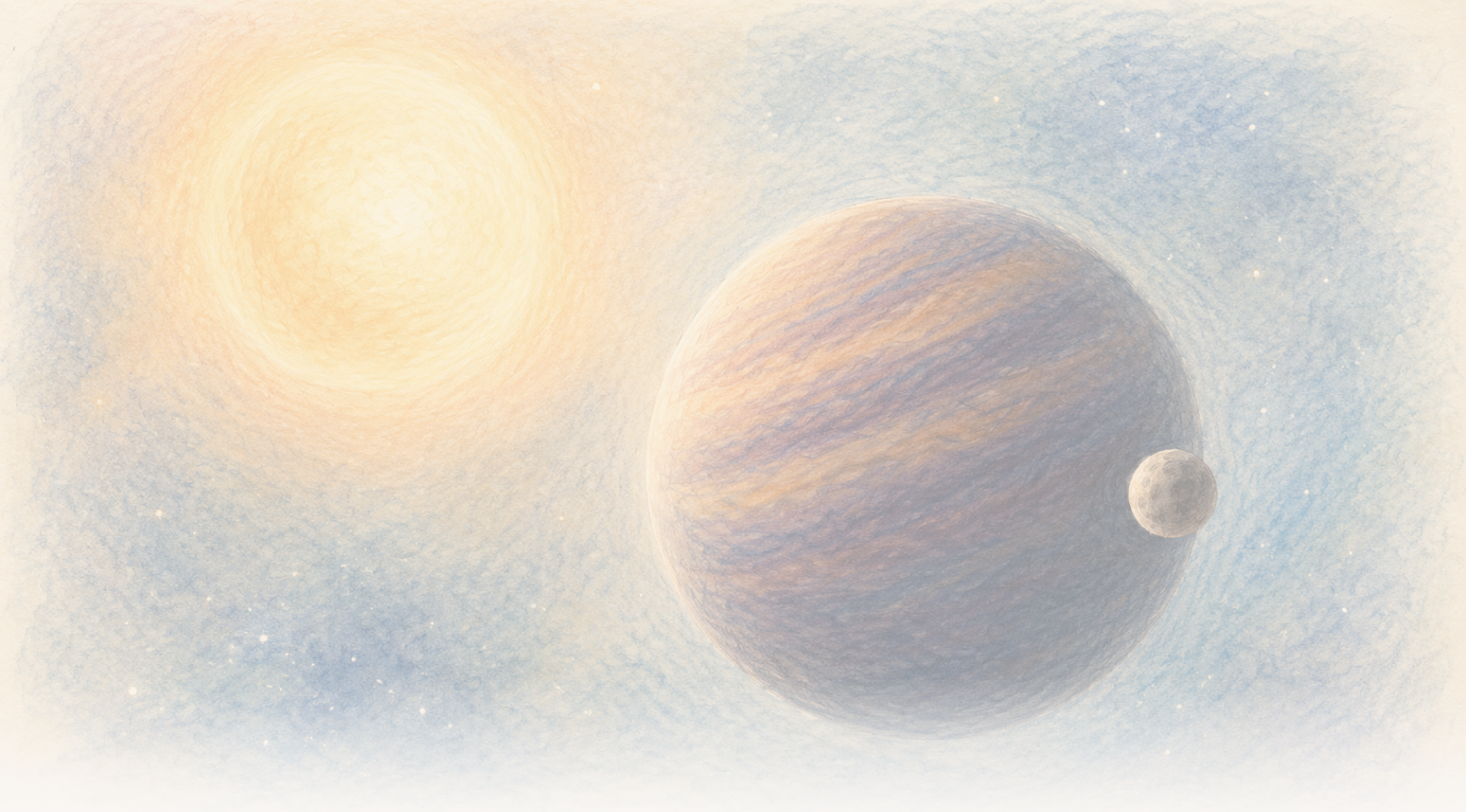


The Clean Paper

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

# Egy barna törpe látszólag 171 naponta imbolyog. Lehet, hogy egy rejtett világ húzza, de az adatok még két objektumot is megengednek

*Huszonhárom jó minőségű spektrum erős periodikus eltolódást tár fel a CD-35 2722 B mozgásában. Az előnyben részesített modell egy excentrikus, minimum közel Jupiter-tömegű kísérő, de egy kétobjektumos modell utánozhatja ugyanazt a jelet, a barna törpe lassú változékonysága elvben továbbra is lehetséges, az „exohold" szó határa pedig itt nincs rendezve.*

