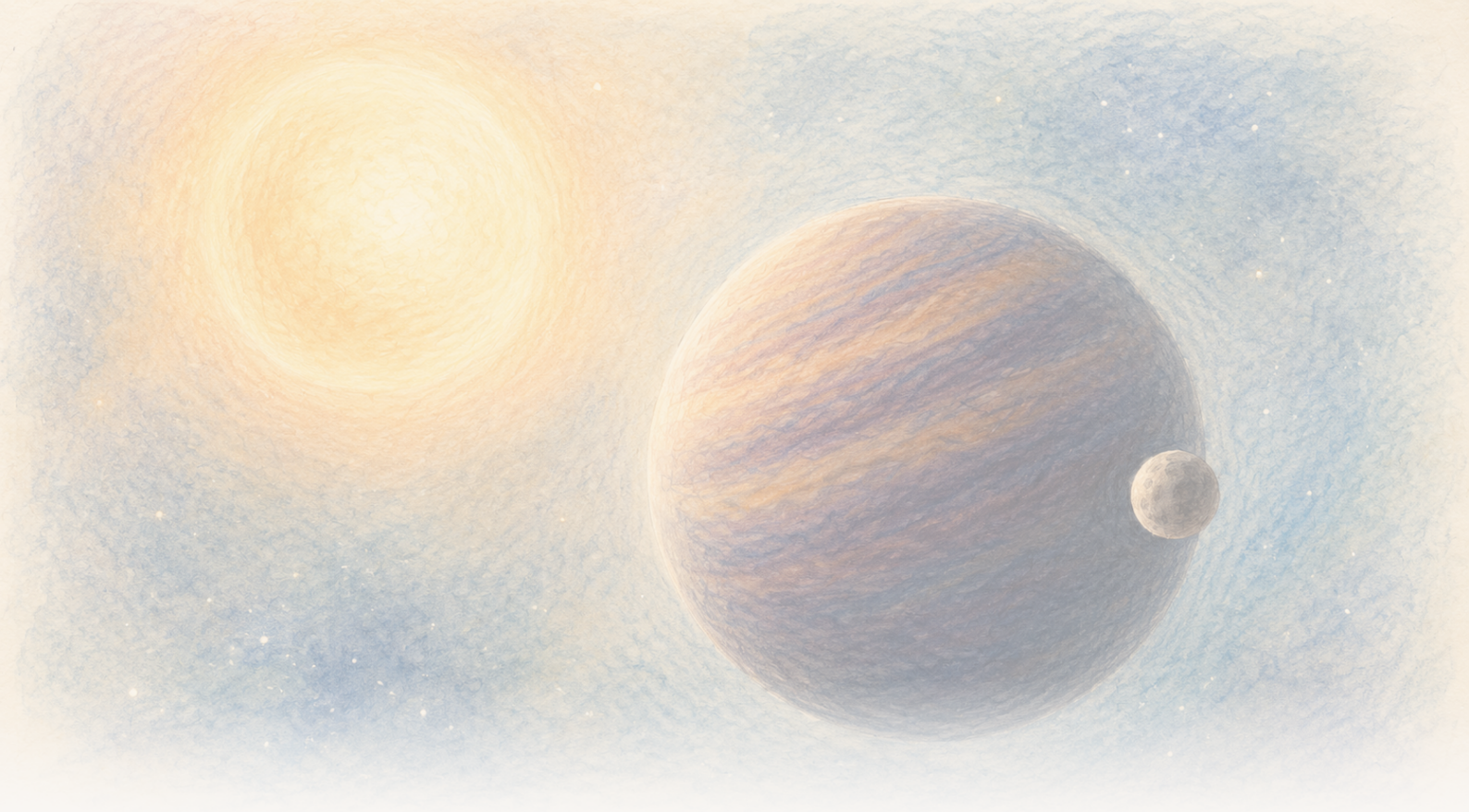


The Clean Paper

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

'n Bruindwerg lyk asof dit elke 171 dae waggel. Een verborge wêreld trek moontlik daaraan, maar die data laat steeds twee toe

Drie-en-twintig spektra van hoë gehalte onthul 'n sterk periodieke verskuiwing in die beweging van CD-35 2722 B. Die voorkeurmodel is een eksentrieke metgesel met 'n minimum massa naby Jupiter s'n, maar 'n tweevoorwerpmodel kan dieselfde sein naboots, stadige bruindwergveranderlikheid bly in beginsel moontlik en die woord 'eksomaan' het hier geen gevestigde grens nie.

