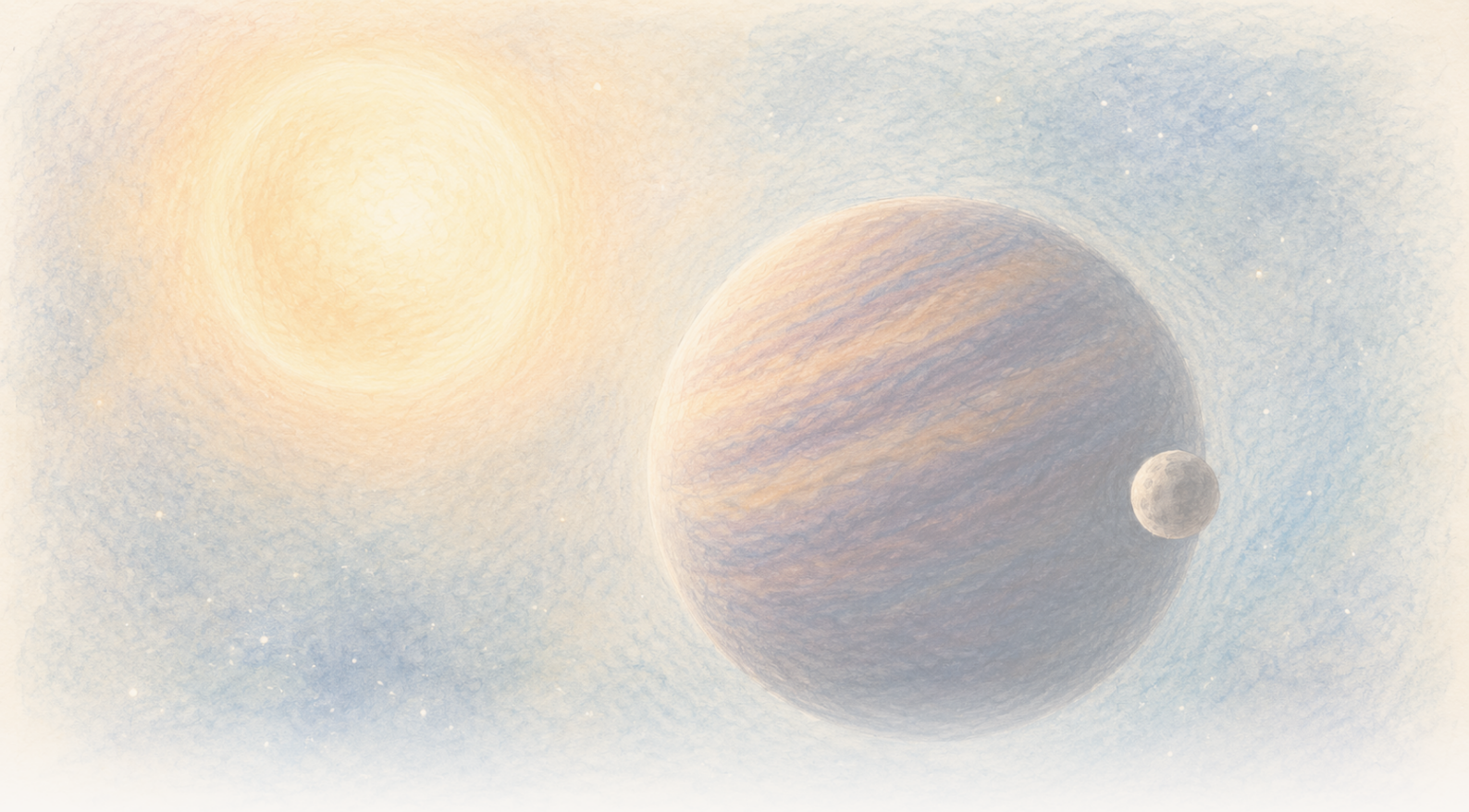


The Clean Paper

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

# Pruun kääbus näib võnkuvat iga 171 päeva järel. Üks varjatud maailm võib seda tõmmata, kuid andmed lubavad endiselt kaht

*Kakskümmend kolm kvaliteetset spektrit paljastavad tugeva perioodilise nihke CD-35 2722 B liikumises. Eelistatud mudel on üks ekstsentriline kaaslane miinimummassiga Jupiteri massi lähedal, kuid kahe objekti mudel võib sama signaali matkida, pruuni kääbuse aeglane muutlikkus jääb põhimõtteliselt võimalikuks ning sõnal „eksokuu" pole siin kokkulepitud piiri.*

