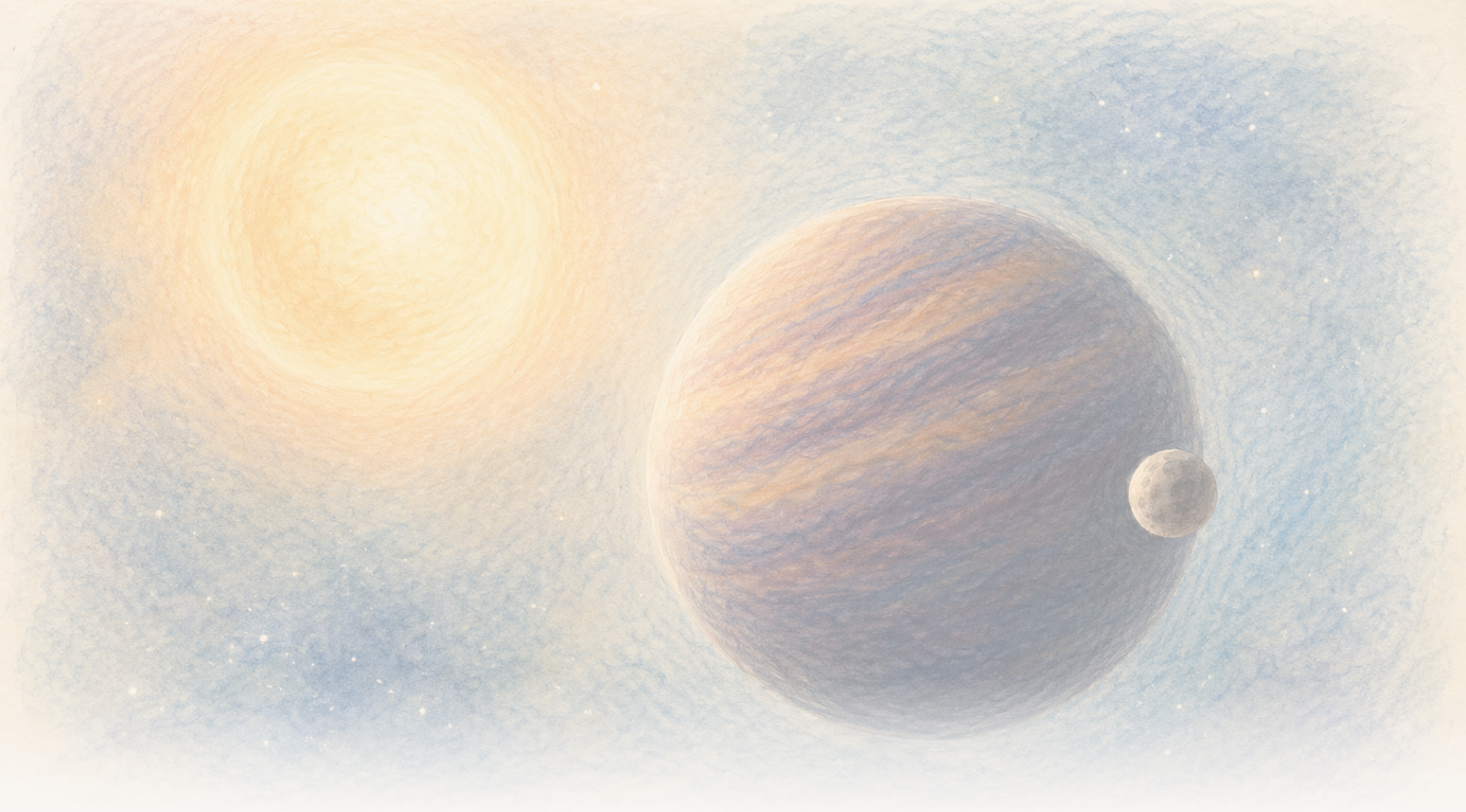


The Clean Paper

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

一顆褐矮星似乎每 171 天擺動一次：可能有一個隱藏天體在拉它，但現有資料仍容得下兩個

23 個高質量夜晚的光譜顯示，*CD-35 2722 B* 的運動存在很強的週期性變化。首選模型是一顆偏心軌道伴體，最低質量接近木星；但兩個天體也能模擬出近似訊號，原則上仍不能排除褐矮星自身的長期變化，而且這裡「系外衛星」一詞究竟該如何劃界也沒有公認標準。