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

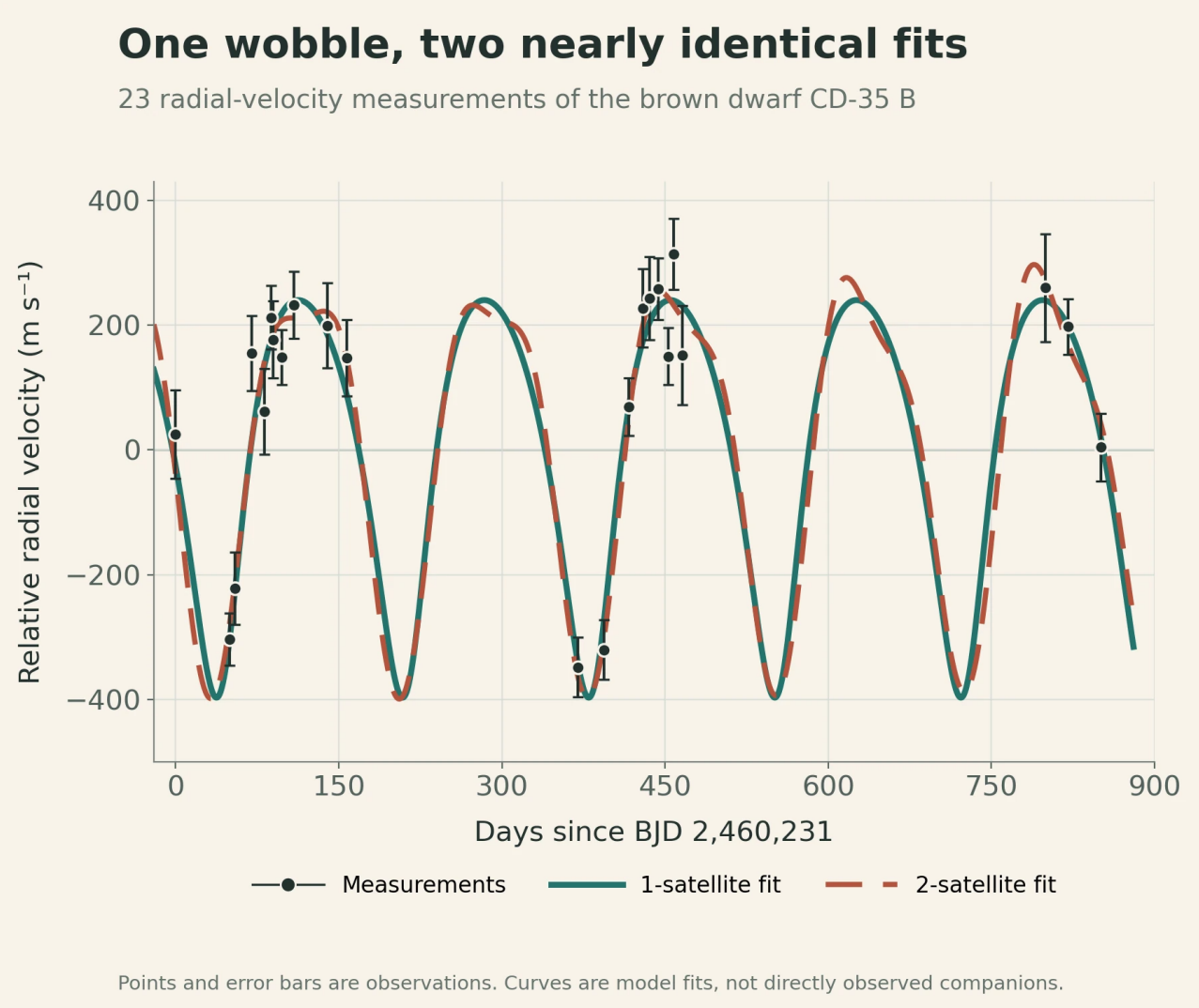
’n Bruindwerg lyk asof dit elke 171 dae waggel. Een verborge wêreld trek moontlik daaraan, maar die data laat steeds twee toe

Sterrekundiges kan CD-35 2722 B as sy eie ligpunt sien, apart van die ster waarom dit beweeg. Dit is ’n bruindwerg, in die massareeks tussen reusplanete en sterre: met ongeveer 37 Jupitermassas is dit massiewer as ’n tipiese reusplaneet, maar nie ’n gewone waterstofbrandende ster nie. Hulle kan nie die kleiner voorwerp sien wat moontlik om die bruindwerg self wentel nie. As dit bevestig word, sou daardie binneste voorwerp hiervan die eerste waargenome hiërargie maak van ’n satelliet rondom ’n groter substellêre voorwerp wat self om ’n ster wentel.

Wat hulle eerder sien, is ’n ritme. Op sommige nagte is die bruindwerg se lig effens verskuif terwyl dit na die aarde toe beweeg. Op ander nagte is dit verskuif terwyl die bruindwerg wegbeweeg. Die patroon herhaal ongeveer elke **171 dae**.

Daardie heen-en-weer-beweging is wat ’n onsigbare metgesel kan veroorsaak: wanneer twee voorwerpe om ’n gedeelde massamiddelpunt wentel, beweeg die kleiner een om die groter, maar die groter een maak ook ’n veel kleiner lus. As hierdie ritme orbitaal is, bied ’n nuwe Nature-artikel een voorwerp met planetêre massa as die voorkeurverklaring vir die lus wat rondom CD-35 2722 B gemeet is.

