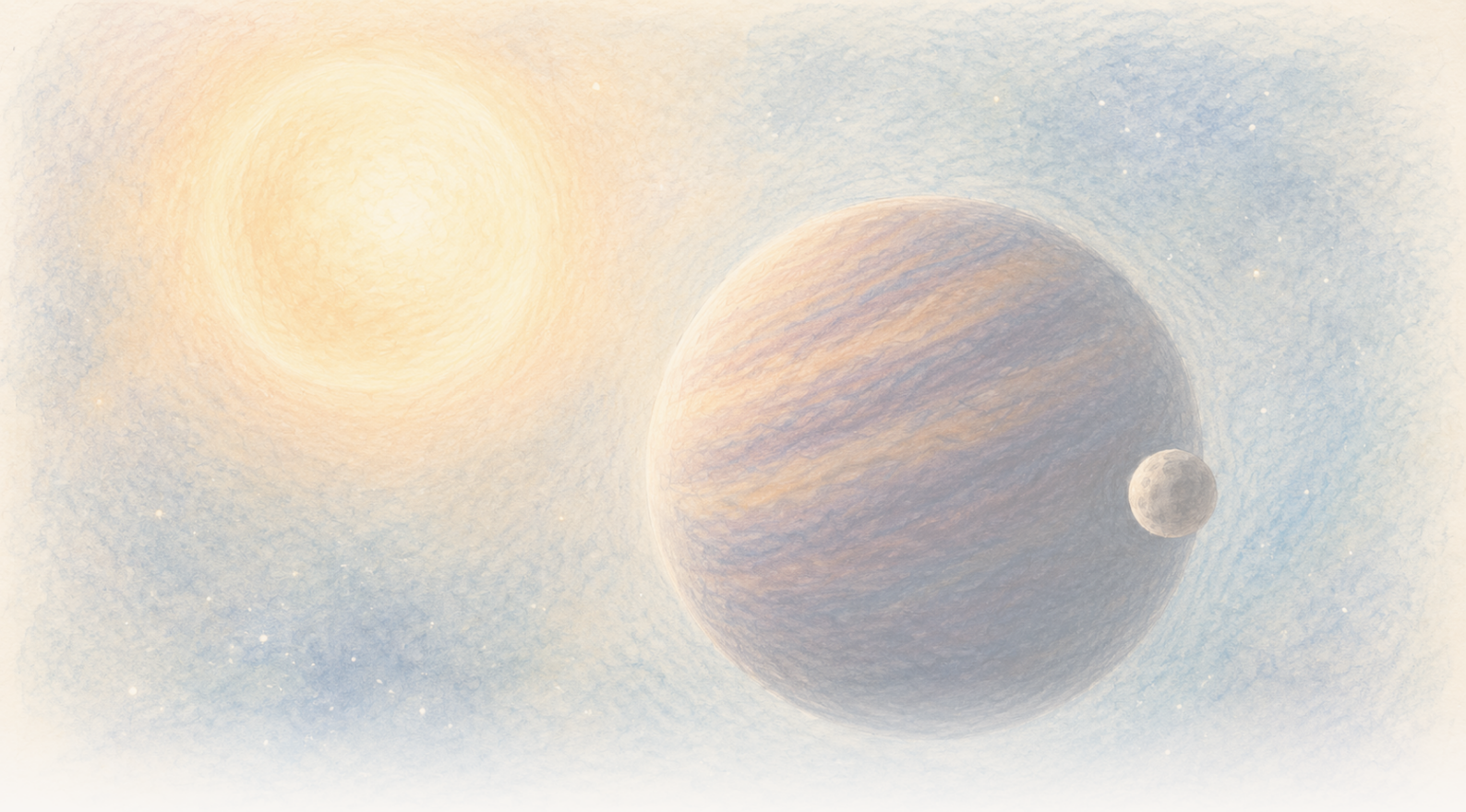


The Clean Paper

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

Ruskea kääpiö näyttää huojuvan 171 päivän välein. Yksi piilossa oleva maailma voi vetää sitä, mutta data sallii yhä kaksi

Kaksikymmentäkolme korkealaatuista spektriä paljastavat vahvan jaksollisen siirtymän CD-35 2722 B:n liikkeessä. Suosittu malli on yksi eksentrinen seuralainen, jonka vähimmäismassa on lähellä Jupiterin massaa, mutta kahden kappaleen malli voi jäljitellä samaa signaalia, ruskean kääpiön hidas vaihtelu on periaatteessa edelleen mahdollinen eikä sanalla "eksokuu" ole tässä vakiintunutta rajaa.