---

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

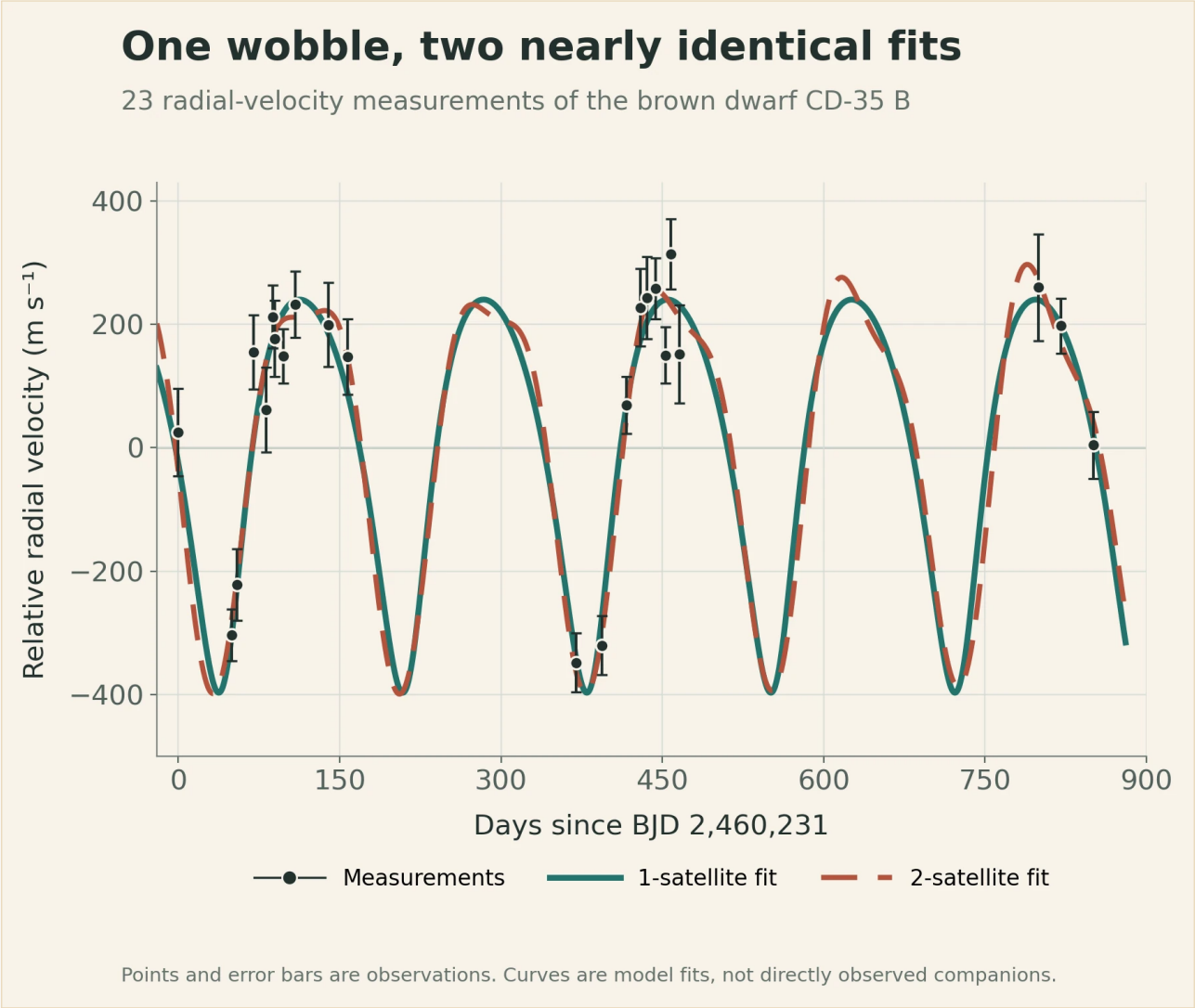
# Pruun kääbus näib võnkuvat iga 171 päeva järel. Üks varjatud maailm võib seda tõmmata, kuid andmed lubavad endiselt kaht

Astronoomid näevad CD-35 2722 B-d omaette valguspunktina, eraldi tähest, mille ümber ta liigub. See on pruun kääbus, massivahemikus hiidplaneetide ja tähtede vahel: ligikaudu 37 Jupiteri massiga on see tavalisest hiidplaneedist massiivsem, kuid pole tavaline vesinikku põletav täht. Nad ei näe väiksemat objekti, mis võib omakorda pruuni kääbuse ümber tiirelda. Kui see kinnitub, oleks tegu esimese vaadeldud hierarhiaga, kus suurema alatähelise objekti ümber tiirleb satelliit ja see suurem objekt omakorda tähe ümber.

Selle asemel näevad nad rütmi. Mõnel ööl on pruuni kääbuse valgus veidi nihkunud, kui see liigub Maa poole. Teistel öödel on nihe vastupidine, sest pruun kääbus liigub eemale. Muster kordub umbes iga **171 päeva** järel.

Sellist edasi-tagasi liikumist võib tekitada nähtamatu kaaslane: kui kaks objekti tiirlevad ühise massikeskme ümber, liigub väiksem ümber suurema, kuid ka suurem teeb palju väiksema tiiru. Kui see rütm on orbitaalne, esitab uus Nature'i artikkel ühe planeedimassiga objekti eelistatud seletusena CD-35 2722 B ümber mõõdetud võnkumisele.