Dit is ’n merkwaardige moontlikheid, nie ’n foto van ’n maan nie. Drie-en-twintig waarnemingsnagte van hoë gehalte toon ’n sterk periodieke sein. Om daardie sein in ’n wêreld te verander, verg ’n model, en die huidige data laat steeds meer as een argitektuur toe. Hulle sluit ook nie stadige veranderinge in die bruindwerg self heeltemal uit nie.



Die swart punte en foutstawe is die 23 nagtelike radialesnelheidsmetings. Die soliede en gestreepte krommes is die beste passende een- en tweesatellietmodelle. Hul byna-volledige oorvleueling toon waarom die data ’n periodieke waggel kan onthul sonder om reeds die stelsel se argitektuur te bepaal; geen kromme is ’n direkte beeld van ’n metgesel nie.

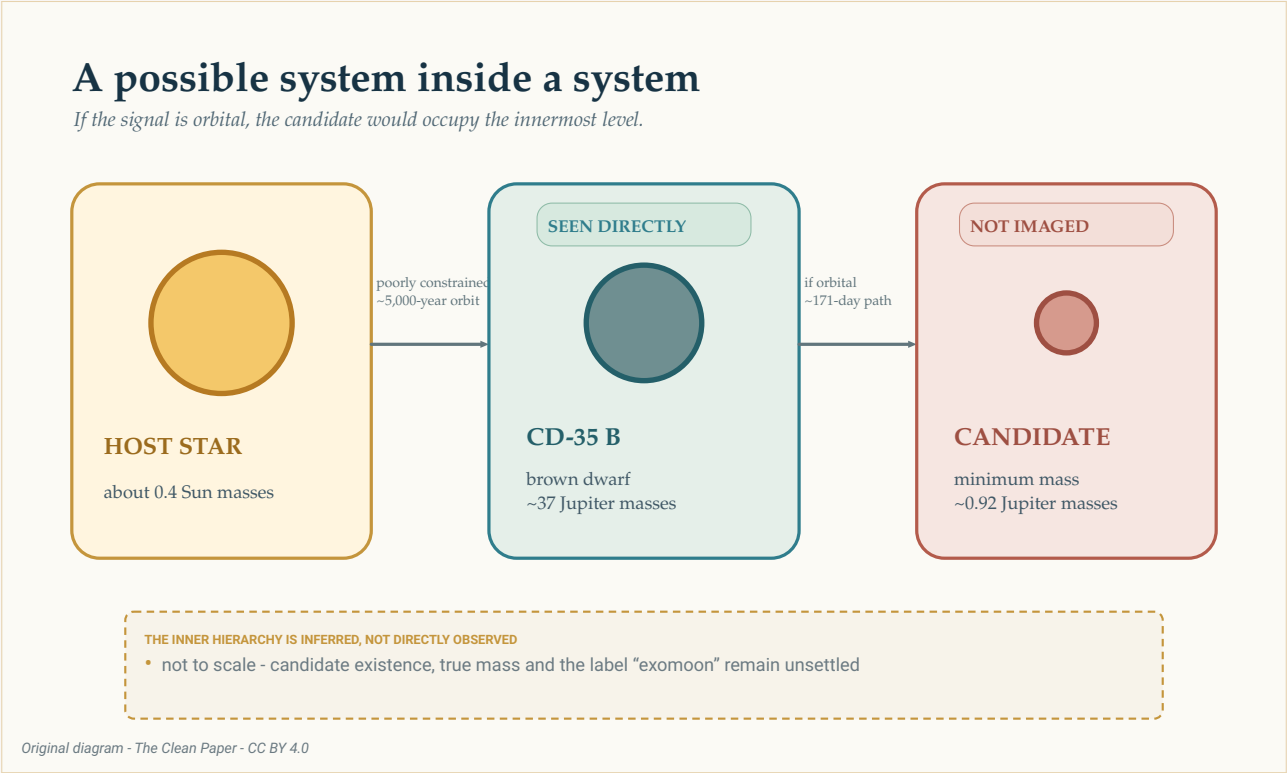
Original chart — The Clean Paper; data from Hoy et al., Nature (2026), Figure 1 source workbook CC BY 4.0

’n Stelsel binne ’n stelsel

CD-35 2722 B is ’n **bruindwerg**: ’n voorwerp tussen bekende kategorieë. Dit is massiewer as ’n tipiese reusplaneet maar nie massief genoeg om soos ’n gewone waterstofbrandende ster te skyn nie. Die artikel gebruik ’n beraamde massa van ongeveer **37 Jupiters**.