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

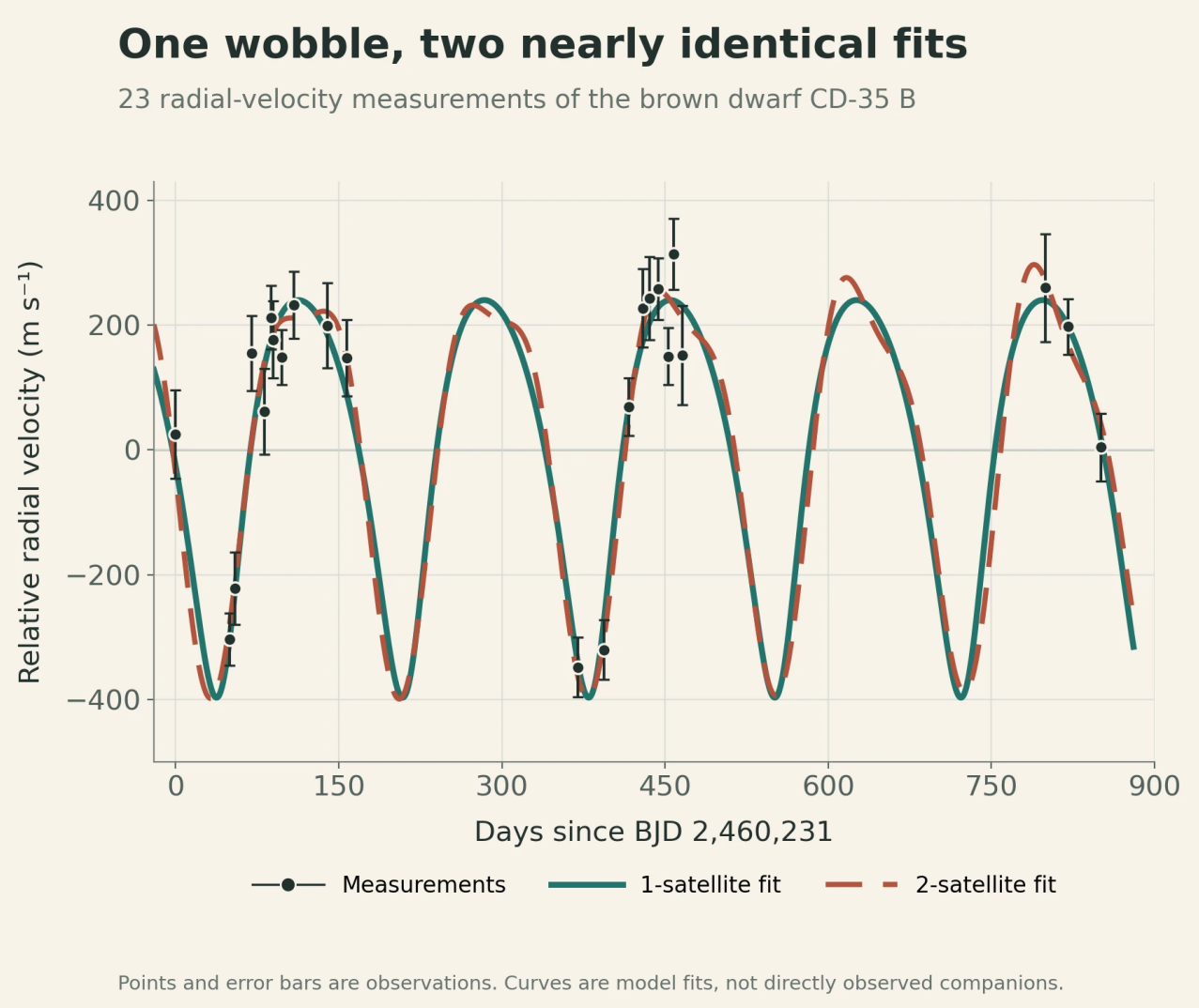
# Egy barna törpe látszólag 171 naponta imbolyog. Lehet, hogy egy rejtett világ húzza, de az adatok még két objektumot is megengednek

A csillagászok a CD-35 2722 B-t önálló fénypontként látják, elkülönülve attól a csillagtól, amely körül kering. Barna törpe: tömege az óriásbolygók és a csillagok közötti tartományba esik. Körülbelül 37 Jupiter-tömegével nehezebb egy tipikus óriásbolygónál, de nem közönséges, hidrogént égető csillag. A kisebb objektumot, amely esetleg maga a barna törpe körül kering, nem látják. Ha megerősítik, ez lenne az első megfigyelt olyan hierarchia, amelyben egy nagyobb szubcsillagászati objektum körüli kísérő maga is egy csillag körül kering.

Amit helyette látnak, az egy ritmus. Egyes éjszakákon a barna törpe fénye kissé eltolódik, miközben az objektum a Föld felé mozog. Máskor az ellenkező irányú eltolódás látszik, amikor távolodik. A minta körülbelül **171 naponta** ismétlődik.

Ilyen oda-vissza mozgást okozhat egy láthatatlan kísérő: amikor két objektum a közös tömegközéppontjuk körül kering, a kisebb a nagyobb körül jár, de a nagyobb is leír egy jóval kisebb hurkot. Ha ez a ritmus valóban keringési eredetű, egy új Nature-tanulmány egyetlen, bolygótömegű objektumot tart a CD-35 2722 B körül mért hurok legjobb magyarázatának.

