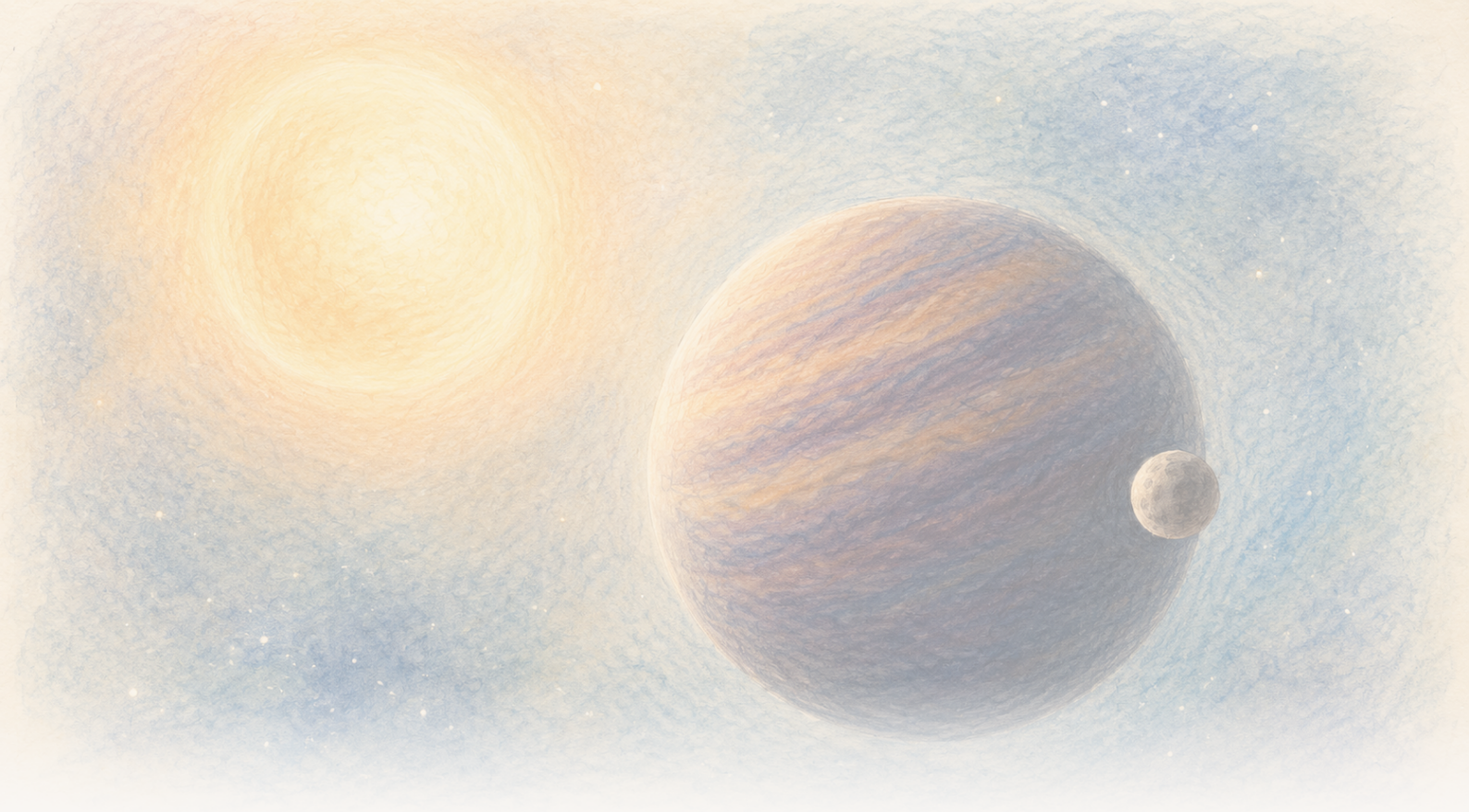


The Clean Paper

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

Brúnn dvergur virðist vagga á 171 dags fresti. Einn hulinn heimur gæti togað í hann — en gögnin leyfa enn tvo

Tuttugu og þrjú hágæða litróf sýna sterka lotubundna hliðrun í hreyfingu CD-35 2722 B. Ákjósanlega líkanið er einn sporöskjulaga fylgihlutur með lágmarksmassa nálægt massa Júpíters, en tveggja-hluta líkan getur hermt eftir sama merki, hægur breytileiki brúna dvergsins er enn mögulegur í grundvallaratriðum og orðið „exomoon" hefur engin afgreidd mörk hér.