See on märkimisväärne võimalus, mitte foto kuust. Kakskümmend kolm kvaliteetset vaatlusööd paljastavad tugeva perioodilise signaali. Signaali muutmine maailmaks nõuab mudelit ning praegused andmed lubavad endiselt rohkem kui üht arhitektuuri. Need ei välista täielikult ka aeglasi muutusi pruuni kääbuse enda sees.




Mustad punktid ja veavurrud on 23 öise radiaalkiiruse mõõtmised. Pidev ja katkendjoon on parimad ühe- ja kahe-satelliidi mudeli sobitused. Nende peaaegu täielik kattumine näitab, miks andmed võivad paljastada perioodilise võnkumise, kuid mitte veel süsteemi arhitektuuri määrata; kumbki kõver pole kaaslase otsene pilt.

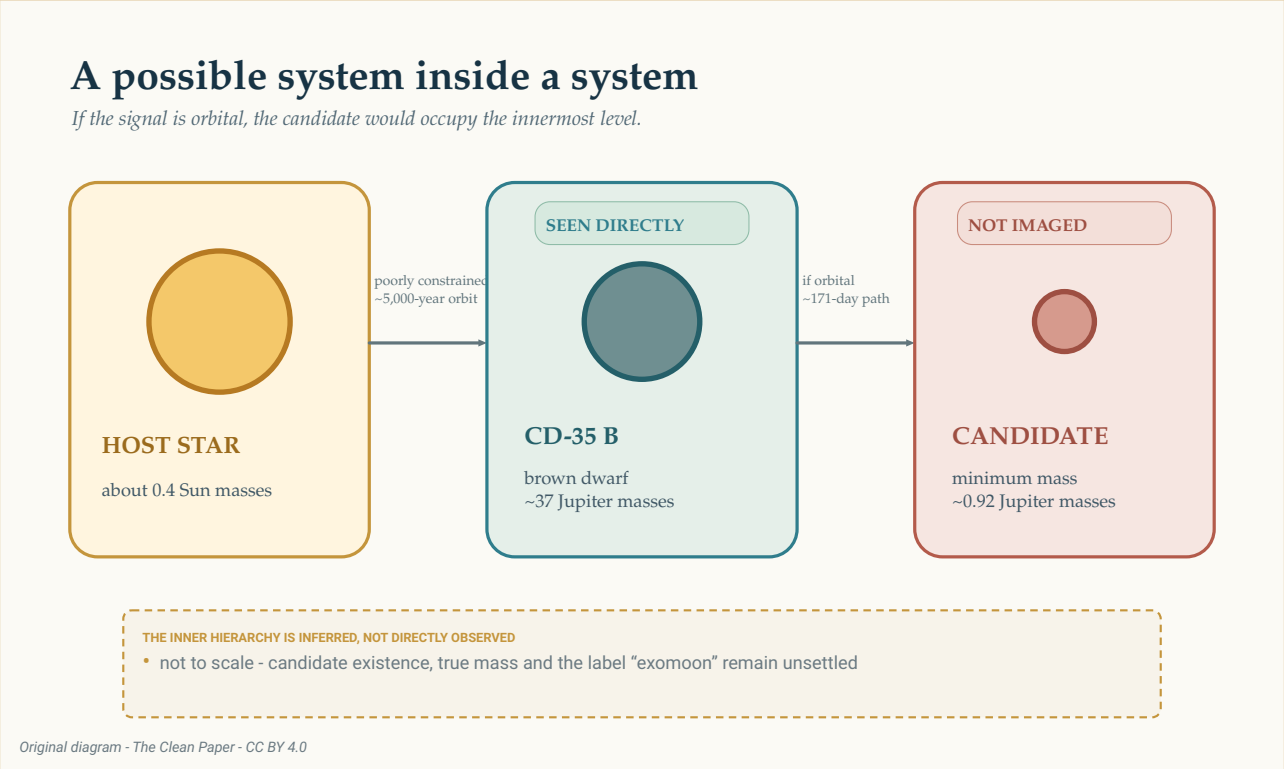
Original chart — The Clean Paper; data from Hoy et al., Nature (2026), Figure 1 source workbook CC BY 4.0

## Süsteem süsteemi sees

CD-35 2722 B on **pruun kääbus**: tuttavate kategooriate vahele jääv objekt. See on tavalisest hiidplaneedist massiivsem, kuid mitte piisavalt massiivne, et särada nagu tavaline vesinikku põletav täht. Artikkel kasutab hinnangulist massi umbes **37 Jupiterit**.

Pruun kääbus avastati otsepildistamisega, mis tähendab, et teleskoobid lahutasid selle valguse ematähe valgusest. Taevas paistab see tähest umbes 2,8 kaaresekundi kaugusel. Paari ühendav lai orbiit on halvasti teada, kuid praegused hinnangud viitavad väga väljavenitatud rajale, mille periood on ligikaudu **5 000 aastat**.