Ez figyelemre méltó lehetőség, nem egy hold fényképe. Huszonhárom jó minőségű megfigyelési éjszaka erős periodikus jelet tár fel. Ahhoz, hogy ebből a jelből egy világot következtessünk ki, modellre van szükség, és a jelenlegi adatok még egynél több rendszerfelépítést is megengednek. A barna törpe saját, lassú változásait sem zárják ki teljesen.




A fekete pontok és hibasávok a 23 éjszakai radiálissebesség-mérést mutatják. A folytonos és szaggatott görbék az egy-, illetve kétkísérős modell legjobb illesztései. Közeli átfedésük mutatja, miért tárhat fel az adatsor periodikus imbolygást anélkül, hogy még meghatározná a rendszer felépítését; egyik görbe sem egy kísérő közvetlen képe.

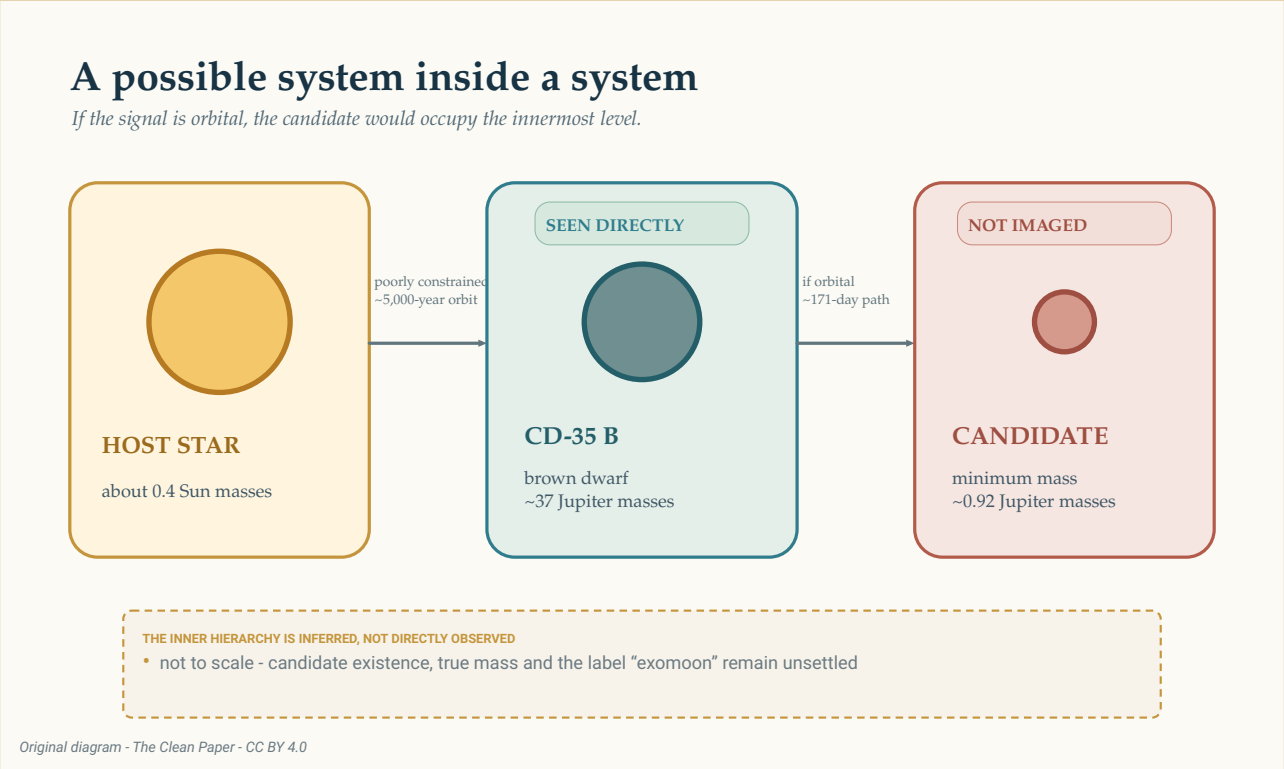
Original chart — The Clean Paper; data from Hoy et al., Nature (2026), Figure 1 source workbook CC BY 4.0

# Egy rendszer egy rendszeren belül

A CD-35 2722 B egy **barna törpe**: a megszokott kategóriák közé eső objektum. Nagyobb tömegű egy tipikus óriásbolygónál, de nem elég nagy ahhoz, hogy közönséges, hidrogént égető csillagként ragyogjon. A tanulmány körülbelül **37 Jupiter-tömeget** használ becsült tömegként.

A barna törpét közvetlen képalkotással fedezték fel, vagyis a távcsövek a fényét a gazdacsillag fényétől külön oldották fel. Az égen körülbelül 2,8 ívmásodpercre látszik a csillagtól. A kettőt összekötő tág pálya rosszul ismert, de a jelenlegi becslések szerint erősen elnyúlt lehet, és nagyjából **5 000 év** alatt járható körbe.