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

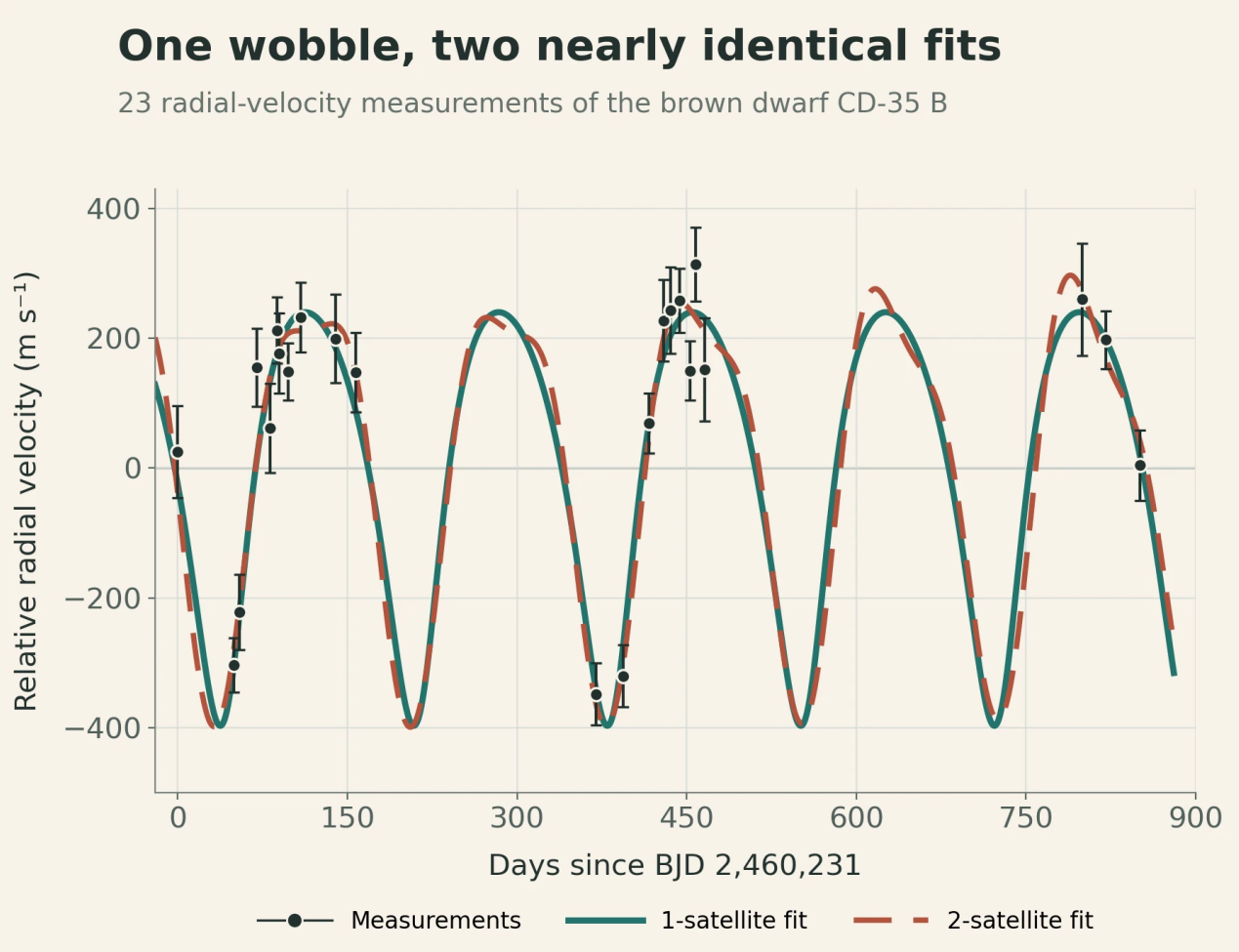
Ruskea kääpiö näyttää huojuvan 171 päivän välein. Yksi piilossa oleva maailma voi vetää sitä, mutta data sallii yhä kaksi

Tähtitieteilijät näkevät CD-35 2722 B:n omana valopisteenään erillään tähdestä, jota se kiertää. Se on ruskea kääpiö, massaltaan jättiläisplaneettojen ja tähtien välissä: noin 37 Jupiterin massaisena se on tyypillistä jättiläisplaneettaa massiivisempi mutta ei tavallinen vetyä polttava tähti. He eivät näe pienempää kappaletta, joka saattaa kiertää itse ruskeaa kääpiötä. Jos se vahvistuu, sisin kappale tekisi järjestelmästä ensimmäisen havaitun hierarkian, jossa satelliitti kiertää suurempaa tähdenalaista kappaletta, joka puolestaan kiertää tähteä.

Sen sijaan he näkevät rytmin. Joinakin öinä ruskean kääpiön valo siirtyy hieman sen liikkuessa Maata kohti. Toisina öinä viivat siirtyvät, kun ruskea kääpiö liikkuu poispäin. Kuvio toistuu noin **171 päivän** välein.

Tällainen edestakainen liike on juuri sitä, mitä näkymätön seuralainen voi tuottaa: kahden kappaleen kiertäessä yhteistä massakeskipistettä pienempi kulkee suuremman ympäri, mutta myös suurempi tekee paljon pienemmän silmukan. Jos rytmi on ratailmiö, uusi Nature-artikkeli esittää yhtä planeettamassaisen kappaleen mallia parhaana selityksenä CD-35 2722 B:n mitatulle huojunnalle.