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

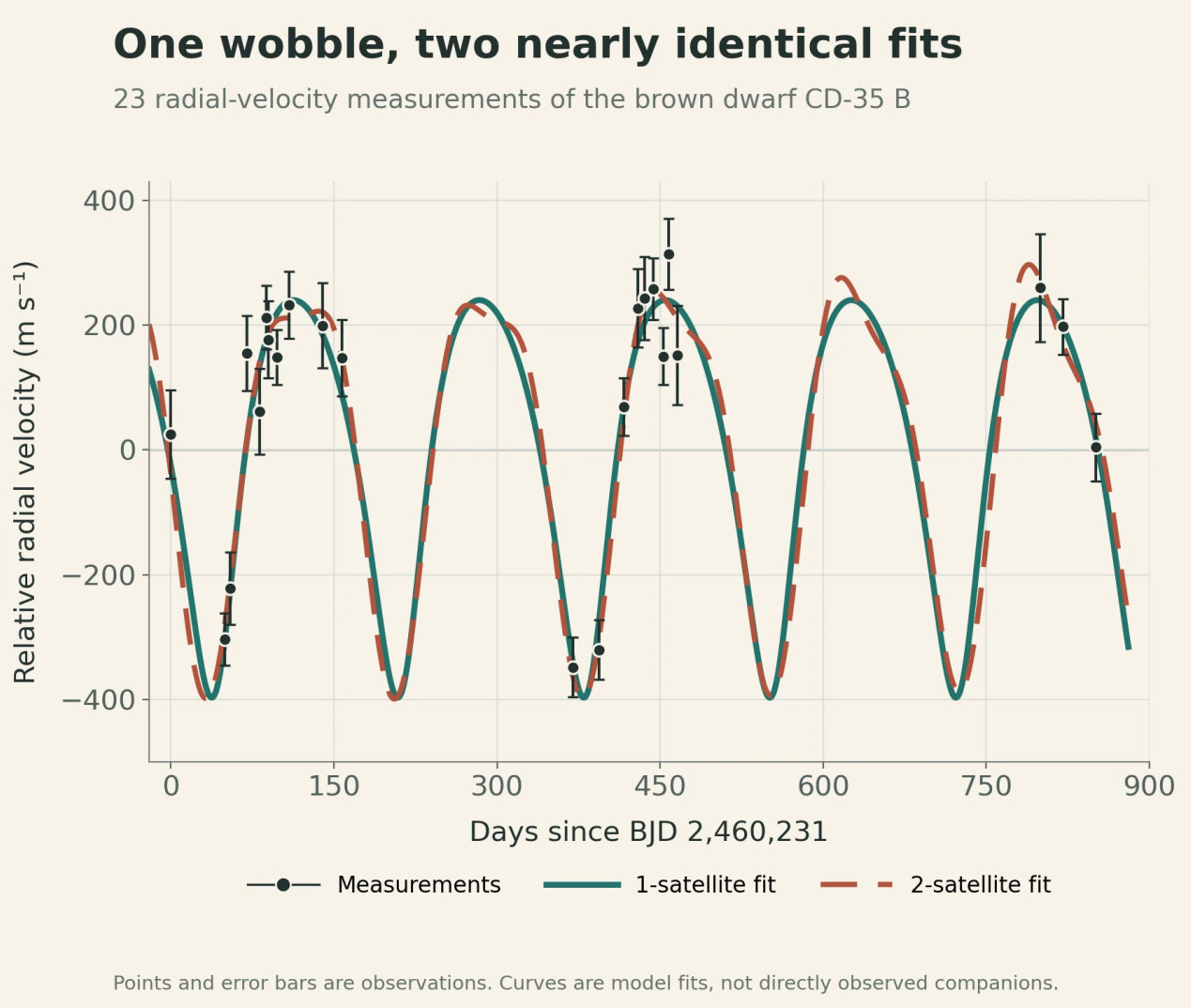
Brúnn dvergur virðist vagga á 171 dags fresti. Einn hulinn heimur gæti togað í hann — en gögnin leyfa enn tvo

Stjörnufræðingar geta séð CD-35 2722 B sem eigin ljósblett, aðskilinn frá stjörnunni sem hann fer um. Hann er brúnn dvergur, í massabili milli risareikistjarna og stjarna: með um 37 Júpítermassa er hann massameiri en dæmigerð risareikistjarna en ekki venjuleg stjarna sem brennir vetni. Þeir geta ekki séð minni hlutinn sem gæti verið á braut um brúna dverginn sjálfan. Ef hann staðfestist yrði innsti hluturinn fyrsta athugaða stigveldið þar sem gervihnöttur fer um stærra undirstjörnufyrirbæri sem sjálft fer um stjörnu.

Það sem þeir sjá í staðinn er taktur. Sumar nætur hliðrast ljós brúna dvergsins örlítið þegar hann hreyfist í átt að jörðinni. Aðrar nætur hliðrast það þegar hann færist frá jörðinni. Mynstrið endurtekur sig um það bil á **171 dags** fresti.