Ha a periodikus jel keringési eredetű, a feltételezett rendszerben a jelölt egy szinttel beljebb helyezkedne el: egy csillag körül keringő barna törpe, amely körül egy bolygótömegű kísérő kering.




Ha a jel keringési eredetű, a jelölt ennek a lehetséges hierarchiának a legbelső szintjén lenne. Csak a barna törpét látták közvetlenül. A csillag körüli külső pálya rosszul meghatározott, míg a körülbelül 171 napos belső pályát a barna törpe mért imbolygásából következtetik ki. A méretek és távolságok nem méretarányosak.

The Clean Paper CC BY 4.0

Ezt a lehetséges hierarchiát könnyű lerajzolni. Fizikai valósága és az elnevezése azonban nincs eldöntve. Holdnak, bolygónak vagy egyszerűen kísérőnek számít-e egy barna törpe körül keringő bolygótömegű égitest? A csillagászatban nincs elfogadott szabály, amely ezt eldöntené. A tanulmány ezért a tágabb **exosatellite** kifejezést használja.

# Hogyan lett 23 éjszakából imbolygás

A kutatócsoport a CD-35 2722 B-t (lásd a NASA Eyes on Exoplanets bejegyzését) a CRIRES+ nevű nagy felbontású spektrográffal figyelte meg az Európai Déli Obszervatórium Very Large Telescope-ján. 2023 októbere és 2026 februárja között 26 megfigyelési epochát gyűjtöttek. Egyben túl gyenge volt a jel, kettőt pedig rossz időjárás miatt elutasítottak és megismételtek, így **23 jó minőségű éjszaka** maradt.

A spektrográf a fényt részletes vonalmintázatra bontja. Amikor a forrás a Föld felé vagy attól elfelé mozog, ezek a vonalak parányit eltolódnak. E látóirányú mozgás ismételt méréseit **radiális sebességnek** nevezik. Nem mutatják meg a rejtett égitestet. Azt mutatják meg, hogyan mozoghat a megfigyelt

objektum egy láthatatlan vonzás hatására.

A mérések legerősebb periodicitása 170 nap közelében van. Átlépi a tanulmány **0,1%-os tévesriasztási-valószínűségi küszöbét**. Ez a küszöb azt kérdezi, hogy a teszt feltételezései mellett a zaj milyen gyakran hozna létre legalább ilyen erős periodogramcsúcsot. Nem jelenti azt, hogy 99,9% annak a valószínűsége, hogy létezik kísérő, és önmagában azt sem mondja meg, hogy egy vagy két objektum van-e.

> **Mit állapíthat meg egy radiálissebesség-jel?**
>
> A radiális sebesség a spektrumvonalak ismételt eltolódását a megfigyelő felé és attól elfelé irányuló mozgás mérésévé alakítja. Egy ismétlődő mintát pályaegyenletekkel lehet illeszteni, így következtetni lehet a periódusra, a mért imbolygás nagyságára és a kísérő minimális tömegére.
> A módszer azonban nem fényképezi le közvetlenül a kísérőt. Egy csillag vagy szubcsillagászati objektum légköre is eltolhatja a spektrumvonalakat, a megfigyelési időpontok félrevezető ritmust hozhatnak létre, és különböző pályaelrendezések utánozhatják egymást. A jel, annak fizikai magyarázata és a kikövetkeztetett objektum neve külön kérdés.

A mintavételezés önmagában is figyelmet érdemel, mielőtt pályamegoldást választunk. Négy különösen alacsony radiálissebesség-mérés jelentős súlyt kap a mintázatban. Két párban, a beszámoló szerint jó körülmények között történtek, és egyik pont önmagában sem hozta létre a jelet, amikor a szerzők egyenként elhagyták a méréseket és megismételték az elemzést. Mégis csak a lehetséges pályafázisok egy részét mintázták meg. Több mint két évre szétszórt huszonhárom éjszaka nem azonos a folyamatos lefedéssel.

A szerzők egy lehetséges féléves műterméket is teszteltek. A Föld változó mozgásának vagy a műszerprofilnak a tökéletlen korrekciója hamis éves jelet hozhatna létre, amelyet a mintavételezés fél földi évre, vagyis **182,5 napra** aliasol. Az előnyben részesített periódus **171,11 nap**, +0,53/-0,36 napos bizonytalansággal; a szerzők szerint ez körülbelül 20 szórásnyira van a 182,5 naptól. Arról is beszámolnak, hogy nem találtak korrelációt a Föld változó mozgásával, a seeinggel, a légköri vízgőzzel vagy a vizsgált műszertulajdonságokkal. Ezek fontos kontrollok. Elég meggyőzővé teszik a keringési magyarázatot ahhoz, hogy modellezzék, de önmagukban nem azonosítják az objektumot.