Die bruindwerg is deur direkte beeldvorming ontdek, wat beteken teleskope het sy lig afsonderlik van dié van sy gasheerster opgelos. Dit verskyn ongeveer 2,8 boogsekondes van die ster af aan die hemel. Die wye baan wat die paar verbind, is swak bekend, maar huidige skattings dui op ’n sterk uitgerekte pad wat ongeveer **5 000 jaar** neem.

As die periodieke sein orbitaal is, sou die afgeleide argitektuur die kandidaat een vlak dieper plaas: ’n ster waarom ’n bruindwerg wentel, met ’n metgesel van planetêre massa wat om daardie bruindwerg wentel.



As die sein orbitaal is, sou die kandidaat die binneste vlak van hierdie moontlike hiërargie inneem. Slegs die bruindwerg is direk gesien. Die buitenste baan om die ster is swak beperk, terwyl die binneste pad van ongeveer 171 dae uit die bruindwerg se gemete waggel afgelei word. Groottes en afstande is nie volgens skaal nie.

The Clean Paper CC BY 4.0

Daardie moontlike hiërargie is maklik om te teken. Die fisiese werklikheid en woordeskat daarvan is nie gevestig nie. Tel ’n voorwerp met planetêre massa wat om ’n bruindwerg wentel as ’n maan, ’n planeet of bloot ’n satelliet? Sterrekundiges het geen aanvaarde reël wat die vraag beslis nie. Die artikel gebruik daarom die breër woord **eksosatelliet**.

Hoe 23 nagte ’n waggel geword het

Die span het CD-35 2722 B (sien sy NASA Eyes on Exoplanets-inskrywing) waargeneem met CRIRES+, ’n hoëresolusie-spektrograaf op die Europese Suidelike Sterrewag se Very Large Telescope. Tussen Oktober 2023 en Februarie 2026 het hulle 26 waarnemingsepisodes verkry. Een het te min sein gehad, en twee wat in swak weer geneem is, is verwerp en herhaal, wat **23 nagte van hoë gehalte** gelaat het.

’n Spektrograaf versprei lig in ’n gedetailleerde patroon van lyne. Wanneer die bron na die aarde toe of daarvan weg beweeg, verskuif daardie lyne met ’n baie klein hoeveelheid. Herhaalde metings van hierdie beweging langs die siglyn word **radiale snelhede** genoem. Hulle toon nie die verborge

liggaam nie. Hulle toon hoe die liggaam wat waargeneem word moontlik onder ’n onsigbare trekkrag beweeg.

Die sterkste periodisiteit in die metings lê naby 170 dae. Dit oorskry die studie se **0,1%-vals-alarmwaarskynlikheidsdrempel**. Daardie drempel vra hoe dikwels geraas, onder die toets se aannames, ’n periodograampiek minstens so sterk sou oplewer. Dit is nie ’n 99,9%-waarskynlikheid dat ’n satelliet bestaan nie, en dit sê op sigself niks oor of daar een metgesel of twee is nie.

> **Wat kan ’n radialesnelheidsein vasstel?**
>
> Radiale snelheid verander herhaalde verskuiwings in spektrale lyne in metings van beweging na en weg van die waarnemer. ’n Herhalende patroon kan met die vergelykings van ’n baan gepas word, wat navorsers toelaat om ’n periode, die grootte van die gemete waggel en ’n minimum metgeselmassa af te lei.
> Die metode fotografeer egter nie die metgesel direk nie. ’n Ster- of substellêre atmosfeer kan ook spektrale lyne verskuif, waarnemingskedules kan misleidende ritmes skep, en verskillende baanrangskikkings kan mekaar naboots. Die sein, sy fisiese verklaring en die naam wat aan die afgeleide voorwerp gegee word, is afsonderlike vrae.

Die monsterneming verdien aandag vóór die baanantwoord. Vier besonder lae radialesnelheidsmetings dra aansienlike gewig in die patroon. Hulle het in twee pare voorgekom, onder gerapporteerde goeie toestande, en geen enkele een het die sein geskep toe die outeurs die ontleding herhaal het nadat hulle telkens een punt verwyder het nie. Tog is slegs ’n deel van die moontlike baanfases bemonster. Drie-en-twintig nagte oor meer as twee jaar is nie dieselfde as deurlopende dekking nie.

Die outeurs het ook ’n moontlike halfjaarartefak getoets. ’n Onvolmaakte regstelling vir die aarde se veranderende beweging of die instrumentprofiel kan ’n vals jaarlikse sein skep wat deur die monsterneming na ’n halwe aardjaar, oftewel **182,5 dae**, gealiasseer word. Hul voorkeurperiode is **171,11 dae**, met ’n onsekerheid van +0,53/-0,36 dae; die outeurs rapporteer dat dit ongeveer 20 standaardafwykings van 182,5 dae af is. Hulle rapporteer ook geen korrelasie met die aarde se veranderende beweging, sigtoestande, atmosferiese waterdamp of die instrumenteienskappe wat hulle ondersoek het nie. Dit is belangrike kontroles. Hulle maak ’n orbitale verklaring oortuigend genoeg om te modelleer, maar identifiseer nie die voorwerp op hul eie nie.