Slík fram-og-tilbaka hreyfing er einmitt það sem ósýnilegur fylgihlutur getur valdið: þegar tvö fyrirbæri ganga um sameiginlega massamiðju fer hið minna um hið stærra, en hið stærra lýsir líka miklu minni lykkju. Ef takturinn er brautarhreyfing setur ný Nature-grein einn hlut með reikistjörnumassa fram sem ákjósanlegustu skýringuna á lykkjunni sem mælist hjá CD-35 2722 B.

Þetta er merkilegur möguleiki, ekki ljósmynd af tungli. Tuttugu og þrjár hágæða athugunarnætur sýna sterkt lotubundið merki. Að breyta því merki í heim krefst líkans og núverandi gögn leyfa enn fleiri en eina byggingu kerfisins. Þau útiloka heldur ekki fullkomlega hægar breytingar í brúna dvergnum sjálfum.



Svörtu punktarnir og skekkjusúlurnar eru 23 næturmælingar á geislahraða. Heila og strikalínan sýna bestu eins- og tveggja-gervihnatta líkönin. Nánast fullkomin skörun þeirra sýnir hvers vegna gögn geta greint lotubundna vöggu án þess að ákvarða enn byggingu kerfisins; hvorug línan er bein mynd af fylgihlut.

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

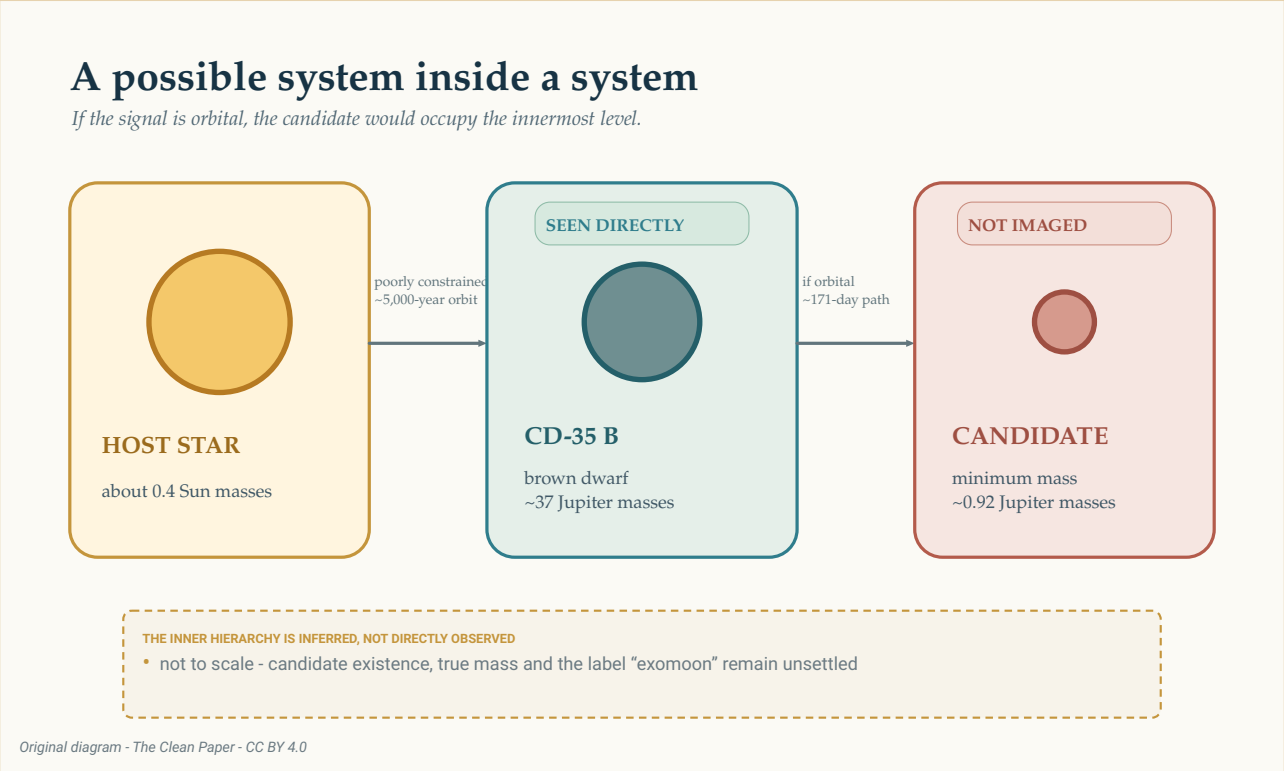
Kerfi inni í kerfi

CD-35 2722 B er **brúnn dvergur**: fyrirbæri milli kunnuglegra flokka. Hann er massameiri en dæmigerð risareikistjarna en ekki nægilega massamikill til að skína eins og venjuleg vetnisbrennandi stjarna. Greinin notar áætlaðan massa um **37 Júpítermassa**.