# A legegyszerűbb pályamagyarázat: egy kísérő

Az előnyben részesített modellben egy objektum 171,11 naponta excentrikus, vagyis valamelyest elnyúlt pályán kering a barna törpe körül. Az illesztett pálya excentricitása körülbelül **0,27**, fél nagytengelye pedig körülbelül **0,200 csillagászati egység** - nagyjából a Föld–Nap átlagos távolságának egyötöde.

A mért imbolygás amplitúdója körülbelül **318 méter másodpercenként**. Ebből a mozgásból a modell a kísérő minimális tömegét körülbelül **0,92 Jupiter-tömegre** teszi.

A *minimális* szó fontos. A radiális sebesség csak a pályamozgásnak azt a részét méri, amely felénk vagy tőlünk elfelé irányul. Ha egy pályát éléről látunk, mozgásának nagy része ebben az irányban jelenik meg. Ha inkább lapjáról látjuk, a mozgás nagy része az ég síkjában történik, és ugyanahhoz a mért imbolygáshoz nagyobb tömegű kísérő kellene.

A csillagászok ezt **m sin(i)** alakban írják: a tömeg szorozva a pálya ismeretlen inklinációjának, vagyis látószögének szinuszával. Az adatok ezt a szorzatot korlátozzák, nem önmagában a valódi tömeget. A körülbelül 0,92 Jupiter-tömeg tehát alsó korlát, nem az objektum pontos tömegének mérése.

> **Miért rejti el a tömeget a látószög?**
>
> Képzeljük el, hogy oldalról nézünk egy körpályát. A futó újra és újra felénk, majd tőlünk elfelé mozog, ezért a mozgásnak ez az összetevője könnyen mérhető. Most nézzünk ugyanarra a pályára felülről. A futó többnyire keresztben mozog a látómezőnkben, és alig közeledik vagy távolodik.
> A radiális sebesség csak az első összetevőt látja. A `sin(i)` matematikai tényező írja le, a pályamozgás mekkora része mutat a látóirányunkba. Amíg az `i` inklináció nem ismert, a kikövetkeztetett tömeg minimum marad.

A szerzők ezután azt kérdezték, fennmaradhat-e ez a pálya anélkül, hogy a rendszer gyorsan szétesne. Numerikus tesztjeik szerint az egykísérős modell általában stabil. Ez fizikailag hihető értelmezéssé teszi a jelet. Nem jelent második detektálást.

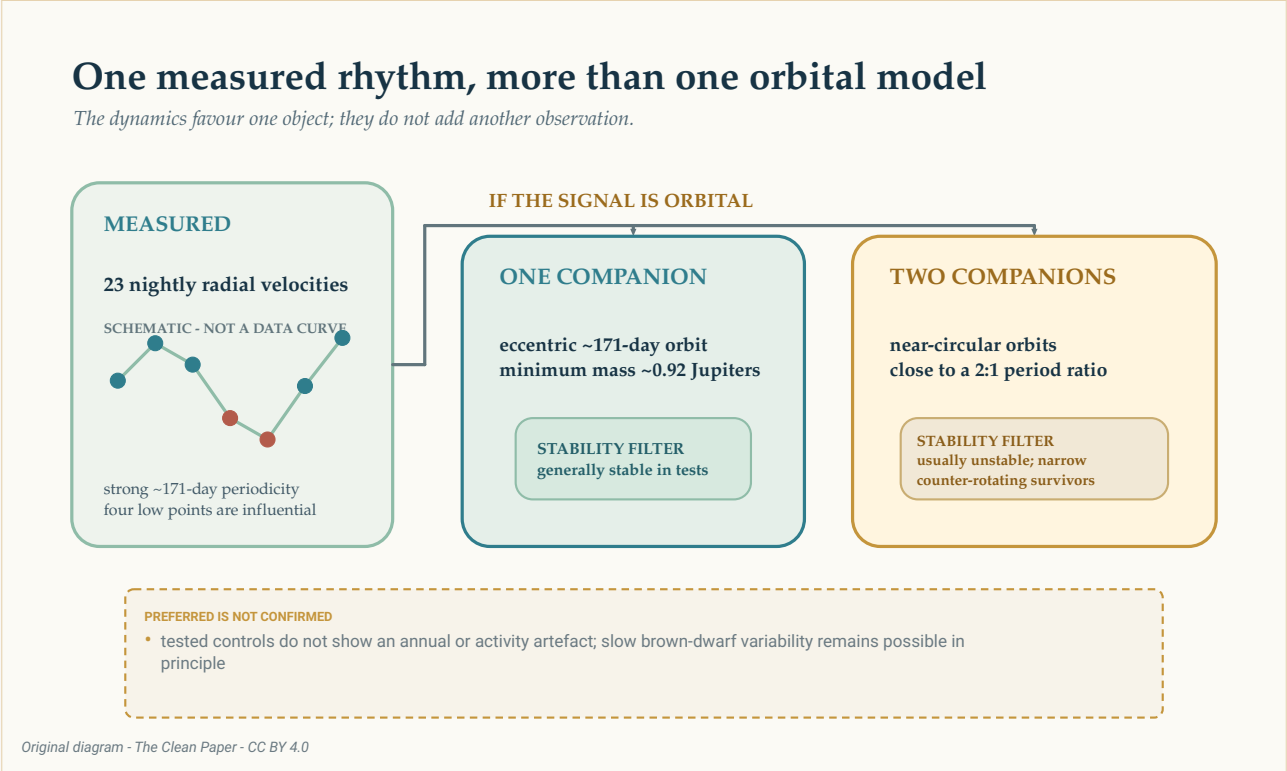
# A kellemetlen válasz: két kísérő utánozhat egyet