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

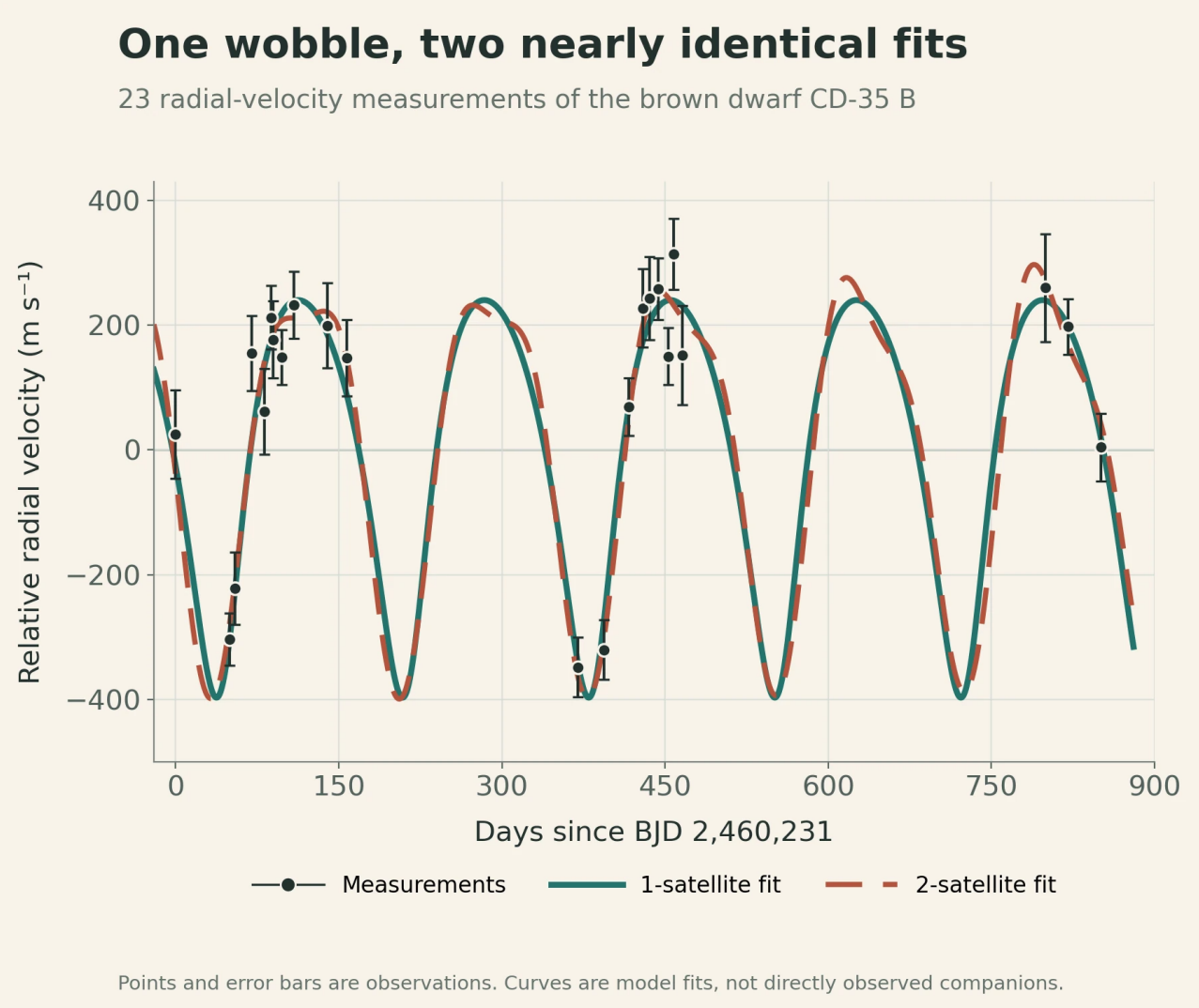
一顆褐矮星似乎每 171 天擺動一次。可能有一個隱藏天體在拉它，但現有資料仍容得下兩個