Kui perioodiline signaal on orbitaalne, paikneks kandidaat hierarhias ühe taseme sügavamal: täht, mille ümber tiirleb pruun kääbus, mille ümber omakorda tiirleb planeedimassiga kaaslane.




Kui signaal on orbitaalne, asuks kandidaat selle võimaliku hierarhia kõige sisemisel tasandil. Otse on nähtud ainult pruuni kääbust. Välimine orbiit tähe ümber on halvasti piiratud, samal ajal kui ligikaudu 171-päevane sisemine rada järeldatakse pruuni kääbuse mõõdetud võnkumisest. Suurused ja vahemaad pole mõõtkavas.

The Clean Paper CC BY 4.0

Seda võimalikku hierarhiat on lihtne joonistada. Selle füüsiline reaalsus ja sõnavara pole paigas. Kas pruuni kääbuse ümber tiirlev planeedimassiga keha on kuu, planeet või lihtsalt satelliit? Astronoomidel pole kokkulepitud reeglit, mis küsimuse lahendaks. Seetõttu kasutab artikkel laiemat sõna **eksosatelliit**.

# Kuidas 23 ööst sai võnkumine

Töörühm vaatles CD-35 2722 B-d (vt selle NASA Eyes on Exoplanets kirjet) Euroopa Lõunaobservatooriumi Väga Suure Teleskoobi kõrglahutusega spektrograafi CRIRES+ abil. 2023. aasta oktoobrist 2026. aasta veebruarini saadi 26 vaatlusajapunkti. Ühel oli liiga vähe signaali ning kaks kehva ilma ajal tehtud vaatlust lükati tagasi ja korrati, jättes alles **23 kvaliteetset ööd**.

Spektrograaf lahutab valguse detailseks joonte mustriks. Kui allikas liigub Maa poole või Maast eemale, nihkuvad need jooned pisut. Selliseid korduvaid vaatejoonelise liikumise mõõtmisi nimetatakse **radiaalkiirusteks**. Need ei näita varjatud keha. Need näitavad, kuidas vaadeldav keha võib nähtamatu tõmbe mõjul liikuda.

Mõõtmiste tugevaim perioodilisus asub 170 päeva lähedal. See ületab uuringu **0,1% valehäire tõenäosuse lävendi**. See lävend küsib, kui sageli tekitaks müra testi eelduste all vähemalt sama tugeva periodogrammitipu. See ei ole 99,9% tõenäosus, et satelliit eksisteerib, ega ütle iseenesest midagi selle kohta, kas kaaslasi on üks või kaks.

> **Mida radiaalkiiruse signaal saab kindlaks teha?**
>
> Radiaalkiiruse meetod muudab spektrijoonte korduvad nihked mõõtmisteks liikumisest vaatleja poole ja temast eemale. Korduvat mustrit saab sobitada orbiidivõrranditega, võimaldades järeldada perioodi, mõõdetud võnkumise suurust ja kaaslase miinimummassi.
> Kuid meetod ei pildista kaaslast otse. Tähe või alatähelise objekti atmosfäär võib samuti spektrijooni nihutada, vaatlusgraafik võib luua petlikke rütme ning eri orbiidikonfiguratsioonid võivad üksteist matkida. Signaal, selle füüsiline seletus ja järeldatud objektile antud nimi on eraldi küsimused.

Enne orbitaalse vastuse eelistamist väärib tähelepanu proovivõtt. Neli eriti madalat radiaalkiiruse mõõtmist kannavad mustris märkimisväärset kaalu. Need tekkisid kahe paarina, teatatud heades tingimustes, ning ükski neist ei loonud signaali üksinda, kui autorid kordasid analüüsi iga punkti kordamööda välja jättes. Sellegipoolest on võimalikest orbitaalfaasidest vaadeldud ainult osa. Kakskümmend kolm ööd rohkem kui kahe aasta jooksul ei ole sama mis pidev katvus.

Autorid testisid ka võimalikku pooleaastast artefakti. Maa muutuva liikumise või instrumendi profiili ebatäpne korrigeerimine võiks tekitada vale aastase signaali, mille proovivõtt alias'iks poole Maa aasta ehk **182,5 päeva** peale. Nende eelistatud periood on **171,11 päeva**, määramatusega +0,53/-0,36 päeva; autorite sõnul on see 182,5 päevast umbes 20 standardhälbe kaugusel. Samuti ei leitud korrelatsiooni Maa muutuva liikumise, atmosfääri nägemistingimuste, veeauru ega uuritud instrumendi omadustega. Need on olulised kontrollid. Need muudavad orbitaalse seletuse piisavalt veenvaks, et seda modelleerida, kuid ei tuvasta objekti iseenesest.