Az excentrikus radiálissebesség-jelnek ismert kétértelműsége van. Bizonyos feltételek mellett két, közel körpályán keringő objektum, amelyek egyikének a keringési ideje körülbelül kétszerese a másikénak, együttesen olyan mintát hozhat létre, amely egyetlen, elnyúlt pályán keringő objektumhoz hasonlít.

Ez a kétértelműség itt is megjelenik. Egy kétkísérős modell illesztheti a jelenlegi méréseket egy 171 nap körüli külső és egy rövidebb periódusú belső jellel. Mivel a megfigyelési időpontok nem egyenletesen mintázzák az összes fázist, a rövidebb jelnek több aliasa van. Mivel a 23 kiválasztott éjszaka között hosszú hézagok vannak, különböző próbaperiódusok eltérő számú nem megfigyelt ciklust tehetnek a látogatások közé, mégis ugyanazokhoz a mérésekhez igazodhatnak. A 14, 70, 88 és 115 nap körüli jelölt periódusok ezért egyetlen, rosszul mintázott rövidebb jel alternatív illesztései, nem négy egymástól függetlenül észlelt ritmus.

A szerzők elvetik a rosszul meghatározott 13–17 napos ablakot. Ebben a tartományban az illesztés nem emel ki egyetlen meggyőző periódust: sok, egymáshoz közeli, 20 nap alatti megoldás képes reprodukálni a ritkán mintázott méréseket, ezért az egész ablak valószínűleg mintavételi műtermék. A megmaradó ablakok közül a körülbelül 88 napos megoldás jobban illeszkedik a nagyjából 70 és 115 napos alternatíváknál, de nem eléggé ahhoz, hogy a tanulmány ismert második periódust állítson. A táblázatos legjobb illesztésben a külső objektum minimális tömege körülbelül 0,87 Jupiter-tömeg, a

belsőé pedig körülbelül 0,22 Jupiter-tömeg. Ezek a számok egy kevésbé támogatott modellt írnak le; nem két bizonyított világ mérései.




Ha a körülbelül 171 napos jel keringési eredetű, ugyanaz a tág radiálissebesség-minta leírható egy excentrikus kísérővel vagy két, közel körpályán keringő kísérővel, amelyek periódusaránya közel kettő az egyhez. A stabilitási tesztek az egyobjektumos értelmezést támogatják, de nem változtatnak egy modellt képpé, és nem zárják ki a barna törpe lassú változékonyságának minden formáját.

The Clean Paper CC BY 4.0

A stabilitási számítások tovább élesítik az összehasonlítást. A legtöbb tesztelt kétkísérős elrendezés néhány száz szimulált éven belül kilökte az egyik objektumot. A túlélő konfigurációk egy szűk és szokatlan tartományban voltak, ahol a pályák közel ugyanabban a síkban feküdtek, de ellentétes irányban haladtak. A gazdacsillag további instabil tartományokat hozott létre.

Ez ok arra, hogy a tesztelt kétkísérős rendszerekkel szemben egyetlen excentrikus kísérőt részesítsünk előnyben. Nem bizonyítja, hogy a természet az egyszerűbb modellt választotta. A stabilitás a radiális sebességek megmérése után szűri a lehetséges értelmezéseket; nem ad újabb megfigyelt pontot a görbéhez.

### Hogyan nézhet ki egy excentrikus pálya két körpályának?

Egy tökéletes körpálya egyszerű, ismétlődő radiálissebesség-hullámot hoz létre. Az excentrikus pálya torzításokat ad ehhez a hullámhoz. Két körpálya, közel kettő az egyhez periódusaránnyal, úgy adódhat össze, hogy az egyik jel adja a fő ritmust, a másik pedig hasonló torzítást.