Mahdollisuus on huomattava, mutta se ei ole valokuva kuusta. Kaksikymmentäkolme korkealaatuista havaintoyötä paljastavat vahvan jaksollisen signaalin. Signaalin muuttaminen maailmaksi vaatii mallin, ja nykydata sallii edelleen useamman kuin yhden järjestelmäarkkitehtuurin. Se ei myöskään sulje täysin pois hitaita muutoksia itse ruskeassa kääpiössä.



Mustat pisteet ja virhepalkit ovat 23 yön säteisnopeusmittaukset. Yhtenäinen ja katkoviiva ovat parhaiten sopivat yhden ja kahden satelliitin mallit. Niiden lähes täydellinen päällekkäisyys näyttää, miksi data voi paljastaa jaksollisen huojunnan ratkaisematta vielä järjestelmän arkkitehtuuria; kumpikaan käyrä ei ole suora kuva seuralaisesta.

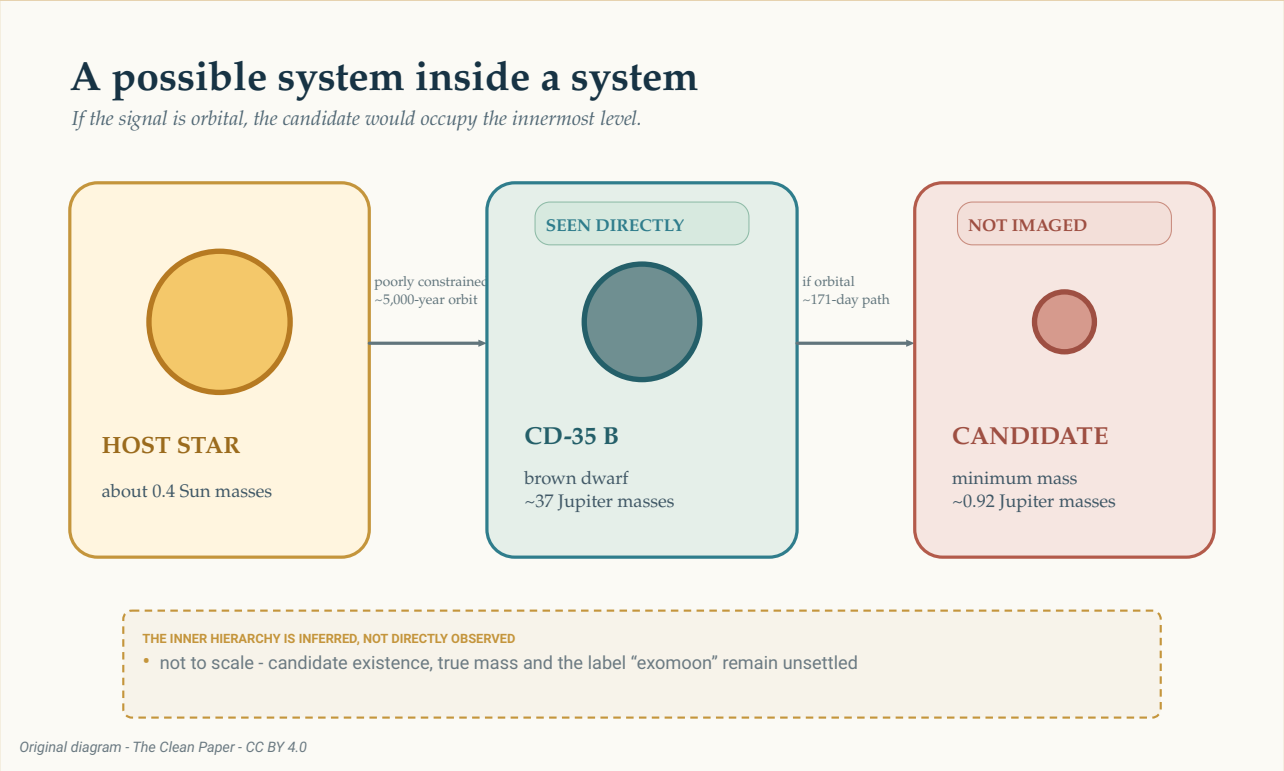
Original chart — The Clean Paper; data from Hoy et al., Nature (2026), Figure 1 source workbook CC BY 4.0

Järjestelmä järjestelmän sisällä

CD-35 2722 B on **ruskea kääpiö**: tuttuja luokkia väliin sijoittuva kappale. Se on tyypillistä jättiläisplaneettaa massiivisempi mutta ei riittävän massiivinen loistaakseen tavallisen vetyä polttavan tähden tavoin. Artikkelissa sen massaksi arvioidaan noin **37 Jupiteria**.

Ruskea kääpiö löydettiin suoralla kuvantamisella, eli teleskoopit erottivat sen valon isäntätähden valosta. Taivaalla se näkyy noin 2,8 kaarisekunnin päässä tähdestä. Parin yhdistävä laaja rata tunnetaan huonosti, mutta nykyarviot viittaavat voimakkaasti soikeaan rataan, jonka kiertoaika on noin **5 000 vuotta**.