# Lihtsaim orbitaalne vastus: üks kaaslane

Eelistatud mudelis liigub üks objekt ümber pruuni kääbuse ekstsentrilisel ehk veidi väljavenitatud orbiidil iga 171,11 päeva järel. Sobitatud orbiidi ekstsentrilisus on umbes **0,27** ja suur pooltelg umbes **0,200 astronoomilist ühikut** — ligikaudu viiendik Maa ja Päikese keskmisest kaugusest.

Mõõdetud võnkumise amplituud on umbes **318 meetrit sekundis**. Sellest liikumisest annab mudel kaaslase miinimummassiks umbes **0,92 Jupiteri massi**.

Sõna *miinimum* on oluline. Radiaalkiirus mõõdab ainult seda osa orbitaalsest liikumisest, mis on suunatud meie poole või meist eemale. Kui orbiiti nähakse serviti, ilmub suurem osa liikumisest vaatejoonele. Kui orbiiti nähakse rohkem pealtvaates, liigub suur osa liikumisest üle taeva ning sama mõõdetud võnkumise tekitamiseks oleks vaja massiivsemat kaaslast.

Astronoomid kirjutavad tulemuse kujul **m sin(i)**: mass korrutatud tundmatu orbiidi kaldenurga ehk

vaatenurga siinusega. Andmed piiravad seda korrutist, mitte tegelikku massi üksinda. Umbes 0,92 Jupiteri massi on seega alumine piir, mitte objekti täpse massi mõõtmine.

> **Miks vaatenurk massi varjab?**
>
> Kujutage ette ringrada küljelt. Jooksja liigub korduvalt teie poole ja teist eemale, seega on seda liikumiskomponenti lihtne mõõta. Nüüd vaadake sama rada ülalt. Jooksja liigub peamiselt üle teie vaatevälja ja vaevu teie poole või teist eemale.
> Radiaalkiirus näeb ainult esimest komponenti. Matemaatiline tegur `sin(i)` kirjeldab, kui suur osa orbitaalsest liikumisest suundub piki meie vaatejoont. Kuni kalle `i` pole teada, jääb järeldatud mass miinimumiks.

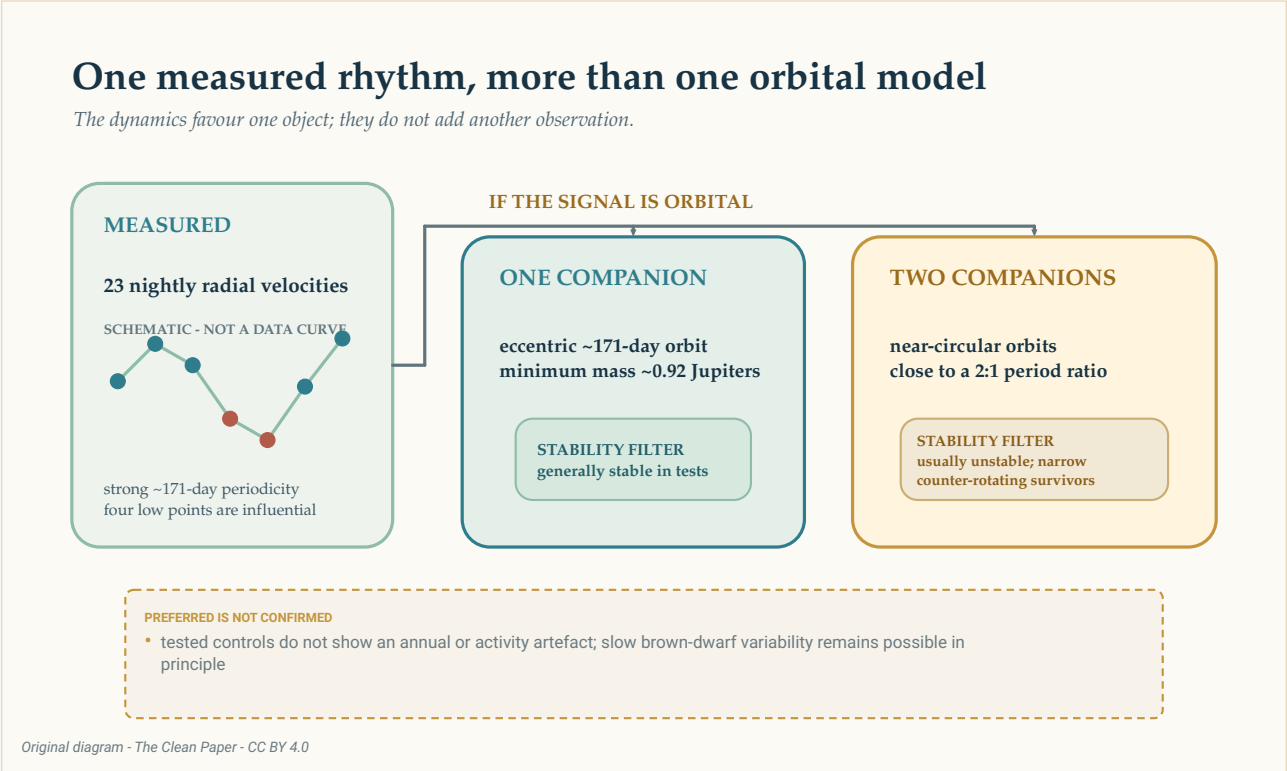
Autorid küsisid seejärel, kas selline orbiit võiks püsida, mitte kiiresti ennast hävitada. Nende numbrilised testid leidsid, et ühe kaaslase mudel on üldiselt stabiilne. See teeb sellest signaali füüsikaliselt usutava tõlgenduse. See ei ole teine detektsioon.