Brúni dvergurinn fannst með beinni myndgreiningu, það er sjónaukar greindu ljós hans frá ljósinu frá móðurstjörnunni. Á himni virðist hann um 2,8 bogasekúndur frá stjörnunni. Víð brautin sem tengir parið er illa þekkt, en núverandi mat bendir til mjög ílangrar leiðar sem tekur um **5.000 ár**.

Ef lotumerkið er brautarhreyfing myndi ályktaða byggingin setja frambjóðandann einu stigi dýpra:

stjörnu með brúnan dverg á braut, og fylgihlut með reikistjörnumassa á braut um þann brúna dverg.



Ef merkið er brautarhreyfing myndi frambjóðandinn sitja á innsta stigi þessa mögulega stigveldis. Aðeins brúni dvergurinn hefur sést beint. Ytri brautin um stjörnuna er illa skorðuð en um 171 daga innri brautin er ályktuð úr mældri vöggu brúna dvergsins. Stærðir og vegalengdir eru ekki í réttum kvarða.

The Clean Paper CC BY 4.0

Þetta hugsanlega stigveldi er auðvelt að teikna. Eðlisfræðilegur veruleiki þess og orðaforði eru hins vegar ekki afgreidd. Telst hlutur með reikistjörnumassa sem fer um brúnan dverg vera tungl, reikistjarna eða einfaldlega gervihnöttur? Stjörnufræðingar hafa enga samþykkta reglu sem leysir spurninguna. Greinin notar því víðara orðið **utansólkerfisgervihnöttur** (*exosatellite*).

Hvernig 23 nætur urðu að vöggu

Hópurinn fylgdist með CD-35 2722 B (sjá NASA Eyes on Exoplanets færsluna) með CRIRES+, háupplausnar-litrófsmæli á Very Large Telescope hjá European Southern Observatory. Milli október 2023 og febrúar 2026 fengu þeir 26 athugunartíma. Einn hafði of lítið merki og tveimur sem teknir voru í slæmu veðri var hafnað og þeir endurteknir, þannig að **23 hágæða nætur** stóðu eftir.

Litrófsmælir dreifir ljósi í nákvæmt mynstur lína. Þegar ljósgjafinn hreyfist í átt að eða frá jörðu hliðrast línurnar örlítið. Endurteknar mælingar á þessari sjónlínuhreyfingu kallast **geislahraðar**. Þeir sýna ekki hulda fyrirbærið. Þeir sýna hvernig það fyrirbæri sem verið er að mæla gæti hreyfst vegna ósýnilegs togs.

Sterkasta lotubundnin í mælingunum er nálægt 170 dögum. Hún fer yfir **0,1% falsviðvörunarlíkindamörk** rannsóknarinnar. Þau mörk spyrja hversu oft hávaði, miðað við forsendur prófsins, myndi framleiða periodogram-topp að minnsta kosti jafn sterkan. Þau eru ekki 99,9% líkur á að gervihnöttur sé til og segja ein og sér ekkert um hvort fylgihlutirnir séu einn eða tveir.

> **Hvað getur geislahraðamerki staðfest?**
>
> Geislahraði breytir endurteknum hliðrunum litrófslína í mælingar á hreyfingu í átt að og frá athuganda. Endurtekið mynstur má passa við brautarjöfnur og þannig álykta lotu, stærð mældu vöggunnar og lágmarksmassa fylgihlutar.
> En aðferðin ljósmyndar ekki fylgihlutinn beint. Lofthjúpur stjörnu eða undirstjörnufyrirbæris getur einnig hliðrað litrófslínum, athugunaráætlanir geta búið til villandi takta og mismunandi brautaskipan getur líkt eftir annarri. Merkið, eðlisfræðileg skýring þess og nafnið á ályktuðum hlut eru aðskildar spurningar.

Úrtakið verðskuldar athygli áður en brautarsvarið er tekið sem gefið. Fjórar sérstaklega lágar geislahraðamælingar hafa töluvert vægi í mynstrinu. Þær komu í tveimur pörum við góðar tilkynntar aðstæður og engin ein þeirra skapaði merkið þegar höfundarnir endurtóku greininguna með því að fjarlægja einn punkt í einu. Samt er aðeins hluti mögulegra brautarfasa mældur. Tuttugu og þrjár nætur dreifðar yfir meira en tvö ár jafngilda ekki samfelldri þekju.

Höfundarnir prófuðu einnig mögulegan hálfsárs gerviáhrif. Ófullkomin leiðrétting fyrir breytilegri hreyfingu jarðar eða mælitækissniði gæti skapað falskt árlegt merki sem úrtakið aliasar niður í hálft jarðarár, eða **182,5 daga**. Ákjósanleg lota þeirra er **171,11 dagar**, með óvissu +0,53/-0,36 dagar; þeir greina frá að þetta sé um 20 staðalfrávikum frá 182,5 dögum. Þeir greina heldur ekki frá fylgni við breytta hreyfingu jarðar, seeing, vatnsgufu í lofthjúpi eða þá eiginleika mælitækisins sem þeir skoðuðu. Þetta eru mikilvæg viðmið. Þau gera brautarskýringu nægilega sannfærandi til að líkana, en bera ekki sjálf kennsl á hlutinn.

