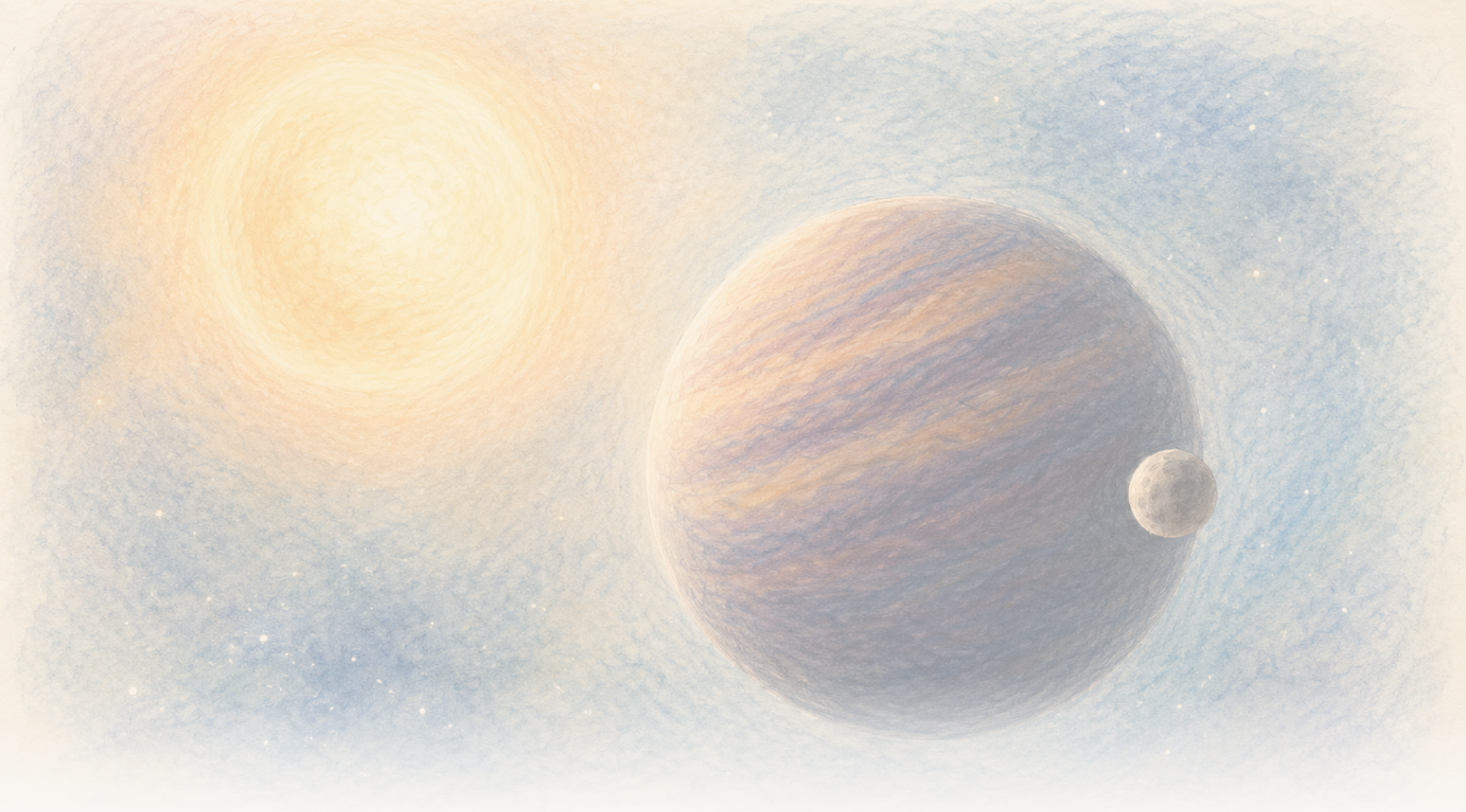


The Clean Paper

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

# Bir kahverengi cüce yaklaşık her 171 günde bir yalpalıyor gibi görünüyor. Görünmeyen tek bir dünya onu çekiyor olabilir, ama veriler hâlâ iki nesneye de izin veriyor

*Yirmi üç yüksek kaliteli spektrum, CD-35 2722 B'nin hareketinde güçlü periyodik bir kayma ortaya koyuyor. Tercih edilen model, minimum kütlesi Jüpiter'e yakın tek bir eksantrik eşlikçi; ancak iki nesneli bir model aynı sinyali taklit edebiliyor, yavaş kahverengi cüce değişkenliği ilke olarak mümkün kalıyor ve burada "ekzouydu" sözcüğünün kesinleşmiş bir sınırı yok.*

