ้าเห็นวงโคจรแบบ edge-on การเคลื่อนส่วนใหญ่ปรากฏตามแนวนี้ แต่ถ้าเห็นแบบ face-on มากกว่า การเคลื่อนจำนวนมากข้ามท้องฟ้าแทน และต้องใช้เพื่อนร่วมวงโคจรที่หนักกว่าเพื่อสร้างการโยกตามแนวสายตาเท่าเดิม

นักดาราศาสตร์เขียนผลเป็น **m sin(i)**: มวลคูณไซน์ของ inclination หรือมุมมองวงโคจรที่ยังไม่รู้ ข้อมูลจำกัดผลคูณนั้น ไม่ใช่มวลจริงโดยลำพัง ดังนั้นประมาณ 0.92 มวลดาวพฤหัสบดีเป็นขอบล่าง ไม่ใช่การวัดมวลที่แน่นอน

> **ทำไมมุมมองจึงซ่อนมวล?**
>
> ลองมองสนามวงกลมจากด้านข้าง นักวิ่งเคลื่อนเข้าหาและออกจากคุณชัด ๆ จึงวัดองค์ประกอบการเคลื่อนนั้นได้ง่าย จากนั้นลองมองสนามเดียวกันจากด้านบน นักวิ่งเคลื่อนข้ามมุมมองเป็นหลัก แทบไม่เข้าหาหรือออกจากคุณ
> Radial velocity เห็นเฉพาะองค์ประกอบแรก ปัจจัยทางคณิตศาสตร์ `sin(i)` บอกว่าการเคลื่อนวงโคจรชี้ตามแนวสายตาของเรามากเท่าใด จนกว่าจะรู้ inclination `i` มวลที่อนุมานยังคงเป็นขั้นต่ำ

จากนั้นผู้เขียนถามว่าวงโคจรนี้คงอยู่ได้หรือจะทำลายตัวเองอย่างรวดเร็ว การทดสอบเชิงตัวเลขพบว่าแบบจำลองหนึ่งเพื่อนร่วม

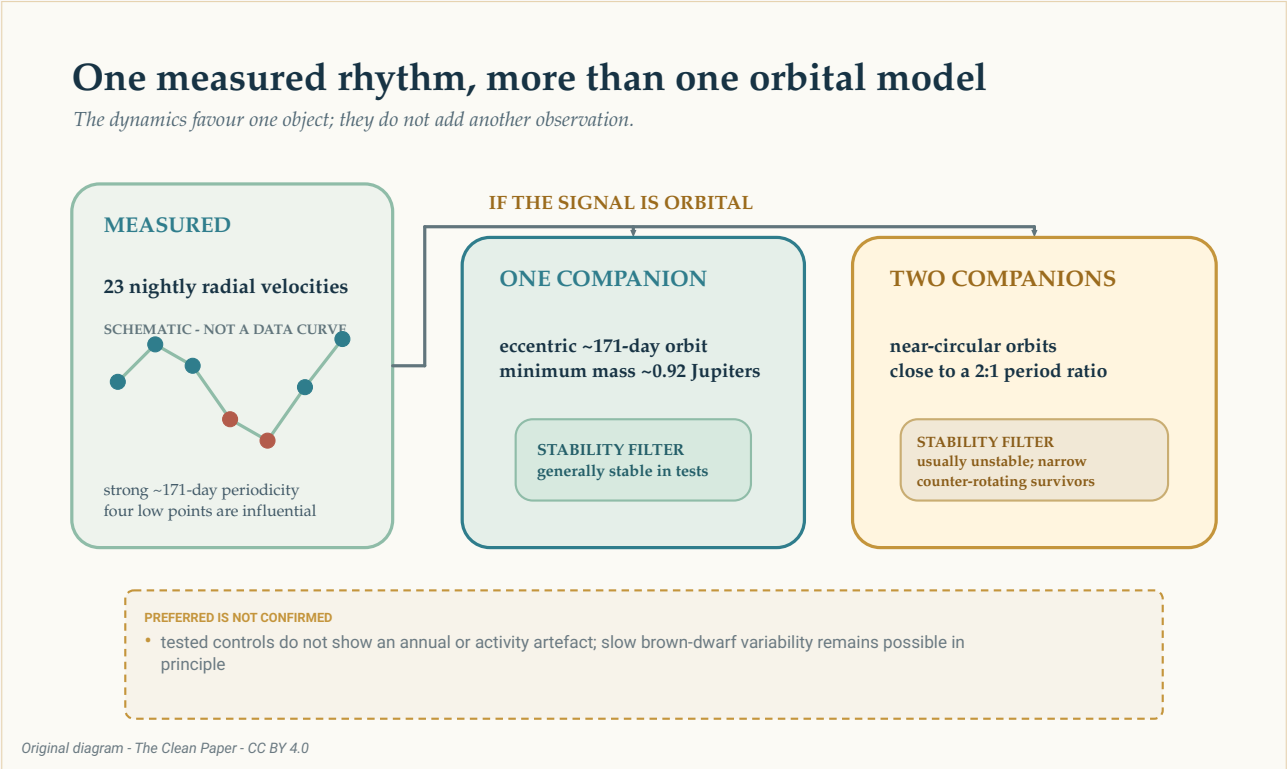
วงโคจรโดยทั่วไปเสถียร ทำให้มันเป็นการตีความสัญญาณที่เป็นไปได้ทางกายภาพ แต่ไม่ถือเป็นการตรวจพบครั้งที่สอง