Einfaldasta brautarsvarið: einn fylgihlutur

Í ákjósanlega líkaninu fer einn hlutur um brúna dverginn á sporöskjulaga, nokkuð ílangri braut á 171,11 dögum. Passaða brautin hefur miðskekkju um **0,27** og hálfan stórás um **0,200 stjarnfræðieiningar** — um fimmtung af meðalvegarlengd jarðar frá sól.

Mælda vaggan hefur sveifluvídd um **318 metra á sekúndu**. Úr þeirri hreyfingu gefur líkanið fylgihlutnum lágmarksmassa um **0,92 sinnum massa Júpíters**.

Orðið *lágmark* skiptir máli. Geislahraði mælir aðeins þann hluta brautarhreyfingar sem beinist að okkur eða frá. Ef braut sést frá hlið birtist mest hreyfingin eftir þessari línu. Ef hún sést meira ofan frá fer stór hluti hreyfingarinnar þvert yfir himininn í staðinn og þyngri fylgihlut þyrfti til að framleiða sömu mældu vöggu.

Stjörnufræðingar skrifa niðurstöðuna sem **m sin(i)**: massi margfaldaður með sínusi óþekkts halla

brautarinnar, eða sjónarhorns. Gögnin skorða þá margfeldistölu, ekki hinn raunverulega massa einan. Um 0,92 Júpítermassar er því neðra mark, ekki mæling á nákvæmum massa hlutarins.

> **Hvers vegna felur sjónarhornið massann?**
>
> Ímyndið ykkur að horfa á hringlaga hlaupabraut frá hlið. Hlauparinn hreyfist endurtekið að og frá ykkur, svo auðvelt er að mæla þann þátt hreyfingarinnar. Horfið síðan ofan á sömu braut. Hlauparinn fer að mestu þvert yfir sjónsviðið og lítið að eða frá ykkur.
> Geislahraði sér aðeins fyrri þáttinn. Stærðfræðilegi þátturinn `sin(i)` lýsir hversu mikið af brautarhreyfingunni liggur eftir sjónlínunni okkar. Þangað til hallinn `i` er þekktur er ályktaði massinn aðeins lágmark.

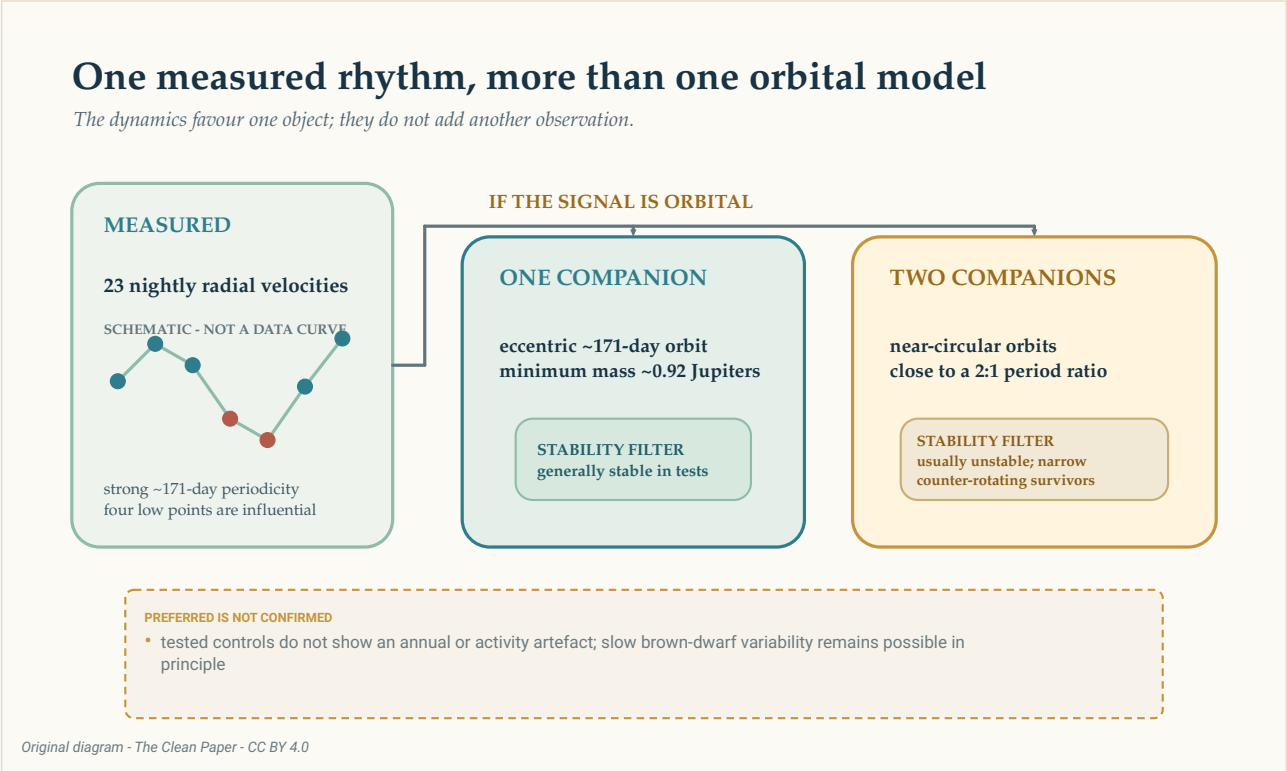
Höfundarnir spurðu síðan hvort brautin gæti varað frekar en að eyðileggja sjálfa sig hratt. Töluleg próf þeirra sýndu eins-fylgihluta líkanið almennt stöðugt. Það gerir það að eðlisfræðilega trúverðugri túlkun á merkinu. Það er ekki önnur greining á fylgihlutnum.