天文學家可以把 CD-35 2722 B 看成一個獨立光點，與它所環繞的恆星分開。它是一顆褐矮星，質量介於巨行星和恆星之間：約為 37 個木星質量，比典型巨行星重得多，卻還不是能夠正常進行氫聚變的恆星。研究人員看不到的，是可能正在繞這顆褐矮星運行的那個更小天體。如果最終得到確認，這將成為首個被觀測到的三級層級系統：一顆較大的亞恆星天體繞恆星運行，而它自己又擁有一個衛星級伴體。

研究人員實際看到的不是那顆伴體，而是一種節律。有些夜晚，褐矮星向地球運動，它的光譜會發生很小的位移；另一些夜晚，它遠離地球，位移方向相反。這個模式大約每 **171 天**重複一次。

這種來回運動正是不可見伴體能夠造成的：兩個天體繞共同質心運行時，小天體繞大天體轉，而大天體本身也會走一個小得多的環。如果這個週期確實來自軌道運動，一篇新的 Nature 論文認為，一顆行星質量天體是解釋 CD-35 2722 B 這種擺動的首選方案。

這是一種非常引人注目的可能性，但它並不是一張「衛星照片」。23 個高品質觀測夜晚揭示了一個很強的週期訊號；要把這個訊號解釋成一個真實天體，還必須依賴模型，而目前的資料仍允許不止一種系統結構。它們也沒有完全排除褐矮星自身發生緩慢變化的可能性。



黑點和誤差條是 23 個夜晚的徑向速度測量。實線和虛線分別是最佳單伴體與雙伴體模型。兩條曲線幾乎重合，說明現有資料可以清楚顯示週期性擺動，卻還不足以確定系統究竟是什麼結構；任何一條曲線都不是伴體的直接影像。

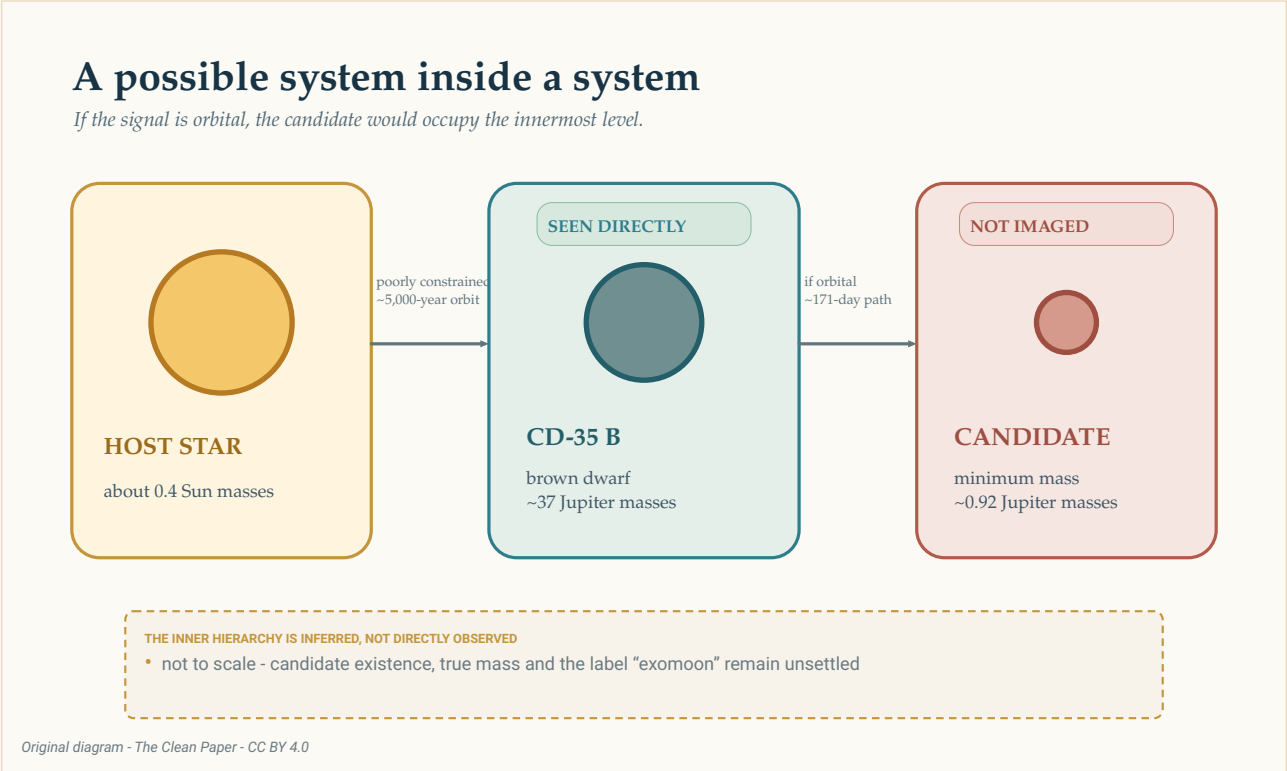
Original chart —The Clean Paper; data from Hoy et al., Nature (2026), Figure 1 source workbook CC BY 4.0