Die eenvoudigste baanantwoord: een metgesel

In die voorkeurmodel volg een voorwerp elke 171,11 dae ’n eksentrieke, of ietwat uitgerekte, baan om die bruindwerg. Die gepaste baan het ’n eksentrisiteit van ongeveer **0,27** en ’n halwe hoofas van ongeveer **0,200 astronomiese eenhede**—ongeveer een vyfde van die gemiddelde aarde-Son-afstand.

Die gemete waggel het ’n amplitude van ongeveer **318 meter per sekonde**. Uit daardie beweging gee die model die metgesel ’n minimum massa van ongeveer **0,92 keer Jupiter se massa**.

Die woord *minimum* maak saak. Radiale snelheid meet slegs die deel van die baanbeweging wat na

en weg van ons gerig is. As ’n baan rand-op gesien word, verskyn die meeste van sy beweging langs daardie lyn. As dit meer vlak-op gesien word, beweeg baie van die beweging oor die hemel, en ’n massiewer metgesel sou nodig wees om dieselfde gemete waggel te veroorsaak.

Sterrekundiges skryf die resultaat as **m sin(i)**: massa vermenigvuldig met die sinus van die baan se onbekende inklinasie, of kykhoek. Die data beperk daardie produk, nie die ware massa op sigself nie. Ongeveer 0,92 Jupitermassas is dus ’n onderste grens, nie ’n meting van die voorwerp se presiese massa nie.

> **Waarom verberg die kykhoek massa?**
>
> Stel jou voor jy kyk van die kant af na ’n sirkelbaan. Die hardloper beweeg herhaaldelik na jou toe en van jou af, sodat daardie komponent van beweging maklik gemeet kan word. Kyk nou van bo af na dieselfde baan. Die hardloper beweeg meestal dwars oor jou gesigsveld en skaars na jou toe of van jou af.
> Radiale snelheid sien slegs die eerste komponent. Die wiskundige faktor `sin(i)` beskryf hoeveel van die baanbeweging langs ons siglyn wys. Totdat die inklinasie `i` bekend is, bly die afgeleide massa ’n minimum.

Die outeurs het daarna gevra of hierdie baan kan voortbestaan eerder as om homself vinnig te vernietig. Hul numeriese toetse het bevind dat die eenmetgeselmodel oor die algemeen stabiel is. Dit maak dit ’n fisies geloofwaardige interpretasie van die sein. Dit is nie ’n tweede opsporing nie.

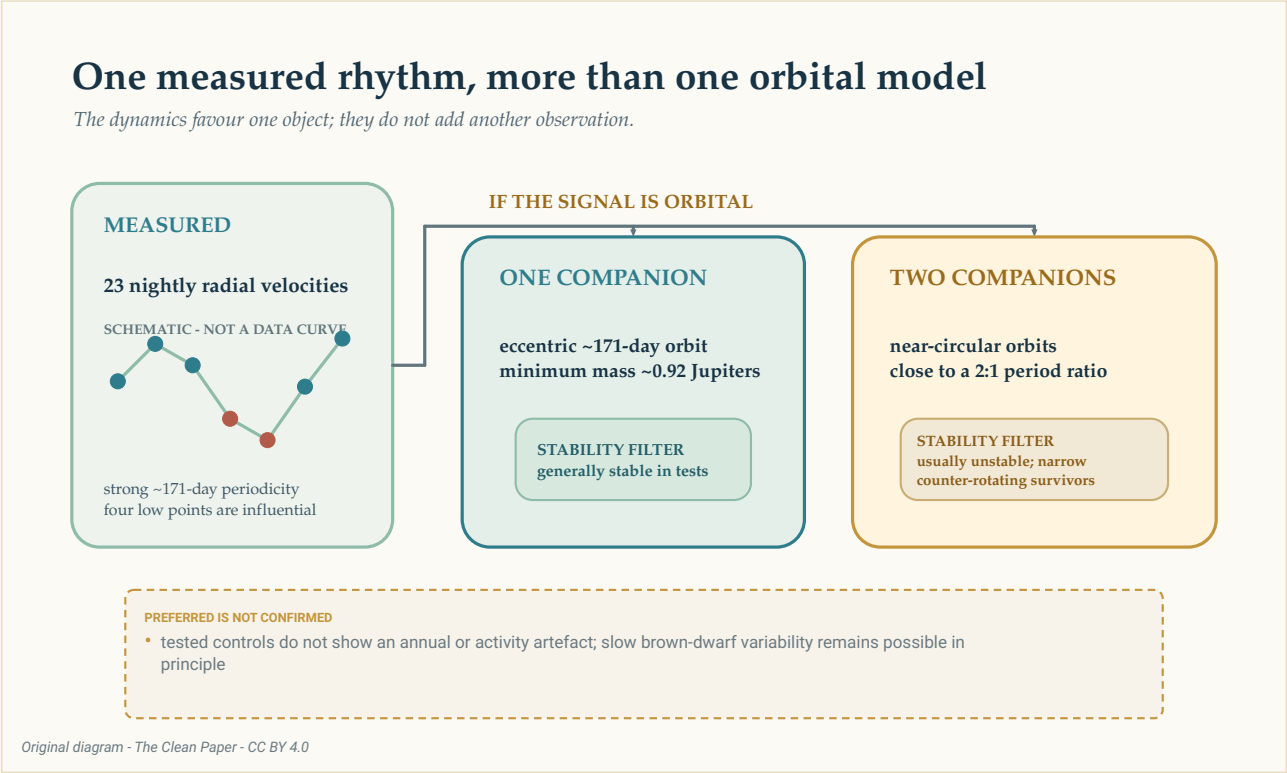
Die ongemaklike antwoord: twee metgeselle kan een naboots