Jos jaksollinen signaali on ratailmiö, ehdokas sijoittuisi hierarkiassa yhden tason syvemmälle: tähti, jota kiertää ruskea kääpiö, jota puolestaan kiertää planeettamassainen seuralainen.



Jos signaali on ratailmiö, ehdokas olisi tämän mahdollisen hierarkian sisin taso. Vain ruskea kääpiö on nähty suoraan. Ulompi rata tähden ympäri tunnetaan huonosti, kun taas noin 171 päivän sisärata päätellään ruskean kääpiön mitatusta huojunnasta. Koot ja etäisyydet eivät ole mittakaavassa.

The Clean Paper CC BY 4.0

Mahdollinen hierarkia on helppo piirtää. Sen fysikaalinen todellisuus ja sanasto eivät ole ratkaistuja. Onko ruskeaa kääpiötä kiertävä planeettamassainen kappale kuu, planeetta vai vain satelliitti? Tähtitieteessä ei ole hyväksyttyä sääntöä, joka ratkaisisi asian. Artikkeli käyttää siksi laajempaa sanaa **eksosatelliitti**.

Miten 23 yöstä tuli huojunta

Ryhmä havaitsi CD-35 2722 B:tä (katso sen NASA Eyes on Exoplanets -sivu) CRIRES+-spektrografilla Euroopan eteläisen observatorion Very Large Telescope -teleskoopilla. Lokakuun 2023 ja helmikuun 2026 välillä he saivat 26 havaintokertaa. Yhdessä signaali oli liian heikko, ja kaksi huonossa säässä tehtyä havaintoa hylättiin ja toistettiin, joten jäljelle jäi **23 korkealaatuista yötä**.

Spektrografi hajottaa valon yksityiskohtaiseksi viivakuvioksi. Kun lähde liikkuu Maata kohti tai siitä poispäin, viivat siirtyvät hieman. Tällaisia toistuvia näkölinjan liikkeen mittauksia kutsutaan **säteisnopeuksiksi**. Ne eivät näytä piilossa olevaa kappaletta. Ne näyttävät, miten havaittu kappale saattaa liikkua näkymättömän vetovoiman vaikutuksesta.

Mittausten vahvin jaksollisuus on noin 170 päivää. Se ylittää tutkimuksen **0,1 %:n väärän hälytyksen todennäköisyyskynnyksen**. Kynnys kysyy, kuinka usein kohina testin oletuksilla tuottaisi vähintään näin vahvan periodogrammipiikin. Se ei tarkoita 99,9 %:n todennäköisyyttä satelliitin olemassaololle eikä itsessään kerro, onko seuralaisia yksi vai kaksi.

> **Mitä säteisnopeussignaali voi osoittaa?**
>
> Säteisnopeus muuntaa spektriviivojen toistuvat siirtymät liikkeeksi havaitsijaa kohti ja poispäin. Toistuvaan kuvioon voidaan sovittaa rata, jolloin voidaan päätellä jakso, mitatun huojunnan suuruus ja seuralaisen vähimmäismassa.
> Menetelmä ei kuitenkaan suoraan kuvaa seuralaista. Tähden tai tähdenalaisen kappaleen ilmakehä voi myös siirtää spektriviivoja, havaintoaikataulu voi synnyttää harhaanjohtavia rytmejä ja eri ratakokoonpanot voivat jäljitellä toisiaan. Signaali, sen fysikaalinen selitys ja päätellylle kappaleelle annettu nimi ovat eri kysymyksiä.

Näytteenotto ansaitsee huomiota ennen rata-vastausta. Neljä erityisen matalaa säteisnopeusmittausta vaikuttavat kuvioon huomattavasti. Ne tapahtuivat kahtena parina hyvissä ilmoitetuissa olosuhteissa, eikä yksikään yksittäinen piste yksin synnyttänyt signaalia, kun kirjoittajat toistivat analyysin poistamalla pisteitä yksi kerrallaan. Silti vain osa mahdollisista ratavaiheista on mitattu. Kaksikymmentäkolme yötä yli kahden vuoden aikana eivät vastaa jatkuvaa kattavuutta.

Kirjoittajat testasivat myös mahdollista puolen vuoden artefaktia. Maan muuttuvan liikkeen tai instrumenttiprofiilin epätäydellinen korjaus voisi synnyttää väärän vuosijakson, jonka näytteenotto aliasoi puoleksi Maan vuodesta eli **182,5 päiväksi**. Heidän suosimansa jakso on **171,11 päivää**, epävarmuudella +0,53/-0,36 päivää; kirjoittajien mukaan ero 182,5 päivään on noin 20 keskihajontaa. He eivät myöskään raportoi korrelaatiota Maan muuttuvan liikkeen, seeingin, ilmakehän vesihöyryn tai tutkittujen instrumenttiominaisuuksien kanssa. Nämä ovat tärkeitä kontrolleja. Ne tekevät rataselityksestä riittävän vakuuttavan mallinnettavaksi, mutta eivät yksin tunnista kappaletta.