一個系統套在另一個系統裡

CD-35 2722 B 是一顆**褐矮星**，正處在我們熟悉的分類邊界之間。它比典型巨行星更重，卻又沒有足夠質量像普通恆星那樣靠氫聚變發光。論文採用的估計質量約為 **37 個木星質量**。

這顆褐矮星最初由直接造影發現，也就是說，望遠鏡能夠把它的光與主星的光分辨開來。在天空中，它與主星相距約 2.8 角秒。兩者之間的寬軌道約束很差，但現有估計認為，這是一條高度拉長的軌道，週期約 **5,000 年**。

如果週期訊號確實來自軌道運動，那麼候選天體會再向系統內部深入一級：恆星外面繞著一顆褐矮星，而這顆褐矮星本身又被一個行星質量伴體環繞。



如果訊號來自軌道運動，候選天體會位於這個可能層級系統的最內層。只有褐矮星本身已經被直接看見。它繞恆星的外軌道約束很差，而約 171 天的內部軌道則是根據褐矮星測得的擺動推斷出來的。圖中大小和距離均不按比例。

The Clean Paper CC BY 4.0

這樣的層級很容易畫出來，但它是否真實存在、應該叫什麼，卻都還沒有定論。一顆行星質量天體繞褐矮星運行，到底算衛星、行星，還是只應統稱為伴體？天文學界並沒有一個公認規則可以解決這個問題。因此，論文採用了更寬泛的 **exosatellite（系外伴體/衛星體）**一詞。

23 個夜晚如何變成一個「擺動」

團隊使用歐洲南方天文台甚大望遠鏡上的高解析度光譜儀 CRIRES+ 觀測 CD-35 2722 B（也可參見它在 NASA Eyes on Exoplanets 中的條目）。從 2023 年 10 月到 2026 年 2 月，他們一共獲得 26 個觀測時期。其中一個訊號太弱，另外兩個因天氣不佳被剔除並重做，最終留下 **23 個高質量夜晚**。

光譜儀會把光拆成精細的譜線圖樣。當光源朝地球靠近或遠離時，這些譜線會發生極其微小的位移。反覆測量這種沿視線方向的運動，就得到**徑向速度**。徑向速度並不會直接顯示隱藏天體；它顯示的是我們真正觀測到的天體是否受到某個看不見的重力源拉扯。

測量中最強的週期出現在約 170 天附近，並跨過了研究設定的 **0.1% 假警報機率門檻值**。這個門檻值問的是：在檢驗本身的假設成立時，純噪聲有多常見會產生至少這麼高的週期圖峰值。它並不等於「有 99.9% 機率存在一顆衛星」，更不能單獨告訴我們到底是一顆伴體還是兩顆。

徑向速度訊號能確定什麼？

徑向速度把光譜線反覆發生的微小位移，轉換成天體朝向或遠離觀察者運動的測量。如果這種模式反覆出現，可以用軌道方程進行擬合，從而推斷週期、被觀測天體擺動的幅度，以及伴體的最低質量。
但這種方法不會直接給伴體拍照。恆星或亞恆星大氣本身也可能改變譜線；觀測時間安排可能製造誤導性的週期；不同軌道結構還可能互相模仿。因此，「存在一個訊號」「這個訊號由什麼物理過程產生」「應該怎樣給推斷出的天體分類」，是三個不同問題。

在接受軌道解釋之前，觀測採樣本身值得仔細看。四個特別低的徑向速度測量對整體模式影響很大。它們分成兩對出現，論文報告當時觀測條件良好；作者還逐點刪除資料重新分析，沒有任何單獨一個資料點能獨自製造整個訊號。即便如此，可能的軌道相位仍只採樣了一部分。兩年多裡分散的 23 個夜晚，與連續覆蓋完全不是一回事。