## Ebamugav vastus: kaks kaaslast võivad üht matkida

Ekstsentrilisel radiaalkiiruse signaalil on tuntud mitmetähenduslikkus. Mõnes tingimuses võivad kaks peaaegu ringorbiidil olevat objekti, millest ühe periood on teise omast umbes kaks korda pikem, anda kombineeritud mustri, mis sarnaneb ühe objekti väljavenitatud orbiidiga.

See mitmetähenduslikkus ilmub ka siin. Kahe kaaslase mudel sobib praeguste mõõtmistega nii, et välimine signaal on umbes 171 päeva ja sisemine lühema perioodiga. Kuna vaatlusajad ei kata kõiki faase ühtlaselt, on lühemal signaalil mitu alias't. Kuna 23 valitud öö vahel on pikad lüngad, võivad erinevad prooviperioodid lugeda visiitide vahele erineva arvu nägemata tsükleid ja ikkagi samade mõõtmistega joonduda. Seetõttu on kandidaatperioodid umbes 14, 70, 88 ja 115 päeva ühe halvasti proovitud lühema signaali alternatiivsed sobitused, mitte neli sõltumatult tuvastatud rütmi.

Autorid lükkavad halvasti piiratud 13–17-päevase akna tagasi. Selles piirkonnas ei eralda sobitus üht veenvat perioodi: paljud lähestikku lahendid alla umbes 20 päeva suudavad madala vaatlussagedusega mõõtmisi taastoota, mistõttu kogu aken on tõenäoliselt proovivõtu artefakt. Ülejäänud akendest sobib ligikaudu 88-päevane lahend paremini kui umbes 70- ja 115-päevased alternatiivid, kuid mitte piisavalt, et artikkel väidaks teadaolevat teist perioodi. Tabelis esitatud parimas sobituses on välimise objekti miinimummass umbes 0,87 Jupiteri massi ja sisemise umbes 0,22 Jupiteri massi. Need arvud kirjeldavad ebasoodsamat mudelit; need pole kahe kindlaks tehtud maailma mõõtmised.




Kui ligikaudu 171-päevane signaal on orbitaalne, saab sama üldist radiaalkiiruse mustrit esitada ühe ekstsentrilise kaaslase või kahe peaaegu ringorbiidil oleva kaaslasega, mille perioodid on lähedal suhtele kaks ühele. Stabiilsustestid soosivad ühe objekti tõlgendust, kuid need ei muuda mudelit pildiks ega välista kõiki pruuni kääbuse aeglase muutlikkuse vorme.

The Clean Paper CC BY 4.0

Stabiilsusarvutused teravdavad võrdlust. Enamik testitud kahe kaaslase konfiguratsioone heitis ühe objekti mõnesaja simuleeritud aasta jooksul süsteemist välja. Ellu jäänud konfiguratsioonid paiknesid kitsas ja ebatavalises piirkonnas, kus orbiidid olid peaaegu samas tasapinnas, kuid liikusid vastassuundades. Ematäht tekitas täiendavaid ebastabiilseid piirkondi.

See on põhjus eelistada üht ekstsentrilist kaaslast testitud kahe kaaslase süsteemidele. See ei tõesta, et loodus valis lihtsama mudeli. Stabiilsus filtreerib võimalikke tõlgendusi pärast radiaalkiiruste mõõtmist; see ei lisa kõverale uut vaadeldud punkti.