Yksinkertaisin rata-vastaus: yksi seuralainen

Suositussa mallissa yksi kappale kulkee ruskean kääpiön ympäri eksentrisellä eli jonkin verran venyneellä radalla 171,11 päivän välein. Sovituksen eksentrisyys on noin **0,27** ja isoakselin puolikas noin **0,200 astronomista yksikköä** — noin viidesosa Maan ja Auringon keskimääräisestä etäisyydestä.

Mitattu huojunta on amplitudiltaan noin **318 metriä sekunnissa**. Tästä liikkeestä malli antaa seuralaisen vähimmäismassaksi noin **0,92 Jupiterin massaa**.

Sana *vähimmäinen* on tärkeä. Säteisnopeus mittaa vain sen osan rataliikkeestä, joka suuntautuu meitä kohti tai meistä poispäin. Reunasta nähtynä suuri osa liikkeestä näkyy tällä suunnalla. Kasvotusten nähtynä suuri osa liikkeestä kulkee taivaan poikki, jolloin saman mitatun huojunnan tuottamiseen tarvittaisiin massiivisempi seuralainen.

Tähtitieteilijät kirjoittavat tuloksen muodossa **m sin(i)**: massa kerrottuna tuntemattoman inklinaation eli katselukulman sinillä. Data rajoittaa tätä tuloa, ei todellista massaa yksin. Noin 0,92 Jupiterin massaa on siis alaraja, ei kappaleen tarkka massa.

> **Miksi katselukulma piilottaa massaa?**
>
> Kuvittele katsovasi pyöreää juoksurataa sivulta. Juoksija liikkuu toistuvasti sinua kohti ja sinusta poispäin, joten tämä liikkeen komponentti on helppo mitata. Katso samaa rataa ylhäältä. Juoksija liikkuu pääasiassa näkökentän poikki eikä juuri sinua kohti tai poispäin. Säteisnopeus näkee vain ensimmäisen komponentin. Matemaattinen tekijä `sin(i)` kuvaa, kuinka suuri osa rataliikkeestä suuntautuu näkölinjallemme. Ennen kuin inklinaatio `i` tunnetaan, päätelty massa pysyy vähimmäismassana.

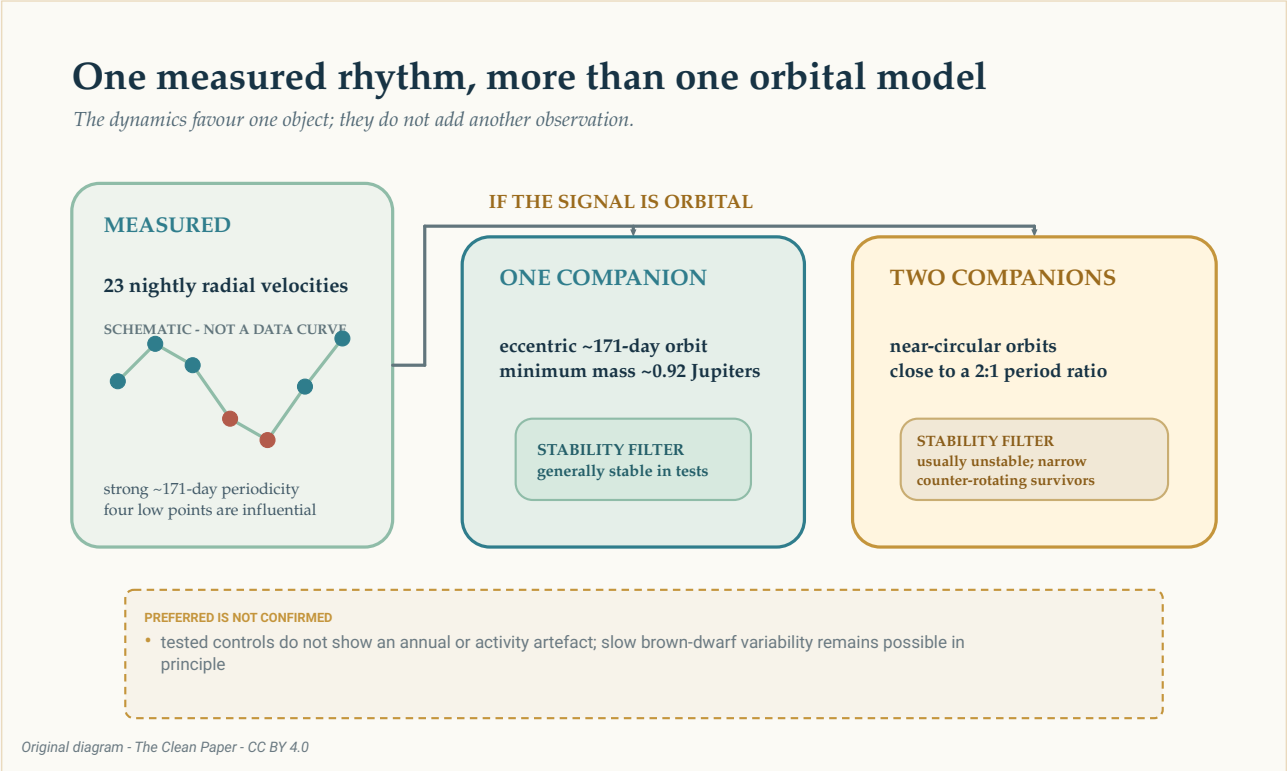
Kirjoittajat kysyivät sitten, voisiko rata säilyä eikä nopeasti hajottaa järjestelmää. Numeeriset testit osoittivat yhden seuralaisen mallin olevan yleensä vakaa. Se tekee siitä fysikaalisesti uskottavan signaalin tulkinnan. Se ei ole toinen havainto.