作者還檢驗了一種「半年偽訊號」的可能。如果對地球自身運動變化或儀器線型的校正不夠完善，可能產生一個假的年度訊號，而不均勻採樣又可能把它混疊成半個地球年，也就是 **182.5 天**。

他們首選的週期是 **171.11 天**，不確定度為 +0.53/-0.36 天；作者報告指出，這與 182.5 天相差約 20 個標準差。他們還沒有發現這個訊號與地球運動、視寧度、大氣水汽或所檢查的儀器參數存在相關。這些都是重要的控制檢驗，使軌道解釋足夠有說服力，值得進一步建模；但這些控制本身還不能確定隱藏天體是什麼。

最簡單的軌道答案：一個伴體

在首選模型中，一個天體每 171.11 天沿一條偏心、也就是略微拉長的軌道繞褐矮星運行。擬合得到的軌道偏心率約為 **0.27**，半長軸約 **0.200 天文單位**——大約是地球與太陽平均距離的五分之一。

測得的擺動振幅約為 **每秒 318 米**。根據這段運動，模型給出的伴體最低質量約為**木星質量的 0.92 倍**。

這裡的「最低」非常重要。徑向速度只能測量軌道運動中朝向或遠離我們的那一部分。如果軌道幾乎側面對著我們，大部分運動都會投影到視線方向；如果軌道更接近正面對著我們，大量運動就發生在天空平面上，為了產生同樣大小的徑向速度擺動，真實伴體就必須更重。

天文學家把結果寫成 **m sin(i)**：質量乘以未知軌道傾角（觀察角度）的正弦。資料約束的是這個乘積，而不是質量本身。因此，約 0.92 個木星質量是一個下限，不是對天體真實質量的精確測量。

為什麼觀察角度會把質量藏起來？

想像你從側面看一條圓形跑道。跑步者會不斷朝你靠近、又離你遠去，這個方向的運動很容易測量。現在改為從正上方俯視同一條跑道：跑步者主要是在你的視野中橫向移動，朝你靠近或遠離的成分就很小。
徑向速度只能看到第一種運動分量。數學因子 `sin(i)` 描述軌道運動中有多少投影到我們的視線方向。在傾角 `i` 尚未知時，由徑向速度推斷出的質量只能是最低質量。

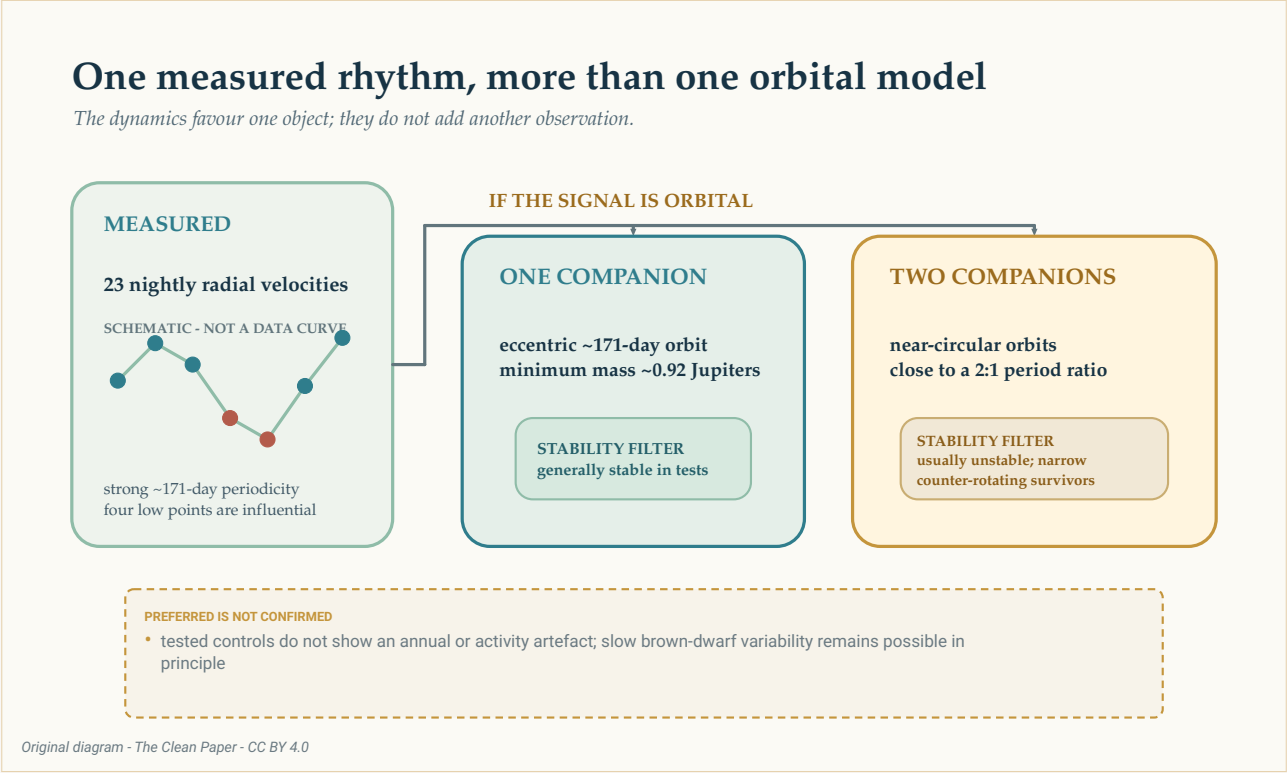
隨後，作者檢驗這種軌道是否能長期存在，而不是很快因動力學不穩定而破壞。數值測試發現，單伴體模型總體上是穩定的。這說明它是對訊號的一種物理上可行的解釋，但並不構成「第二次偵測」。