### Kuidas saab üks ekstsentriline orbiit välja näha nagu kaks ringorbiiti?

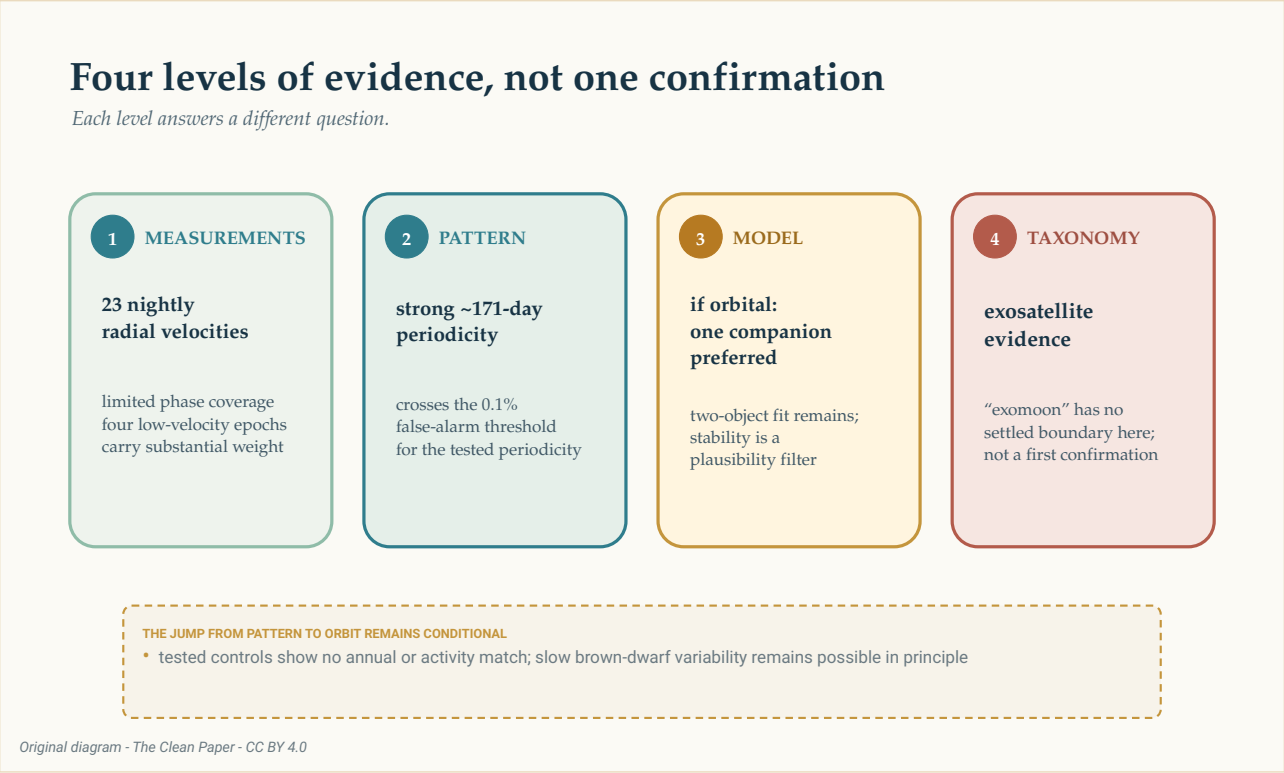
Täiuslik ringorbiit tekitab lihtsa korduva radiaalkiiruse laine. Ekstsentriline orbiit lisab sellele moonutusi. Kaks ringorbiiti, mille perioodid on ligikaudu suhtes kaks ühele, võivad kombineeruda nii, et üks signaal annab põhirütmi ja teine sarnase moonutuse.
See on **orbitaalne degeneratsioon**: erinevad füüsilised süsteemid tekitavad sarnaseid mõõtmisi. Rohkem vaatlusi ajal, mil mudelid ennustavad eri kiirusi, saab seose katkestada. Dünaamikatest aitab küsida, kas iga pakutud süsteem võiks püsida, kuid ei saa neid vaatlusi asendada.

# Kas rütm võiks tulla pruuni kääbuse enda seest?

Pruun kääbus ei ole vaikne testmass. Selle atmosfäär pöörleb, moodustab pilvi ja võib olla magnetiliselt aktiivne. Muutuvad pinnamustrid võivad spektrijooni ümber kujundada ja liikumist matkida.

CD-35 2722 B hinnanguline maksimaalne pöörlemisperiood on umbes **0,65 päeva**, palju lühem kui 171 päeva. Töörühm ei leidnud testitud aktiivsusmudelites tugevat lühikest pöörlemissignaali ega veenvat pilve- või granulatsioonilaadset signaali. Samuti uuriti aastast proovivõttu ja instrumendiga seotud suurusi, leidmata vastet 171-päevasele rütmile.

Need kontrollid kitsendavad alternatiive, kuid artikkel ei väida, et kogu sisemine muutlikkus on kõrvaldatud. Pruuni kääbuse pikaajalist magnetilist aktiivsust või atmosfääriringlust ei saa põhimõtteliselt välistada. See allesjääv võimalus kuulub orbitaalmudelite kõrvale, mitte nende taha peitu.




Tõendid tõusevad eri tasemete kaudu: 23 öist radiaalkiiruse mõõtmist piiratud faasikatvusega, tugev ligikaudu 171-päevane perioodilisus, eelistatud ühe kaaslase mudel juhul, kui signaal on orbitaalne, ning lõpuks lahendamata „eksokuu" silt. Redel eristab mõõtmist, statistilist mustrit, füüsikalist tõlgendust ja taksonoomiat; see pole kinnituse nool.