Hankala vastaus: kaksi seuralaista voi jäljitellä yhtä

Eksentrisellä säteisnopeussignaalilla on tunnettu degeneraatio. Tietyissä olosuhteissa kaksi lähes ympyräradoilla olevaa kappaletta, joista toisen jakso on noin kaksinkertainen toiseen verrattuna, voivat yhdessä tuottaa kuvion, joka muistuttaa yhtä venyneellä radalla olevaa kappaletta.

Tämä degeneraatio esiintyy tässä. Kahden seuralaisen malli voi sopia nykyisiin mittauksiin ulommalla noin 171 päivän signaalilla ja lyhyemmän jakson sisemmällä signaalilla. Koska havaintoajat eivät kata kaikkia vaiheita tasaisesti, lyhyemmällä signaalilla on useita aliaksia. Koska 23 valittua yötä jättävät pitkiä aukkoja, eri koejaksot voivat sisältää eri määriä näkymättömiä kierroksia käyntien välillä ja silti osua samoihin mittauksiin. Noin 14, 70, 88 ja 115 päivän ehdokasjaksot ovat siksi vaihtoehtoisia sovituksia yhdelle huonosti näytteistetylle lyhyemmälle signaalille, eivät neljä itsenäisesti havaittua rytmiä.

Kirjoittajat hylkäävät huonosti rajoitetun 13–17 päivän alueen. Siellä sovitus ei eristä yhtä vakuuttavaa jaksoa: monet lähekkäiset alle noin 20 päivän ratkaisut voivat toistaa harvan näytteenoton mittaukset, joten koko ikkuna on todennäköisesti näytteenottoartefakti. Jäljelle jääneistä ikkunoista noin 88 päivän ratkaisu sopii paremmin kuin noin 70 ja 115 päivän vaihtoehdot, mutta ei riittävästi, jotta artikkeli väittäisi toisen jakson olevan tunnettu. Taulukoidussa parhaassa sovituksessa ulomman kappaleen vähimmäismassa on noin 0,87 Jupiterin massaa ja sisemmän noin 0,22 Jupiterin massaa. Nämä luvut kuvaavat epäsuositumpaa mallia; ne eivät ole kahden vakiintuneen maailman mittauksia.



Jos noin 171 päivän signaali on ratailmiö, sama yleinen säteisnopeuskuvio voidaan esittää yhtenä eksentrisenä seuralaisena tai kahtena lähes ympyräradalla olevana seuralaisena lähellä kahden suhde yhteen -jaksoa. Vakaustestit suosivat yhden kappaleen tulkintaa, mutta eivät muuta mallia kuvaksi eivätkä sulje pois kaikkia ruskean kääpiön hitaita vaihteluita.

The Clean Paper CC BY 4.0

Vakauslaskelmat tarkentavat vertailua. Useimmat testatut kahden seuralaisen kokoonpanot sinkosivat toisen kappaleen ulos muutamassa sadassa simuloidussa vuodessa. Selviytyvät kokoonpanot sijoittuivat kapealle ja epätavalliselle alueelle, jossa radat olivat lähes samassa tasossa mutta liikkuivat vastakkaisiin suuntiin. Isäntätähti toi lisää epävakaita alueita.

Tämä on syy suosia yhtä eksentristä seuralaista testattujen kahden seuralaisen järjestelmien sijaan. Se ei todista luonnon valinneen yksinkertaisemman mallin. Vakaus suodattaa mahdollisia tulkintoja sen jälkeen, kun säteisnopeudet on jo mitattu; se ei lisää käyrälle uutta havaintopistettä.

Miten yksi eksentrinen rata voi näyttää kahdelta ympyräradalta?