Óþægilega svarið: tveir fylgihlutir geta hermt eftir einum

Sporöskjulaga geislahraðamerki hefur þekkta tvíræðni. Við ákveðnar aðstæður geta tveir hlutir á nær hringlaga brautum, þar sem annar tekur um tvöfalt lengri tíma en hinn, framleitt sameinað mynstur sem líkist einum hlut á ílangri braut.

Sú tvíræðni kemur fram hér. Tveggja-fylgihluta líkan getur passað núverandi mælingar með ytra merki nálægt 171 degi og styttra innra merki. Vegna þess að athugunartímar sýnataka ekki alla fasa jafnt hefur styttra merkið nokkur alias. Þar sem 23 valdar nætur skilja eftir löng bil geta mismunandi tilraunalotur talið mismunandi fjölda óséðra hringrása milli heimsókna og samt fallið að sömu mælingum. Frambjóðendalotur nálægt 14, 70, 88 og 115 dögum eru því aðrar passanir á eitt illa sýnatakað styttra merki, ekki fjórir sjálfstætt greindir taktar.

Höfundarnir hafna illa skorðuðum 13 til 17 daga glugganum. Þar einangrar passunin ekki eina sannfærandi lotu: margar þéttliggjandi lausnir undir um 20 dögum geta endurskapað lág-tíðni mælingarnar, sem gerir allan gluggann líklegan til að vera sýnatökuartefakt. Af gluggunum sem eftir standa passar um 88 daga lausnin betur en um 70 og 115 daga valkostirnir, en ekki nógu mikið til að greinin haldi fram þekktri annarri lotu. Í töflulögðu besta passi er lágmarksmassi ytri hlutarins um 0,87 Júpítermassar og hins innri um 0,22 Júpítermassar. Þær tölur lýsa óákjósanlegu líkani; þær eru ekki mælingar á tveimur staðfestum heimum.



Ef um 171 daga merkið er brautarhreyfing má lýsa sama grófa geislahraðamynstri með einum sporöskjulaga fylgihlut eða tveimur nær hringlaga fylgihlutum nálægt tveggja-á-móti-einum lotuhlutfalli. Stöðugleikapróf styðja eins-hlutar túlkunina, en þau breyta líkani ekki í mynd og útiloka ekki allar gerðir hægra breytileika í brúna dvergnum.

The Clean Paper CC BY 4.0

Stöðugleikaútreikningarnir skerpa samanburðinn. Flestar prófaðar tveggja-fylgihluta uppsetningar köstuðu öðrum hlutnum út innan nokkurra hundruð hermdra ára. Þær uppsetningar sem lifðu af voru á þröngu og óvenjulegu svæði þar sem brautirnar lágu nær í sama fleti en fóru í gagnstæðar áttir. Móðurstjarnan bætti við fleiri óstöðugum svæðum.

Þetta er ástæða til að kjósa einn sporöskjulaga fylgihlut fram yfir prófuðu tveggja-fylgihluta kerfin. Það er ekki sönnun þess að náttúran hafi valið einfaldara líkanið. Stöðugleiki síar mögulegar túlkanir eftir að geislahraðarnir hafa verið mældir; hann bætir ekki öðrum athuguðum punkti við kúrfuna.

Hvernig getur ein sporöskjulaga braut litið út eins og tvær hringlaga?