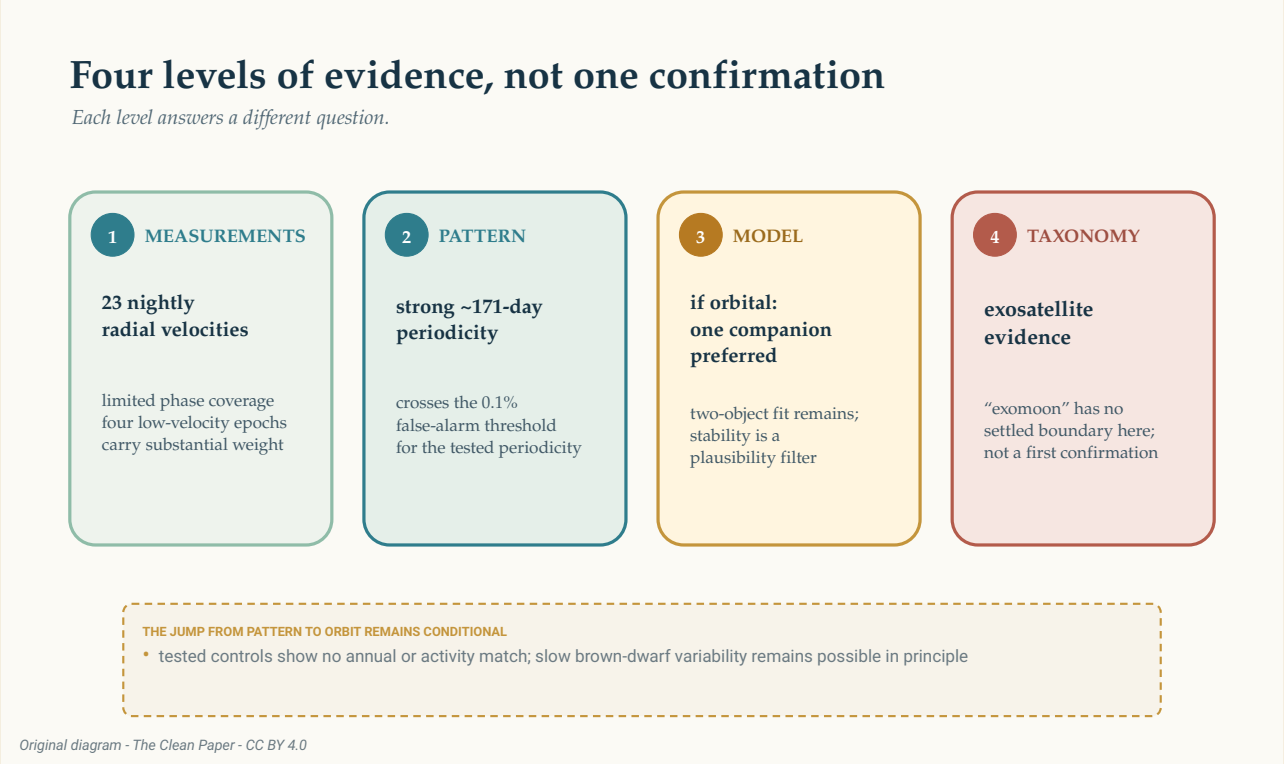
> Ez **pályadegeneráció**: különböző fizikai rendszerek hasonló méréseket hoznak létre. Több megfigyelés olyan időpontokban, amikor a modellek eltérő sebességeket jósolnak, feloldhatja a holtversenyt. A dinamikai teszt azzal segít, hogy megkérdezi, fennmaradhat-e az egyes javasolt rendszerek, de nem helyettesíti ezeket a megfigyeléseket.

# Jöhet-e a ritmus magától a barna törpétől?

A barna törpe nem néma teszttömeg. Légköre forog, felhőket képez és mágneses aktivitása is lehet. A változó felszíni mintázatok átformálhatják a spektrumvonalakat és mozgást utánozhatnak.

A CD-35 2722 B becsült maximális forgási periódusa körülbelül **0,65 nap**, jóval rövidebb 171 napnál. A kutatócsoport az általuk tesztelt aktivitási modellekben nem talált erős rövid forgási jelet, sem meggyőző felhő- vagy granulációszerű jelet. Az éves mintavételezést és műszeres mennyiségeket is megvizsgálták anélkül, hogy egyezést találtak volna a 171 napos ritmussal.

Ezek a vizsgálatok szűkítik az alternatívákat, de a tanulmány nem állítja, hogy minden belső változékonyságot kizárt. A barna törpe hosszú időskálájú mágneses aktivitása vagy légköri cirkulációja elvben továbbra sem zárható ki. Ennek a megmaradó lehetőségnek a pályamodellek mellett van a helye, nem utánuk elrejtve.




A bizonyíték egymástól elkülönülő szinteken épül fel: 23 éjszakai radiálissebesség-mérés korlátozott fázislefedéssel, egy erős, körülbelül 171 napos periodicitás, egy előnyben részesített egykísérős modell, ha a jel keringési eredetű, végül pedig egy rendezetlen „exohold" elnevezés. A létra különválasztja a mérést, a

statisztikai mintázatot, a fizikai értelmezést és a taxonómiát; nem megerősítési nyíl.