’n Eksentrieke radialesnelheidsein het ’n bekende dubbelsinnigheid. Onder sekere toestande kan twee voorwerpe in byna sirkelvormige bane, waarvan die een ongeveer twee keer so lank as die ander neem, ’n gekombineerde patroon lewer wat soos een voorwerp op ’n uitgerekte baan lyk.

Daardie dubbelsinnigheid verskyn hier. ’n Tweemetgeselmodel kan die huidige metings pas met ’n buitenste sein naby 171 dae en ’n binneste sein met ’n korter periode. Omdat die waarnemingstye nie elke fase eweredig bemonster nie, het die korter sein verskeie aliasse. Omdat die 23 geselekteerde nagte lang gapings laat, kan verskillende proefperiodes verskillende getalle onsigbare siklusse tussen besoeke tel en steeds met dieselfde metings belyn. Die kandidaatperiodes naby 14, 70, 88 en 115 dae is dus alternatiewe passings vir een swak bemonsterde korter sein, nie vier onafhanklik opgespoorde ritmes nie.

Die outeurs verwerp die swak beperkte venster van 13 tot 17 dae. In daardie streek isoleer die passing nie een oortuigende periode nie: baie dig gespasieerde oplossings onder ongeveer 20 dae kan die lae-kadensmetings reproduseer, wat die hele venster waarskynlik ’n monsternemingsartefak maak. Onder die oorblywende vensters pas die oplossing van ongeveer 88 dae beter as die alternatiewe van ongeveer 70 en 115 dae, maar nie goed genoeg dat die artikel ’n bekende tweede periode kan opeis

nie. In die getabelleerde beste passing is die buitenste voorwerp se minimum massa ongeveer 0,87 Jupitermassas en die binneste s'n ongeveer 0,22 Jupitermassas. Daardie getalle beskryf 'n model wat nie voorkeur geniet nie; hulle is nie metings van twee gevestigde wêrelde nie.



As die sein van ongeveer 171 dae orbitaal is, kan dieselfde breë radialesnelheidspatroon voorgestel word deur een eksentrieke metgesel of deur twee byna sirkelvormige metgeselle naby 'n twee-tot-een-periodeverhouding. Stabiliteitstoetse bevoordeel die eenvoorwerpinterpretasie, maar verander nie 'n model in 'n beeld of sluit elke vorm van stadige bruindwergveranderlikheid uit nie.

The Clean Paper CC BY 4.0

Die stabiliteitsberekeninge maak die vergelyking skerper. Die meeste getoetste tweemetgesel-rangskikkings het een voorwerp binne 'n paar honderd gesimuleerde jare uitgewerp. Die oorlewende konfigurasies het 'n nou en ongewone gebied beset waarin die bane naby dieselfde vlak was maar in teenoorgestelde rigtings beweeg het. Die gasheerster het verdere onstabiele gebiede ingebring.

Dit is 'n rede om een eksentrieke metgesel bo die getoetste tweemetgeselstelsels te verkies. Dit is nie bewys dat die natuur die eenvoudiger model gekies het nie. Stabiliteit filtreer moontlike interpretasies nadat die radiale snelhede gemeet is; dit voeg nie nog 'n waargenome punt by die kromme nie.

Hoe kan een eksentrieke baan soos twee sirkelvormige bane lyk?