คำตอบที่น่าอึดอัด: สองดวงเลียนแบบหนึ่งดวงได้

สัญญาณ radial velocity จากวงโคจร eccentric มีความกำกวมที่รู้จักกันดี ในบางเงื่อนไข วัตถุสองชิ้นในวงโคจรเกือบกลม โดยชิ้นหนึ่งใช้เวลาประมาณสองเท่าของอีกชิ้น สามารถสร้างรูปแบบรวมคล้ายวัตถุหนึ่งชิ้นในวงโคจรยืดได้

ความกำกวมนี้ปรากฏในที่นี้ แบบจำลองสองเพื่อนร่วมวงโคจรสามารถฟิตข้อมูลปัจจุบันด้วยสัญญาณชั้นนอกใกล้ 171 วัน และสัญญาณชั้นในคาบสั้นกว่า เพราะเวลาสังเกตไม่ได้สุ่มทุก phase เท่ากัน สัญญาณสั้นกว่าจึงมี aliases หลายค่า และเพราะ 23 คืนที่เลือกมีช่องว่างยาว คาบทดลองต่างกันสามารถนับจำนวนรอบที่มองไม่เห็นระหว่างการเยี่ยมต่างกัน แต่ยังเรียงเข้ากับการวัดชุดเดียวกันได้ คาบผู้สมัครใกล้ 14, 70, 88 และ 115 วันจึงเป็นทางเลือกการฟิตของสัญญาณสั้นที่สุ่มไม่ดีหนึ่งสัญญาณ ไม่ใช่จังหวะสี่แบบที่ตรวจพบอิสระ

ผู้เขียนปฏิเสธช่วง 13-17 วันที่จำกัดได้ไม่ดี ในบริเวณนั้นการฟิตไม่ได้แยกคาบที่น่าเชื่อเพียงค่าเดียว: คำตอบที่อยู่ชิดกันหลายค่าต้ำกว่า 20 วันสร้างข้อมูล cadence ต้ำได้ ทำให้ทั้งช่วงน่าจะเป็น artefact จากการสุ่มตัวอย่าง ในช่วงที่เหลือ คำตอบประมาณ 88 วันฟิตดีกว่าทางเลือก 70 และ 115 วัน แต่ไม่มากพอที่บทความจะอ้างคาบที่สองที่รู้แล้ว ใน best fit ที่ใส่ตาราง มวลขั้นต้ำของวัตถุชั้นนอกประมาณ 0.87 ดาวพฤหัสบดี และชั้นในประมาณ 0.22 ดาวพฤหัสบดี ตัวเลขเหล่านี้อธิบายแบบจำลองที่ได้รับความนิยมน้อยกว่า; ไม่ใช่การวัดโลกที่ยืนยันสองดวง



ถ้าสัญญาณราว 171 วันเป็นวงโคจร รูปแบบ radial velocity กว้างแบบเดียวกันสามารถแทนด้วยเพื่อนร่วมวงโคจร eccentric หนึ่งดวง หรือสองดวงเกือบกลมใกล้อัตราส่วนคาบสองต่อหนึ่ง การทดสอบเสถียรภาพสนับสนุนแบบหนึ่งวัตถุ แต่ไม่ได้เปลี่ยนแบบจำลองเป็นภาพ หรือปิดความเป็นไปได้ของความแปรผันช้าบางชนิดของดาวแคระน้ำตาล

The Clean Paper CC BY 4.0

การคำนวณเสถียรภาพทำให้การเปรียบเทียบคมขึ้น ระบบสองเพื่อนร่วมวงโคจรส่วนใหญ่ที่ทดสอบดีดวัตถุหนึ่งชิ้นออกภายในเวลาแบบจำลองไม่กี่ร้อยปี การจัดวางที่รอดอยู่ในบริเวณแคบและแปลก ซึ่งวงโคจรเกือบอยู่ระนาบเดียวกันแต่เคลื่อนตรงข้ามทิศ ดาวเจ้าบ้านยังสร้างบริเวณไม่เสถียรเพิ่ม