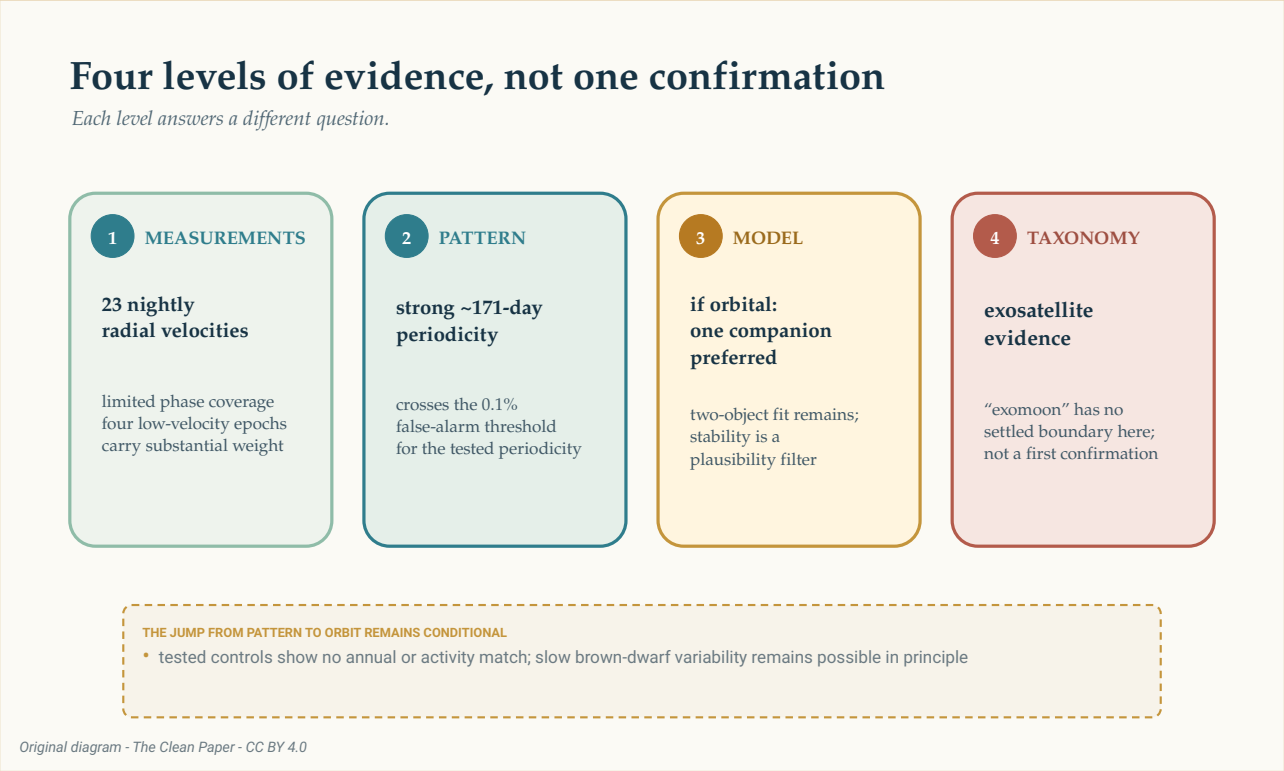
Täydellinen ympyrärata tuottaa yksinkertaisen toistuvan säteisnopeusaallon. Eksentrinen rata lisää aaltoon vääristymiä. Kaksi ympyrärataa, joiden jaksot ovat lähellä suhdetta kaksi yhteen, voivat yhdistyä niin, että toinen tuottaa päärytmin ja toinen samankaltaisen vääristymän. Tämä on **ratadegeneraatio**: eri fysikaaliset järjestelmät tuottavat samankaltaisia mittauksia. Lisää havaintoja aikoina, jolloin mallit ennustavat eri nopeuksia, voi ratkaista tilanteen. Dynamiikkatesti auttaa kysymällä, voisiko kukin ehdotettu järjestelmä säilyä, mutta se ei korvaa havaintoja.

Voisiko rytmi tulla ruskeasta kääpiöstä?

Ruskea kääpiö ei ole hiljainen testimassa. Sen ilmakehä pyörii, muodostaa pilviä ja saattaa olla magneettisesti aktiivinen. Muuttuvat pintakuviot voivat muokata spektriviivoja ja jäljitellä liikettä.

CD-35 2722 B:n arvioitu enimmäispyörähdysaika on noin **0,65 päivää**, paljon lyhyempi kuin 171 päivää. Ryhmä ei löytänyt vahvaa lyhyttä pyörimissignaalia eikä vakuuttavaa pilvi- tai granulaatiotyyppistä signaalia testatuissa aktiivisuusmalleissa. He tarkastelivat myös vuosittaista näytteenottoa ja instrumenttisuureita löytämättä vastinetta 171 päivän rytmille.

Kontrollit kaventavat vaihtoehtoja, mutta artikkeli ei väitä kaiken sisäisen vaihtelun olevan eliminoitu. Pitkäaikaisia magneettisia muutoksia tai ilmakehän kiertoa ruskeassa kääpiössä ei voi periaatteessa sulkea pois. Tämä jäljelle jäävä mahdollisuus kuuluu rata-mallien rinnalle, ei niiden jälkeen piilotettavaksi.



Näyttö nousee erillisten tasojen kautta: 23 yön säteisnopeudet rajallisella vaihepeitolla, vahva noin 171 päivän jaksollisuus, suosittu yhden seuralaisen malli jos signaali on ratailmiö, ja lopuksi ratkaisematon "eksokuu"-nimitys. Tikkaat erottavat mittauksen, tilastollisen kuvion, fysikaalisen tulkinnan ja taksonomian; ne eivät ole vahvistusnuoli.

The Clean Paper CC BY 4.0

Onko se eksokuu?