The Clean Paper CC BY 4.0

# Kas see on eksokuu?

Päikesesüsteemis tiirleb kuu planeedi ümber. CD-35 2722 B on pruun kääbus ning järeldatud kaaslase tegelik mass pole veel teada. Tuttavad nimetused hakkavad venima, kui üks objekt asub planeedi ja pruuni kääbuse piiri lähedal ning teine kuu ja planeedi piiri lähedal.

Artikkel ei väida esimest kinnitatud eksokuud. See ütleb, et ühtki eksokuud pole seni enesekindlalt tuvastatud, esitab tõendeid planeedimassiga **eksosatelliidi** kohta ning nimetab süsteemi sammuks vaieldamatu detektsiooni poole. Arutelu võimalikust uudsusest algab tingimuslikult: juhul kui signaal osutub ehtsaks.

See ettevaatus ei tee tulemust tühjaks. Nõrga pruuni kääbuse kaaslase radiaalkiiruste otsene mõõtmine on keeruline. Kui jätkuvad vaatlused säilitavad signaali, näitaks süsteem, et planeetide otsingumeetodid võivad ulatuda taevase hierarhia veel ühe taseme võrra sügavamale.

Veel üks vaatlushooaeg võib teha rohkem kui lisada punkte. Ühe ja kahe kaaslase mudelid ennustavad teatud tulevastel aegadel erinevaid kiirusi. Mõõtmised, mis täidavad puuduvaid orbitaalfaase, saavad testida, kas 171-päevane rütm püsib, vähendada nelja madala punkti mõju ja panna konkureerivad kõverad lahknema.

Praegu ei ole kõige ausam pilt uus kuu pruuni kääbuse kõrval. See on spekter, mida korratakse öö öö järel ja milles on väike perioodiline nihe. Selle rütmi sees võib olla maailm. Saavutus on õppida, kui palju sellest saab järeldada, teesklemata, et järeldus on juba täielik.

# Lühidalt

Astronoomid mõõtsid otsepildistatud pruuni kääbuse CD-35 2722 B radiaalkiirust 23 kvaliteetsel ööl 2023. aasta oktoobrist 2026. aasta veebruarini. Selle spektrijooned näitavad tugevat perioodilist nihet umbes 171 päeva juures. Eelistatud orbitaalmudelis on üks ekstsentriline kaaslane miinimummassiga umbes 0,92 Jupiteri massi, kuid tegelik mass on teadmata, sest orbiidi kalle pole teada. Kaks peaaegu ringorbiidil olevat kaaslast võivad sama üldist signaali matkida, kuigi enamik testitud kahe objekti konfiguratsioone olid dünaamiliselt ebastabiilsed. Neli madala kiirusega vaatlust on mõjukad ning orbitaalfaaside katvus on piiratud: vaatlused proovivad ainult valitud osi võimalikust 171-päevasest tsüklist, mitte ei jälgi seda pidevalt läbi kõigi faaside. Testid ei tuvastanud pöörlemist, aastast proovivõttu, ilma ega uuritud instrumendi omadusi signaali allikana, kuid pikaajalist pruuni kääbuse muutlikkust ei saa põhimõtteliselt välistada. Nähtamatut objekti ei pildistatud otse, ühe objekti mudel on eelistatud, mitte kinnitatud, ning puudub kokkulepitud reegel, mille järgi pruuni kääbuse ümber tiirlev planeedimassiga keha oleks eksokuu.

# Ilustamata kontroll

**Mida vaadeldi:** CD-35 2722 B kakskümmend kolm öist radiaalkiiruse mõõtmist sisaldavad tugevat ligikaudu 171-päevast perioodilisust. Pruun kääbus ise pildistati otse; pakutud kaaslast mitte.

**Mida autorid eelistavad:** Kui signaal on orbitaalne, annab kõige lihtsama dünaamiliselt usutava tõlgenduse üks ekstsentriline kaaslane miinimummassiga Jupiteri massi lähedal.

**Mis jääb lahtiseks:** Kaks kaaslast võivad radiaalkiirustega sobida, kuigi testitud süsteemid on tavaliselt ebastabiilsed; pikaajaline pruuni kääbuse muutlikkus pole põhimõtteliselt välistatud; ning tundmatu vaatenurk jätab tegeliku kaaslase massi teadmata.

**Mida artikkel ei tõesta:** Esimest kinnitatud eksokuud, otse nähtud satelliiti, täpselt üht tiirlevat objekti, tegelikku massi 0,92 Jupiteri massi ega 99,9% tõenäosust, et eelistatud füüsikaline mudel on õige.

**Mis suurendaks kindlust:** Jätkuvad radiaalkiiruse mõõtmised, mis katavad rohkem orbitaalfaase, testivad 171-päevase signaali püsimist ning proovivad aegu, mil ühe ja kahe kaaslase mudelid teevad erinevaid ennustusi.

## Allikad

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