นี่เป็นเหตุผลให้เลือกเพื่อนร่วมวงโคจร eccentric หนึ่งดวงเหนือระบบสองดวงที่ทดสอบ ไม่ใช่หลักฐานว่าธรรมชาติเลือกแบบจำลองง่ายกว่า การทดสอบเสถียรภาพกรองการตีความที่เป็นไปได้หลังวัด radial velocities แล้ว; ไม่ได้เพิ่มจุดสังเกตใหม่ลงกราฟ

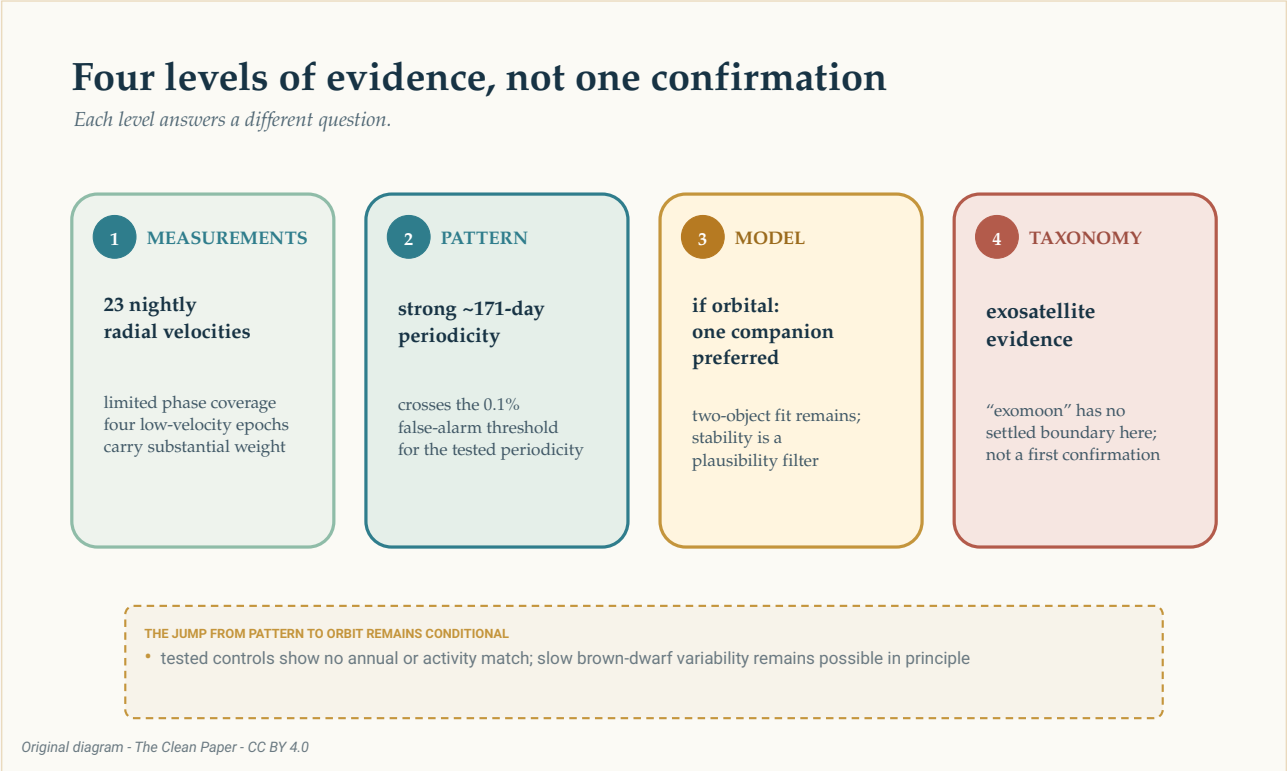
> **ทำไมวงโคจร eccentric หนึ่งวงดูเหมือนวงกลมสองวงได้?**
>
> วงโคจรกลมสมบูรณ์ให้คลื่น radial velocity ซ้ำง่าย ๆ วงโคจร eccentric เพิ่มการบิดเบือนเข้าไป สองวงโคจรกลมที่คาบใกล้อัตราส่วนสองต่อหนึ่งสามารถรวมกันโดยสัญญาณหนึ่งให้จังหวะหลัก และอีกสัญญาณให้การบิดเบือนคล้ายกัน
> นี่คือ **orbital degeneracy**: ระบบทางกายภาพต่างกันสร้างการวัดคล้ายกัน การสังเกตเพิ่มในเวลาที่แบบจำลองทำนาย velocity ต่างกันสามารถแยกได้ การทดสอบ dynamics ช่วยถามว่าแต่ละระบบที่เสนออยู่รอดได้หรือไม่ แต่แทนการสังเกตเหล่านั้นไม่ได้

จังหวะอาจมาจากดาวแคระน้ำตาลเองหรือไม่?