麻煩的答案：兩個伴體也能模仿一個

偏心軌道的徑向速度訊號存在一種已知歧義。在某些條件下，兩顆沿近圓軌道運行的天體，如果其中一顆的週期大約是另一顆的兩倍，它們疊加後的訊號會很像一顆天體沿偏心軌道運行。

這裡就出現了這種歧義。雙伴體模型同樣可以擬合當前資料：外側訊號約 171 天，內側還有一個較短週期訊號。由於觀測時間沒有均勻覆蓋所有相位，較短週期存在多個混疊解。23 個被選中的夜晚之間有很長空檔，因此不同試探週期可以在兩次觀測之間容納不同數量的「看不見的完整週期」，卻仍然與同一組資料對齊。於是，約 14、70、88 和 115 天這些候選週期，並不是四個獨立檢測出的節律，而只是同一個採樣不足的短週期訊號的不同擬合方案。

作者排除了約 13–17 天這個約束很差的窗口。在這個區間裡，擬合無法鎖定一個有說服力的週期：20 天以下有很多彼此接近的解都能重現低頻採樣資料，因此整個窗口更可能只是採樣偽影。在剩餘窗口中，約 88 天的方案比約 70 天和 115 天方案擬合得更好，但還遠不足以讓論文聲稱發現了第二個已知週期。在表格中的最佳雙伴體擬合裡，外側天體最低質量約為 0.87 個木星質量，內側約為 0.22 個木星質量。這些數字描述的是一個不受青睞的模型，並不是對兩個已確認天體的測量。



如果約 171 天的訊號來自軌道運動，同一種大致相同的徑向速度模式既可以由一顆偏心軌道伴體表示，也可以由兩顆週期接近 2:1 的近圓軌道伴體表示。穩定性測試更支持單天體解釋，但它不會把模型變成直接影像，也不能排除所有形式的褐矮星長期變化。

The Clean Paper CC BY 4.0

穩定性計算進一步拉開了兩種解釋的差距。大多數測試過的雙伴體結構都會在幾百個模擬年內把其中一個天體彈出系統。能夠存活的結構只佔一個狹窄而反常的區域：兩條軌道幾乎在同一平面，卻朝相反方向運行。主星的存在還會帶來額外的不穩定區域。

因此，這是偏好「一顆偏心伴體」而不是這些已測試雙伴體系統的一個理由。但它並不能證明大自然一定選擇了更簡單的模型。穩定性分析是在徑向速度已經測得之後，用來篩掉部分可能解釋；它不會在曲線上增加新的觀測點。