The Clean Paper CC BY 4.0

# Exohold-e?

A Naprendszerben a hold bolygó körül kering. A CD-35 2722 B barna törpe, és a kikövetkeztetett kísérő valódi tömege még nem ismert. A megszokott nevek kezdenek feszülni, amikor az egyik objektum a bolygó–barna törpe határ, a másik pedig a hold–bolygó határ közelében van.

A tanulmány nem állítja, hogy ez lenne az első megerősített exohold. Azt írja, hogy exoholdat még nem sikerült magabiztosan kimutatni, bizonyítékot mutat be egy bolygótömegű **exosatellite** mellett, és a rendszert egy egyértelmű detektálás felé tett lépésnek nevezi. A lehetséges újdonságról szóló tárgyalása feltételesen indul: ha a jel valóban valósnak bizonyul.

Ez az óvatosság nem teszi üressé az eredményt. Egy halvány barna törpe kísérő radiális sebességének közvetlen mérése nehéz. Ha a további megfigyelések megőrzik a jelet, a rendszer azt mutatná, hogy a bolygókeresési módszerek egy égi hierarchiával beljebb is elérnek.

Egy újabb megfigyelési szezon többet tehet annál, hogy pontokat ad a görbéhez. Az egy- és kétkísérős modellek bizonyos jövőbeli időpontokra eltérő sebességeket jósolnak. A hiányzó pályafázisokat kitöltő mérések tesztelhetik, fennmarad-e a 171 napos ritmus, csökkenthetik a négy alacsony pont befolyását, és eltávolíthatják egymástól a versengő görbéket.

Egyelőre a legőszintébb kép nem egy új hold, amely egy barna törpe mellett lóg. Hanem egy spektrum, éjszakáról éjszakára megismételve, benne egy kicsi, periodikus eltolódással. Lehet egy világ ebben a ritmusban. Az eredmény annak megtanulása, mennyi következtethető ki belőle anélkül, hogy úgy tennénk, a következtetés már teljes.

# Röviden

A csillagászok 23 jó minőségű éjszakán mérték a közvetlenül leképzett CD-35 2722 B barna törpe radiális sebességét 2023 októbere és 2026 februárja között. Spektrumvonalai erős, 171 nap körüli periodikus eltolódást mutatnak. Az előnyben részesített pályamodell egy excentrikus kísérőt tartalmaz, amelynek minimális tömege közel 0,92 Jupiter-tömeg, de a valódi tömeg ismeretlen, mert a pálya inklinációja ismeretlen. Két, közel körpályán keringő kísérő utánozhatja ugyanezt a tág jelet, bár a legtöbb tesztelt kétobjektumos konfiguráció dinamikailag instabil volt. Négy alacsony sebességű epocha nagy befolyású, és a pályafázis-lefedettség korlátozott marad: a megfigyelések csak a lehetséges 171 napos ciklus kiválasztott részeit mintázzák, nem követik folyamatosan minden fázison át. A tesztek nem azonosították a forgást, az éves mintavételezést, az időjárást vagy a vizsgált műszertulajdonságokat a jel forrásaként, de a barna törpe hosszú időskálájú változékonysága elvben nem zárható ki. A láthatatlan objektumot nem képezték le közvetlenül, az egyobjektumos modell előnyben részesített, nem megerősített, és nincs elfogadott szabály arra, hogy egy barna törpe körül keringő

bolygótömegű égitest exoholdnak számít-e.

# Tárgyilagos mérleg

**Mit figyeltek meg:** A CD-35 2722 B huszonhárom éjszakai radiálissebesség-mérése erős, körülbelül 171 napos periodicitást tartalmaz. Magát a barna törpét közvetlenül leképezték; a javasolt kísérőt nem.

**Mit részesítenek előnyben a szerzők:** Ha a jel keringési eredetű, egyetlen, excentrikus, minimum közel Jupiter-tömegű kísérő adja a jelenlegi adatok legegyszerűbb, dinamikailag hihető értelmezését.

**Mi marad nyitott:** Két kísérő is illesztheti a radiális sebességeket, bár a tesztelt rendszerek többnyire instabilak; a barna törpe hosszú időskálájú változékonysága elvben nincs kizárva; az ismeretlen látószög pedig meghatározatlanul hagyja a kísérő valódi tömegét.

**Mit nem állapít meg a tanulmány:** Egy első megerősített exoholdat, egy közvetlenül látott kísérőt, pontosan egy keringő objektumot, 0,92 Jupiter-tömegű valódi tömeget vagy 99,9%-os valószínűséget arra, hogy az előnyben részesített fizikai modell helyes.

**Mi növelné a bizalmat:** További radiálissebesség-mérések, amelyek több pályafázist fednek le, tesztelik, hogy fennmarad-e a 171 napos jel, és olyan időpontokat mintáznak, amikor az egy- és kétkísérős modellek eltérő jóslatokat adnak.

## Források

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