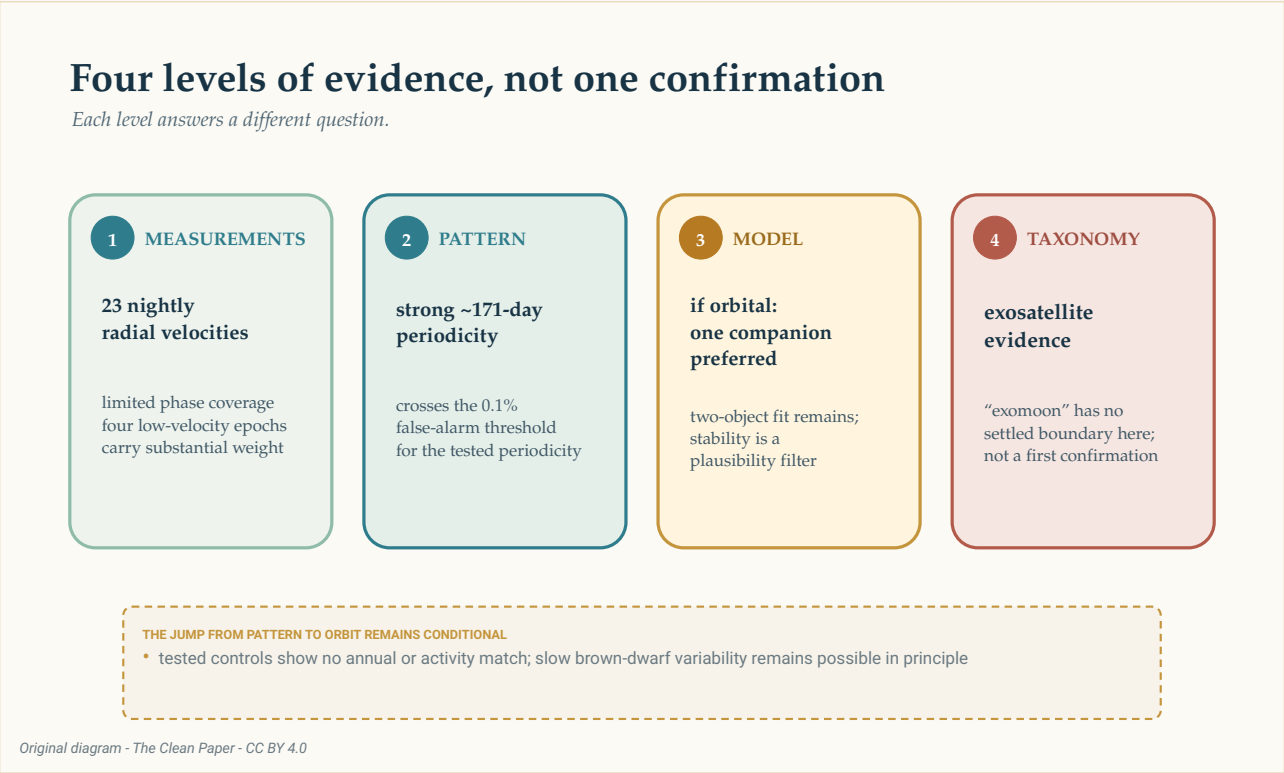
Fullkomin hringbraut framleiðir einfalt endurtekið geislahraðabylgjuform. Sporöskjulaga braut bætir bjögun við þá bylgju. Tvær hringbrautir með lotur nálægt tveggja-á-móti-einum hlutfalli geta lagst saman þannig að annað merkið gefur aðaltaktinn og hitt svipaða bjögun. Þetta er **brautartvíræðni**: ólík eðlisfræðileg kerfi framleiða svipaðar mælingar. Fleiri athuganir á tímum þegar líkönin spá mismunandi hraða geta rofið jafnteflið. Hreyfifræðipróf hjálpar með því að spyrja hvort hvert fyrirhugað kerfi geti lifað, en getur ekki komið í stað athugana.

Gæti takturinn komið frá brúna dvergnum sjálfum?

Brúnn dvergur er ekki þögull prófmassi. Lofthjúpur hans snýst, myndar ský og getur haft segulvirkni. Breytileg yfirborðsmynstur geta mótað litrófslínur og líkt eftir hreyfingu.

Áætlaður hámarkssnúningstími CD-35 2722 B er um **0,65 dagar**, langt frá 171 degi. Hópurinn fann hvorki sterkt stutt snúningsmerki né sannfærandi skýja- eða kornunarmerki í virknilíkönunum sem hann prófaði. Hann skoðaði einnig árlega sýnatöku og mælitækisstærðir án þess að finna samsvörun við 171 daga taktinn.

Þessar athuganir þrengja valkostina, en greinin segist ekki hafa útilokað allan innri breytileika. Langtíma segulvirkni eða lofthjúpshringrás í brúna dvergnum verður ekki útilokuð í grundvallaratriðum. Sá möguleiki á heima við hlið brautarlíkana, ekki falinn á eftir þeim.



Gögnin hækka í aðskildum þrepum: 23 næturgeislahraðar með takmarkaðri fasadekkun, sterk um 171 daga lotubundni, ákjósanlegt eins-fylgihluta líkan ef merkið er brautarhreyfing og loks óafgreitt „exomoon" heiti. Stiginn aðskilur mælingu, tölfræðimynstur, eðlisfræðilega túlkun og flokkun; hann er ekki staðfestingarör.