Aurinkokunnassa kuu kiertää planeettaa. CD-35 2722 B on ruskea kääpiö, eikä päätellyn seuralaisen todellista massaa vielä tunneta. Tutut nimet alkavat venyä, kun yksi kappale on planeetan ja ruskean kääpiön rajalla ja toinen kuun ja planeetan rajalla.

Artikkeli ei väitä ensimmäistä vahvistettua eksokuuta. Se sanoo, ettei yhtään eksokuuta ole vielä havaittu vakuuttavasti, esittää näyttöä planeettamassaisesta **eksosatelliitista** ja kutsuu järjestelmää askeleeksi kohti kiistatonta havaintoa. Keskustelu mahdollisesta uutuudesta alkaa ehdollisesti: jos signaali osoittautuu aidoksi.

Varovaisuus ei tee tuloksesta tyhjää. Säteisnopeuksien mittaaminen suoraan himmeästä ruskeasta kääpiöseuralaisesta on vaikeaa. Jos jatkohavainnot säilyttävät signaalin, järjestelmä osoittaisi, että planeettojen etsintämenetelmät voivat ulottua taivaallisen hierarkian yhtä tasoa syvemmälle.

Yksi lisähavaintokausi voi tehdä muutakin kuin lisätä pisteitä. Yhden ja kahden seuralaisen mallit ennustavat eri nopeuksia tietyille tuleville ajoille. Puuttuvien ratavaiheiden täyttäminen voi testata 171 päivän rytmin pysyvyyttä, vähentää neljän matalan pisteen vaikutusta ja saada kilpailevat käyrät erkanemaan.

Tällä hetkellä rehellisin kuva ei ole uusi kuu ruskean kääpiön vieressä. Se on spektri, toistettuna yö toisensa jälkeen, jossa näkyy pieni jaksollinen siirtymä. Rytmin sisällä saattaa olla maailma. Saavutus on oppia, kuinka paljon siitä voidaan päätellä teeskentelemättä päätelmän olevan jo valmis.

Tiivistelmä ilman turhaa koristelua

Tähtitieteilijät mittasivat suoraan kuvatun ruskean kääpiön CD-35 2722 B säteisnopeuden 23 korkealaatuisena yönä lokakuun 2023 ja helmikuun 2026 välillä. Sen spektriviivoissa on vahva noin 171 päivän jaksollinen siirtymä. Suosittu rata-malli sisältää yhden eksentrisen seuralaisen, jonka vähimmäismassa on noin 0,92 Jupiterin massaa, mutta todellinen massa on tuntematon radan tuntemattoman inklinaation vuoksi. Kaksi lähes ympyräradalla olevaa seuralaista voi jäljitellä samaa yleistä signaalia, vaikka useimmat testatut kahden kappaleen kokoonpanot olivat dynaamisesti epävakaita. Neljä matalaa nopeushavaintoa vaikuttaa paljon, ja ratavaiheiden kattavuus on edelleen rajallinen: havainnot näytteistävät vain valittuja osia mahdollisesta 171 päivän syklistä. Testit eivät tunnistaneet pyörimistä, vuosittaista näytteenottoa, säätä tai tutkittuja instrumenttiominaisuuksia signaalin lähteeksi, mutta ruskean kääpiön pitkäaikaisia vaihteluita ei voida periaatteessa sulkea pois. Näkymätöntä kappaletta ei kuvattu suoraan, yhden kappaleen malli on suosittu eikä vahvistettu, eikä ole vakiintunutta sääntöä sille, kutsutaanko ruskeaa kääpiötä kiertävää planeettamassaa eksokuuksi.

Realistinen arvio

Mitä havaittiin: 23 yön säteisnopeusmittaukset CD-35 2722 B:stä sisältävät vahvan noin 171 päivän jaksollisuuden. Itse ruskea kääpiö kuvattiin suoraan; ehdotettua seuralaista ei.

Mitä kirjoittajat suosivat: Jos signaali on ratailmiö, yksi eksentrinen seuralainen, jonka vähimmäismassa on lähellä Jupiterin massaa, tarjoaa yksinkertaisimman dynaamisesti uskottavan tulkinnan nykyisestä datasta.

Mikä on edelleen auki: Kaksi seuralaista voi sopia säteisnopeuksiin, vaikka testatut järjestelmät ovat yleensä epävakaita; ruskean kääpiön pitkäaikainen vaihtelu ei ole periaatteessa poissuljettu; ja tuntematon katselukulma jättää seuralaisen todellisen massan tuntemattomaksi.

Mitä artikkeli ei osoita: Ensimmäistä vahvistettua eksokuuta, suoraan nähtyä satelliittia, täsmälleen yhtä kiertävää kappaletta, todellista 0,92 Jupiterin massaa tai 99,9 %:n todennäköisyyttä suositun fysikaalisen mallin oikeellisuudelle.

Mikä lisäisi luottamusta: Jatkuvat säteisnopeusmittaukset, jotka kattavat enemmän ratavaiheita, testaavat 171 päivän signaalin pysyvyyttä ja osuvat ajankohtiin, jolloin yhden ja kahden seuralaisen mallit ennustavat eri tuloksia.

Lähteet

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