ดาวแคระน้ำตาลไม่ใช่มวลทดสอบเงียบ ๆ บรรยากาศของมันหมุน สร้างเมฆ และอาจมีกิจกรรมแม่เหล็ก รูปแบบพื้นผิวที่เปลี่ยนสามารถเปลี่ยนเส้นสเปกตรัมและเลียนแบบการเคลื่อนได้

คาบหมุนสูงสุดโดยประมาณของ CD-35 2722 B อยู่ราว **0.65 วัน** สั้นกว่า 171 วันมาก ทีมไม่พบสัญญาณหมุนสั้นแรง หรือสัญญาณคล้ายเมฆหรือ granulation ที่น่าเชื่อในแบบจำลอง activity ที่ทดสอบ พวกเขายังตรวจ annual sampling กับปริมาณของเครื่องมือโดยไม่พบตรงกับจังหวะ 171 วัน

การตรวจเหล่านี้ลดทางเลือก แต่บทความไม่ได้อ้างว่าตัด intrinsic variability ออกทั้งหมด กิจกรรมแม่เหล็กระยะยาวหรือการไหลเวียนบรรยากาศในดาวแคระน้ำตาลยังตัดทิ้งไม่ได้ในหลักการ ความเป็นไปได้ที่เหลือนี้ควรวางไว้ข้างแบบจำลองวงโคจร ไม่ใช่ซ่อนไว้หลังมัน



หลักฐานไต่ขึ้นเป็นระดับแยกกัน: radial velocity 23 คืนที่มี phase coverage จำกัด, periodicity ราว 171 วันที่แรง, แบบจำลองหนึ่งเพื่อนร่วมวงโคจรที่เลือกหากสัญญาณเป็นวงโคจร, และสุดท้ายป้าย “exomoon” ที่ยังไม่ลงตัว บันไดแยกการวัด รูปแบบสถิติ การตีความทางกายภาพ และการจัดหมวด; ไม่ใช่ลูกศรยืนยัน

The Clean Paper CC BY 4.0

มันคือ exomoon หรือไม่?

ในระบบสุริยะ ดวงจันทร์โคจรรอบดาวเคราะห์ CD-35 2722 B เป็นดาวแคระน้ำตาล และมวลจริงของเพื่อนร่วมวงโคจรที่อนุมานยังไม่รู้ ชื่อคุ้นเคยเริ่มฝืดเมื่อวัตถุหนึ่งอยู่ใกล้ขอบเขตดาวเคราะห์-ดาวแคระน้ำตาล และอีกวัตถุใกล้ขอบเขตดวงจันทร์-ดาวเคราะห์

บทความไม่ได้อ้าง exomoon ยืนยันดวงแรก มันบอกว่ายังไม่มี exomoon ที่ตรวจพบอย่างมั่นใจ นำเสนอหลักฐานสำหรับ **exosatellite** มวลระดับดาวเคราะห์ และเรียกระบบนี้ว่าเป็นก้าวไปสู่การตรวจพบที่ไม่เป็นข้อถกเถียง การอภิปรายความใหม่ที่เป็นไปได้เริ่มแบบมีเงื่อนไข: หากสัญญาณพิสูจน์ว่าเป็นของจริง

ความระวังนี้ไม่ได้ทำให้ผลว่างเปล่า การวัด radial velocity โดยตรงจากดาวแคระน้ำตาลคู่ที่จางทำได้ยาก หากการสังเกตต่อยังรักษาสัญญาณไว้ ระบบจะแสดงว่าวิธีค้นหาดาวเคราะห์ลงไปถึงอีกชั้นของลำดับชั้นท้องฟ้าได้

ฤดูสังเกตอีกหนึ่งช่วงทำได้มากกว่าเพิ่มจุด แบบจำลองหนึ่งและสองเพื่อนร่วมวงโคจรทำนาย velocity ต่างกันในบางเวลาอนาคต การวัดที่เติม phase วงโคจรที่ขาด สามารถทดสอบว่าจังหวะ 171 วันคงอยู่หรือไม่ ลดอิทธิพลของสี่จุดต่ำ และทำให้เส้นคู่แข่งแยกจากกัน