The Clean Paper CC BY 4.0

Er þetta exomoon?

Í sólkerfinu fer tungl um reikistjörnu. CD-35 2722 B er brúnn dvergur og hinn ályktaði fylgihlutur hefur enn óþekktan raunmassa. Kunnugleg heiti byrja að teygjast þegar einn hlutur situr nálægt

mörkum reikistjörnu og brúns dvergs og annar nálægt mörkum tungls og reikistjörnu.

Greinin heldur ekki fram fyrsta staðfesta exomoon. Hún segir að ekkert exomoon hafi enn verið greint með miklu öryggi, leggur fram gögn fyrir **utansólkerfisgervihnött** með reikistjörnumassa og kallar kerfið skref í átt að ótvíræðri greiningu. Umræða hennar um mögulega nýjung byrjar skilyrt: ef merkið reynist raunverulegt.

Sú varfærni gerir niðurstöðuna ekki innihaldslausa. Erfitt er að mæla geislahraða beint úr daufum brúnum dvergi. Ef áframhaldandi athuganir varðveita merkið myndi kerfið sýna að aðferðir reikistjörnuleitar nái einu stigi lengra niður í stigveldi himintungla.

Önnur athugunartíð getur gert meira en að bæta punktum við. Eins- og tveggja-fylgihluta líkönin spá mismunandi hraða á ákveðnum framtíðartímum. Mælingar sem fylla vantar brautarfasa geta prófað hvort 171 daga takturinn haldist, minnkað áhrif fjögurra lágu punktanna og látið keppandi kúrfur skiljast að.

Í bili er heiðarlegasta myndin ekki nýtt tungl hangandi við brúnan dverg. Hún er litróf, endurtekið nótt eftir nótt, með litla lotubundna hliðrun. Heimur gæti leynst í þeim takti. Afrekið er að læra hversu mikið má ályktа úr honum án þess að þykjast ályktunin sé þegar fullgerð.

Í stuttu máli

Stjörnufræðingar mældu geislahraða beint myndgreinds brúna dvergsins CD-35 2722 B á 23 hágæða nóttum milli október 2023 og febrúar 2026. Litrófslínur hans sýna sterka lotubundna hliðrun nálægt 171 degi. Ákjósanlega brautarlíkanið inniheldur einn sporöskjulaga fylgihlut með lágmarksmassa nálægt 0,92 Júpítermössum, en raunmassinn er óþekktur þar sem halli brautarinnar er óþekktur. Tveir nær hringlaga fylgihlutir geta hermt eftir sama grófa merki, þótt flestar prófaðar tveggja-hluta uppsetningar hafi verið hreyfifræðilega óstöðugar. Fjórar lághraðamælingar hafa mikið vægi og fasadekkun er enn takmörkuð: athuganirnar sýnataka aðeins valda hluta mögulegrar 171 daga lotu í stað þess að rekja alla fasa samfellt. Prófanir fundu ekki snúning, árlega sýnatöku, veður eða skoðaða mælitækiseiginleika sem uppsprettu merkisins, en langtímabreytileiki brúna dvergsins er ekki útilokaður í grundvallaratriðum. Hinn óséði hlutur var ekki myndgreindur beint, eins-hlutar líkanið er ákjósanlegt fremur en staðfest og engin samþykkt regla segir að hlutur með reikistjörnumassa á braut um brúnan dverg sé exomoon.

Raunsætt mat

Það sem var athugað: Tuttugu og þrjár næturmælingar á geislahraða CD-35 2722 B innihalda sterka um 171 daga lotubundni. Brúni dvergurinn sjálfur var myndgreindur beint; hinn fyrirhugaði fylgihlutur ekki.

Það sem höfundarnir kjósa: Ef merkið er brautarhreyfing gefur einn sporöskjulaga fylgihlutur með lágmarksmassa nálægt massa Júpíters einföldustu hreyfifræðilega trúverðugu túlkun núverandi

gagna.

Það sem er enn opið: Tveir fylgihlutir geta passað geislahraðana, þó prófuð kerfi séu yfirleitt óstöðug; langtímabreytileiki brúna dvergsins er ekki útilokaður í grundvallaratriðum; og óþekkt sjónarhorn lætur raunmassa fylgihlutarins óákvarðaðan.

Það sem greinin staðfestir ekki: Fyrsta staðfesta exomoon, beint séðan gervihnött, nákvæmlega einn hlut á braut, raunmassa 0,92 Júpítermassa eða 99,9% líkur á að ákjósanlega eðlisfræðilega líkanið sé rétt.

Hvað myndi auka traust: Fleiri geislahraðamælingar sem þekja fleiri brautarfasa, prófa hvort 171 daga merkið haldist og taka mælingar á tímum þegar eins- og tveggja-fylgihluta líkönin gefa ólíkar spár.

Heimildir

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