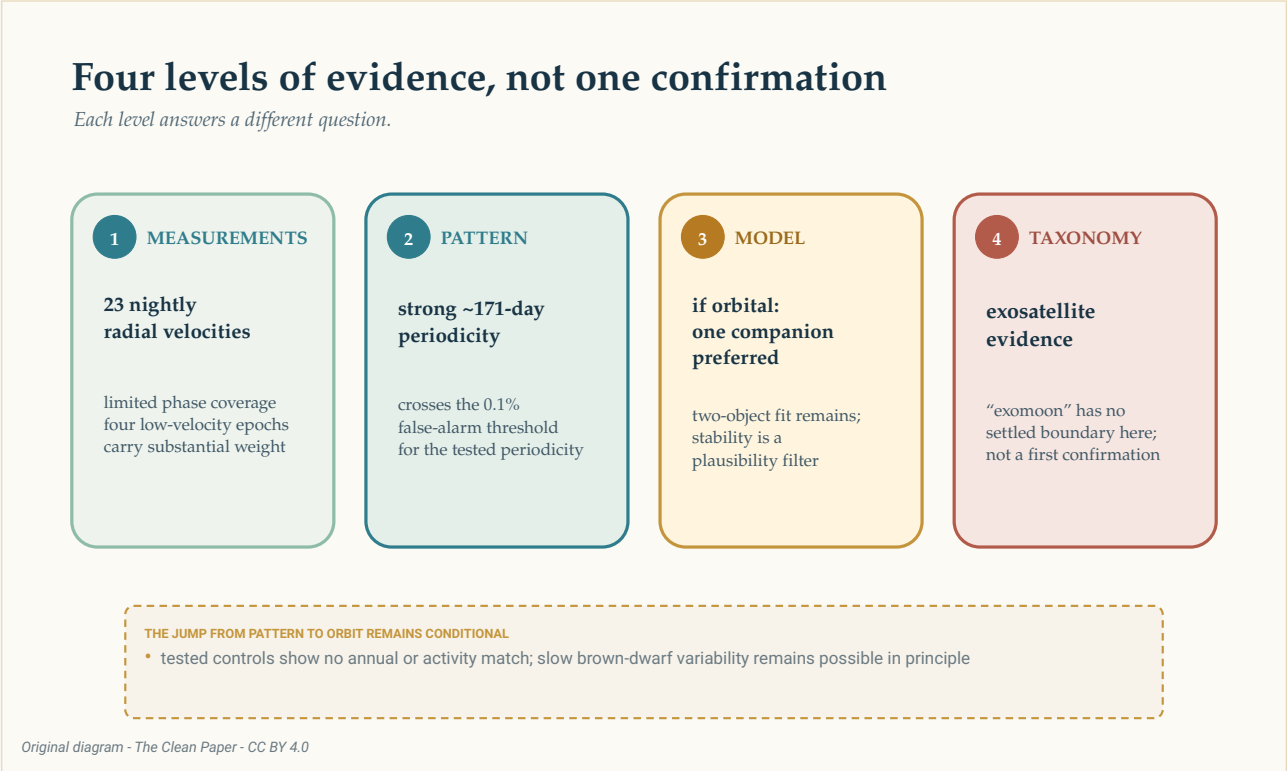
> **為什麼一條偏心軌道會看起來像兩條圓軌道？**
>
> 理想圓軌道會產生簡單、重複的徑向速度波形。偏心軌道會在這個波形上增加一些畸變。如果兩條圓軌道的週期接近 2:1，它們的訊號疊加後，可以由一個提供主要節律、另一個提供近似的畸變。
> 這叫作**軌道簡並**：不同的物理系統會產生相似的測量結果。在那些不同模型預言速度不同的時間點繼續觀測，就有機會打破這種平局。動力學測試可以進一步問每種候選系統能否長期存活，但它不能替代新的觀測。

這個節律會不會來自褐矮星自己？

褐矮星不是一個靜默的試驗質量。它的大氣會自轉、形成雲層，也可能存在磁活動。表面結構隨時間變化，可以改變譜線形狀，從而偽裝成運動。

CD-35 2722 B 的估計最大自轉週期約為 **0.65 天**，遠短於 171 天。團隊在所測試的活動模型中，沒有恢復出很強的短期自轉訊號，也沒有找到有說服力的雲層或顆粒對流類似訊號。他們還檢查了年度採樣和多項儀器量，同樣沒有發現與 171 天節律相匹配的來源。