'n Volmaakte sirkelbaan lewer 'n eenvoudige herhalende radialesnelheidsgolf. 'n Eksentrieke baan voeg vervormings by daardie golf. Twee sirkelvormige bane met periodes naby 'n twee-tot-een-verhouding kan kombineer sodat een sein die hoofritme verskaf en die ander 'n

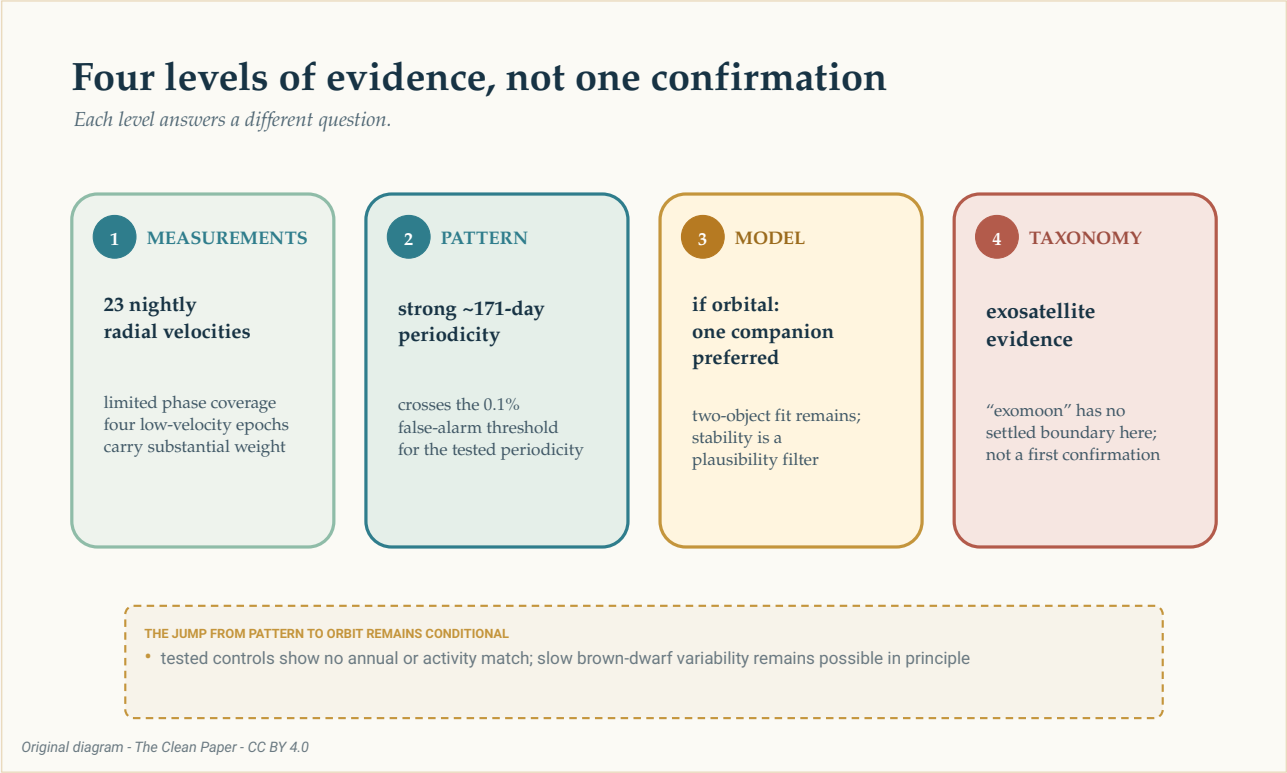
> soortgelyke vervorming.
> Dit is ’n **orbitale degenerasie**: verskillende fisiese stelsels lewer soortgelyke metings. Meer waarnemings op tye wanneer die modelle verskillende snelhede voorspel, kan die gelykopuitslag breek. ’n Dinamikatoets help deur te vra of elke voorgestelde stelsel kan oorleef, maar kan nie daardie waarnemings vervang nie.

Kan die ritme uit die bruindwerg kom?

’n Bruindwerg is nie ’n stil toetsmassa nie. Sy atmosfeer roteer, vorm wolke en kan magnetiese aktiwiteit hê. Veranderende oppervlakpatrone kan spektrale lyne hervorm en beweging naboots.

CD-35 2722 B se beraamde maksimum rotasieperiode is ongeveer **0,65 dae**, veel korter as 171 dae. Die span het nie ’n sterk kort rotasiesein, of ’n oortuigende wolk- of granulasieagtige sein, in die aktiwiteitsmodelle wat hulle getoets het teruggevind nie. Hulle het ook jaarlikse monsterneming en instrumentele groothede ondersoek sonder om ’n passing met die 171-dae-ritme te vind.

Daardie kontroles vernou die alternatiewe, maar die artikel beweer nie dat alle intrinsieke veranderlikheid uitgeskakel is nie. Langtermynmagnetiese aktiwiteit of atmosferiese sirkulasie in die bruindwerg kan in beginsel nie uitgesluit word nie. Daardie oorblywende moontlikheid hoort langs die orbitale modelle, nie versteek ná hulle nie.



Die bewyse styg deur afsonderlike vlakke: 23 nagtelike radiale snelhede met beperkte fasedekking, ’n sterk periodisiteit van ongeveer 171 dae, ’n voorkeur-eenmetgeselmodel as die sein orbitaal is, en uiteindelik ’n

onbesliste “eksomaan”-etiket. Die leer skei meting, statistiese patroon, fisiese interpretasie en taksonomie; dit is nie ’n bevestigingspyl nie.