ตอนนี้ภาพที่ซื่อตรงที่สุดไม่ใช่ดวงจันทร์ใหม่แขวนข้างดาวแคระน้ำตาล แต่เป็นสเปกตรัมที่ทำซ้ำคืนแล้วคืนเล่า พร้อมการเลื่อนเป็นคาบเล็ก ๆ อาจมีโลกหนึ่งดวงอยู่ในจังหวะนั้น ความสำเร็จคือเรียนรู้ว่าเราสามารถอนุมานได้มากแค่ไหนโดยไม่แกล้งทำว่าการอนุมานสมบูรณ์แล้ว

สรุป

นักดาราศาสตร์วัด radial velocity ของดาวแคระน้ำตาลที่ถ่ายภาพโดยตรง CD-35 2722 B ใน 23 คืนคุณภาพสูงระหว่างตุลาคม 2023 ถึงกุมภาพันธ์ 2026 เส้นสเปกตรัมแสดงการเลื่อนเป็นคาบแรงใกล้ 171 วัน แบบจำลองวงโคจรที่ผู้เขียนเลือกมีเพื่อนร่วมวงโคจร eccentric หนึ่งดวง มวลขั้นต่ำใกล้ 0.92 ดาวพฤหัสบดี แต่มวลจริงไม่รู้เพราะ inclination ของวงโคจรไม่รู้ เพื่อนร่วมวงโคจรเกือบกลมสองดวงเลียนแบบสัญญาณกว้างเดียวกันได้ แม้ระบบสองวัตถุส่วนใหญ่ที่ทดสอบไม่เสถียรทางพลวัต สี epochs ที่มี velocity ต่ำมีอิทธิพล และ phase coverage ยังจำกัด: การสังเกตสุ่มเฉพาะบางส่วนของรอบ 171 วันที่เป็นไปได้ ไม่ได้ตามต่อเนื่องทุก phase การทดสอบไม่พบการหมุน annual sampling สภาพอากาศ หรือคุณสมบัติเครื่องมือที่ตรวจว่าเป็นต้นทาง แต่ความแปรผันระยะยาวของดาวแคระน้ำตาลยังตัดไม่ได้ในหลักการ วัตถุที่มองไม่เห็นไม่ได้ถูกถ่ายภาพโดยตรง แบบหนึ่งวัตถุเป็นแบบที่เลือก ไม่ใช่ยืนยัน และยังไม่มีกฎตายตัวว่าวัตถุมวลระดับดาวเคราะห์ที่โคจรรอบดาวแคระน้ำตาลคือ exomoon

ประเมินแบบไม่เกินจริง

สังเกตอะไร: การวัด radial velocity รายคืน 23 ค่าใน CD-35 2722 B มี periodicity ราว 171 วันที่แรง ตัวดาวแคระน้ำตาลถูกถ่ายภาพโดยตรง; เพื่อนร่วมวงโคจรที่เสนอไม่ได้ถูกเห็น

ผู้เขียนเลือกอะไร: หากสัญญาณเป็นวงโคจร เพื่อนร่วมวงโคจร eccentric หนึ่งดวงที่มีมวลขั้นต่ำใกล้ดาวพฤหัสบดีให้คำอธิบายปัจจุบันที่ง่ายและเป็นไปได้ทาง dynamics ที่สุด

อะไรยังเปิดอยู่: สองเพื่อนร่วมวงโคจรฟิต radial velocities ได้ แม้ระบบทดสอบมักไม่เสถียร; ความแปรผันระยะยาวของดาวแคระน้ำตาลยังตัดไม่ได้ในหลักการ; และมุมมองที่ไม่รู้ทำให้มวลจริงของเพื่อนร่วมวงโคจรยังไม่กำหนด

บทความไม่ได้ยืนยันอะไร: exomoon ยืนยันดวงแรก; ดาวบริวารที่มองเห็นโดยตรง; วัตถุโคจรเพียงหนึ่งดวงอย่างแน่นอน; มวลจริง 0.92 ดาวพฤหัสบดี; หรือความน่าจะเป็น 99.9% ว่าแบบจำลองทางกายภาพที่เลือกถูกต้อง

อะไรจะเพิ่มความมั่นใจ: การวัด radial velocity ต่อเนื่องที่ครอบคลุม phase วงโคจรมากขึ้น ทดสอบว่าสัญญาณ 171 วันคงอยู่ และสุ่มเวลาที่แบบจำลองหนึ่งและสองเพื่อนร่วมวงโคจรให้คำทำนายต่างกัน

แหล่งข้อมูล

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`