這些檢查縮小了替代解釋的空間，但論文並沒有宣稱所有內稟變化都已排除。原則上，褐矮星內部長期尺度的磁活動或大氣環流仍不能被排除。這個剩餘可能性應該和軌道模型一起擺在桌面上，而不是藏在結論之後。



證據分成清楚的幾個層級：23 個夜晚、軌道相位覆蓋有限的徑向速度；一個很強的約 171 天週期；如果訊號來自軌道運動，則首選單伴體模型；最後，「系外衛星」這個分類標籤本身仍沒有定論。這個階梯區分了測量、統計模式、物理解釋和分類學，並不是一支指向「已確認」的箭頭。

The Clean Paper CC BY 4.0

它算是一顆系外衛星嗎？

在太陽系裡，衛星繞行星運行。CD-35 2722 B 是褐矮星，而推斷伴體的真實質量還不知道。當一個天體靠近「行星—褐矮星」邊界，另一個又靠近「衛星—行星」邊界時，我們熟悉的名稱開始顯得勉強。

論文沒有宣稱發現了第一顆已確認系外衛星。它指出目前還沒有任何系外衛星得到令人信服的偵測，隨後給出一顆行星質量 **exosatellite** 的證據，並把這個系統稱為走向無爭議偵測的一步。論文討論「是否可能是首次」時也始終帶著條件：前提是這個訊號最終證明真實可靠。

這種謹慎並不會讓結果失去意義。直接從一個暗淡的褐矮星伴體本身測量徑向速度非常困難。如果後續觀測繼續保留這一訊號，它將說明常用於尋找行星的方法可以再深入天體層級一層。

再增加一個觀測季，不只是「多幾個點」而已。單伴體和雙伴體模型在未來某些特定時間會預言不同速度。在缺失軌道相位上補測，可以檢驗 171 天節律是否持續存在，降低那四個低速度點的影響，並讓彼此競爭的曲線真正分開。

因此，現在最誠實的圖景並不是「一顆新衛星掛在褐矮星旁邊」。它是一份又一夜重複測量的光譜，其中帶著一個很小卻週期性的位移。這個節律裡可能藏著一個世界。真正的成果，是我們已經能從中推斷出這麼多，同時還不假裝推斷已經完成。

重點摘要

天文學家在 2023 年 10 月至 2026 年 2 月之間的 23 個高質量夜晚，對直接造影發現的褐矮星 CD-35 2722 B 測量了徑向速度。它的光譜線顯示一個很強的約 171 天週期位移。首選軌道模型包含一顆偏心軌道伴體，最低質量約為木星的 0.92 倍，但由於軌道傾角未知，真實質量也未知。兩顆近圓軌道伴體可以模仿同樣的大體訊號，不過測試過的大多數雙天體結構都在動力學上不穩定。四個低速度觀測時期影響較大，軌道相位覆蓋仍然有限：這些觀測只採到了可能的 171 天週期中的部分區間，並沒有連續追蹤完整相位。測試沒有把自轉、年度採樣、天氣或所檢查的儀器參數識別為訊號來源，但原則上仍不能排除褐矮星的長期變化。隱藏天體沒有被直接造影；單天體模型只是首選而不是已確認；而「行星質量天體繞褐矮星運行是否應該叫系外衛星」，也沒有統一規則。

務實檢視

實際觀測到了什麼： CD-35 2722 B 的 23 個夜晚徑向速度測量中存在一個很強的約 171 天週期。褐矮星本身是直接造影看到的；假設中的伴體不是。

作者首選什麼解釋：如果訊號來自軌道運動，那麼一顆最低質量接近木星、沿偏心軌道運行的伴體，是當前資料最簡單、動力學上也可行的解釋。

什麼仍然沒有解決：兩顆伴體也能擬合徑向速度，儘管測試過的系統通常不穩定；原則上沒有排除褐矮星長期變化；未知的觀察傾角也使伴體真實質量無法確定。

論文沒有確立什麼：第一顆已確認的系外衛星；一顆被直接看見的衛星；系統中恰好只有一個軌道天體；真實質量就是 0.92 個木星質量；或者首選物理模型有 99.9% 的機率正確。

什麼會提高信心：繼續做徑向速度測量，覆蓋更多軌道相位，檢驗 171 天訊號是否持續，並在單伴體與雙伴體模型預言不同的時間點進行觀測。

來源

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