The Clean Paper CC BY 4.0

Is dit ’n eksomaan?

In die Sonnestelsel wentel ’n maan om ’n planeet. CD-35 2722 B is ’n bruindwerg, en die afgeleide metgesel se ware massa is nog nie bekend nie. Bekende name begin rek wanneer een voorwerp naby die planeet-bruindwerggrens lê en ’n ander naby die maan-planeetgrens.

Die artikel beweer nie die eerste bevestigde eksomaan nie. Dit sê dat geen eksomaan nog met vertroue opgespoor is nie, bied bewyse vir ’n **eksosatelliet** met planetêre massa, en noem die stelsel ’n stap na ’n onbetwisbare opsporing. Sy bespreking van moontlike nuutheid begin voorwaardelik: indien die sein eg blyk te wees.

Daardie versigtigheid maak die resultaat nie leeg nie. Dit is moeilik om radiale snelhede direk van ’n dowwe bruindwergmetgesel te meet. As voortgesette waarnemings die sein behou, sou die stelsel toon dat planeetsoekmetodes nog ’n vlak laer in ’n hemelse hiërargie kan bereik.

Nog ’n waarnemingseisoen kan meer doen as om punte by te voeg. Die een- en tweemetgeselmodelle voorspel verskillende snelhede op spesifieke toekomstige tye. Metings wat die ontbrekende baanfases invul, kan toets of die 171-dae-ritme voortduur, die invloed van die vier lae punte verminder en die mededingende krommes laat uiteenloop.

Vir nou is die eerlikste beeld nie ’n nuwe maan wat langs ’n bruindwerg hang nie. Dit is ’n spektrum, nag ná nag herhaal, wat ’n klein periodieke verskuiwing dra. Daar kan ’n wêreld binne daardie ritme wees. Die prestasie is om te leer hoeveel daaruit afgelei kan word sonder om voor te gee dat die afleiding reeds voltooi is.

Kortliks

Sterrekundiges het die radiale snelheid van die direk afgebeelde bruindwerg CD-35 2722 B op 23 nagte van hoë gehalte tussen Oktober 2023 en Februarie 2026 gemeet. Sy spektrale lyne toon ’n sterk periodieke verskuiwing naby 171 dae. Die voorkeur-baanmodel bevat een eksentrieke metgesel met ’n minimum massa naby 0,92 Jupitermassas, maar die ware massa is onbekend omdat die baaninklinasie onbekend is. Twee byna sirkelvormige metgeselle kan dieselfde breë sein naboots, hoewel die meeste getoetste tweevoorwerpkonfigurasies dinamies onstabiel was. Vier episodes met lae snelheid is invloedryk en baanfasedekking bly beperk: die waarnemings bemonster slegs geselekteerde dele van die moontlike 171-dae-siklus eerder as om dit deurlopend deur elke fase te volg. Toetse het nie rotasie, jaarlikse monsterneming, weer of ondersoekte instrumenteienskappe as die bron geïdentifiseer nie, maar langtermyn-bruindwergveranderlikheid kan in beginsel nie uitgesluit word nie. Die onsigbare voorwerp is nie direk afgebeeld nie, die eenvoorwerpmodel geniet voorkeur eerder

as bevestiging, en daar is geen gevestigde reël wat sê dat ’n liggaam met planetêre massa wat om ’n bruindwerg wentel ’n eksomaan is nie.

Nugtere beoordeling

Wat waargeneem is: Drie-en-twintig nagtelike radialesnelheidsmetings van CD-35 2722 B bevat ’n sterk periodisiteit van ongeveer 171 dae. Die bruindwerg self is direk afgebeeld; die voorgestelde metgesel nie.

Wat die outeurs verkies: As die sein orbitaal is, bied een eksentrieke metgesel met ’n minimum massa naby Jupiter s’n die eenvoudigste dinamies geloofwaardige interpretasie van die huidige data.

Wat oop bly: Twee metgeselle kan die radiale snelhede pas, hoewel die getoetste stelsels gewoonlik onstabiel is; langtermyn-bruindwergveranderlikheid is nie in beginsel uitgesluit nie; en die onbekende kykhoek laat die ware metgeselmassa onbepaald.

Wat die artikel nie vasstel nie: ’n Eerste bevestigde eksomaan, ’n direk gesiene satelliet, presies een wentelende voorwerp, ’n ware massa van 0,92 Jupitermassas, of ’n 99,9%-waarskynlikheid dat die voorkeur-fisiese model korrek is.

Wat vertroue sou verhoog: Voortgesette radialesnelheidsmetings wat meer baanfases dek, toets of die 171-dae-sein voortduur en tye bemonster wanneer die een- en tweemetgeselmodelle verskillende voorspellings maak.

Bronne

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