---

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

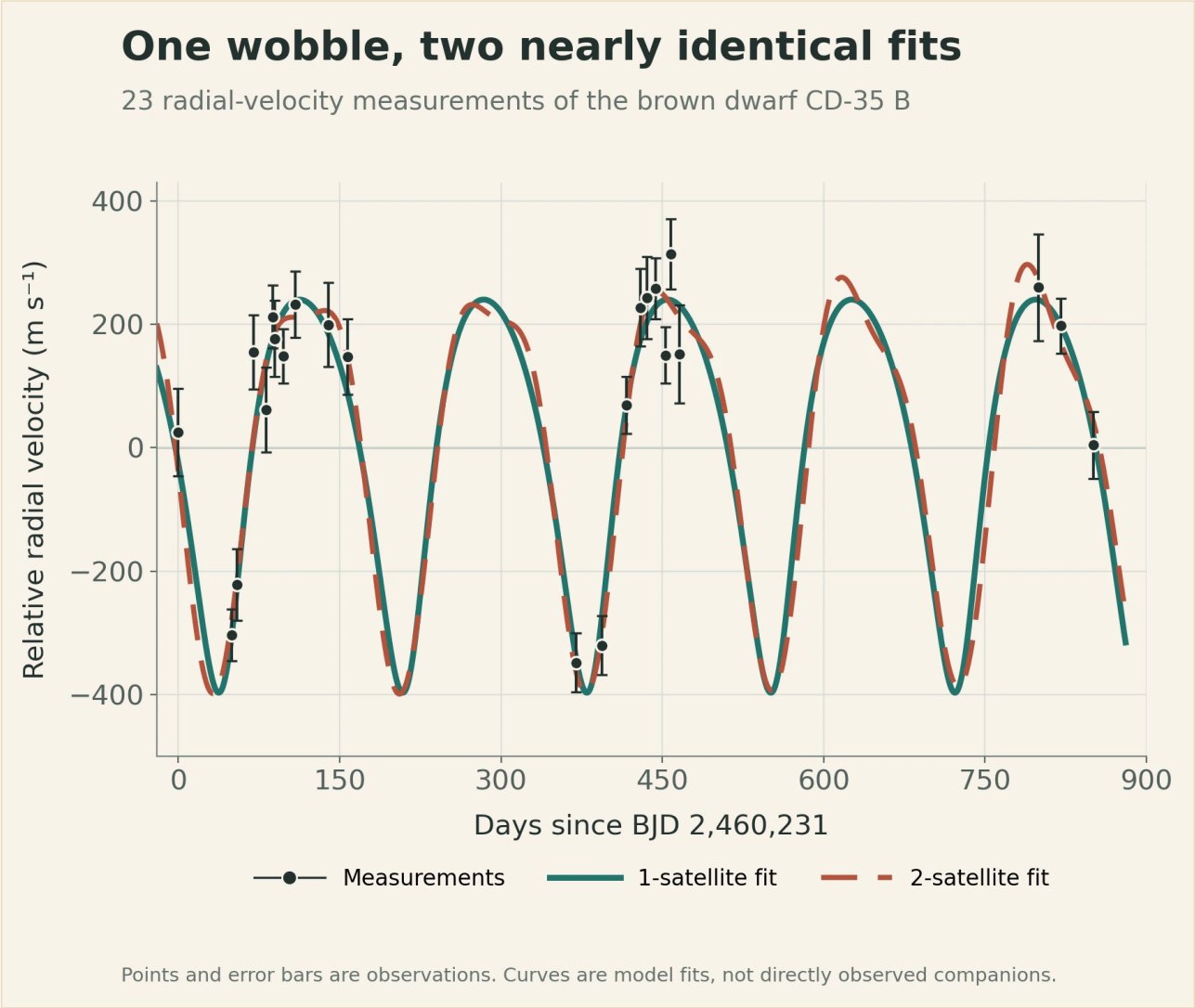
# Bir kahverengi cüce yaklaşık her 171 günde bir yalpalıyor gibi görünüyor. Görünmeyen tek bir dünya onu çekiyor olabilir, ama veriler hâlâ iki nesneye de izin veriyor

Gökbilimciler CD-35 2722 B'yi, çevresinde dolandığı yıldızdan ayrı bir ışık noktası olarak görebiliyor. Bu bir kahverengi cüce; dev gezegenlerle yıldızlar arasındaki kütle rejiminde yer alıyor: yaklaşık 37 Jüpiter kütlesiyle tipik bir dev gezegenden daha büyük, ama normal bir hidrojen yakan yıldız değil. Kahverengi cücenin kendisinin çevresinde dönüyor olabilecek daha küçük nesneyi ise göremiyorlar. Doğrulanırsa bu en içteki nesne, bir yıldızın çevresinde dolanan daha büyük bir yıldız-altı cismin çevresindeki ilk gözlenmiş uydu hiyerarşisini oluşturacak.

Bunun yerine gördükleri şey bir ritim. Bazı geceler kahverengi cücenin ışığı Dünya'ya doğru hareket ederken çok az kayıyor. Başka gecelerde kahverengi cüce bizden uzaklaşırken ters yönde kayıyor. Desen yaklaşık her **171 günde** bir tekrarlanıyor.

Bu ileri-geri hareket, görünmeyen bir eşlikçinin üretebileceği türden bir harekettir: iki nesne ortak bir kütle merkezinin çevresinde dönerken küçük olan büyük olanın çevresinde dolanır, ama büyük olan da çok daha küçük bir halka çizer. Bu ritim yörüngeselse, yeni bir Nature makalesi, CD-35 2722 B çevresinde ölçülen bu halka için tercih edilen açıklama olarak gezegen kütleli tek bir nesne sunuyor.

Bu dikkat çekici bir olasılık; bir ayın fotoğrafı değil. Yirmi üç yüksek kaliteli gözlem gecesi güçlü bir periyodik sinyal ortaya koyuyor. Bu sinyali bir dünyaya dönüştürmek bir model gerektiriyor ve mevcut veriler hâlâ birden fazla mimariye izin veriyor. Ayrıca kahverengi cücenin kendisindeki yavaş değişimleri de tümüyle dışlamıyorlar.




Siyah noktalar ve hata çubukları 23 gecelik radyal hız ölçümüdür. Düz ve kesikli eğriler, en iyi uyan bir-uydu ve iki-uydu modelleridir. Neredeyse üst üste gelmeleri, verilerin periyodik bir yalpalamayı ortaya çıkarırken sistemin mimarisini henüz belirleyememesinin nedenini gösterir; iki eğri de bir eşlikçinin doğrudan görüntüsü değildir.

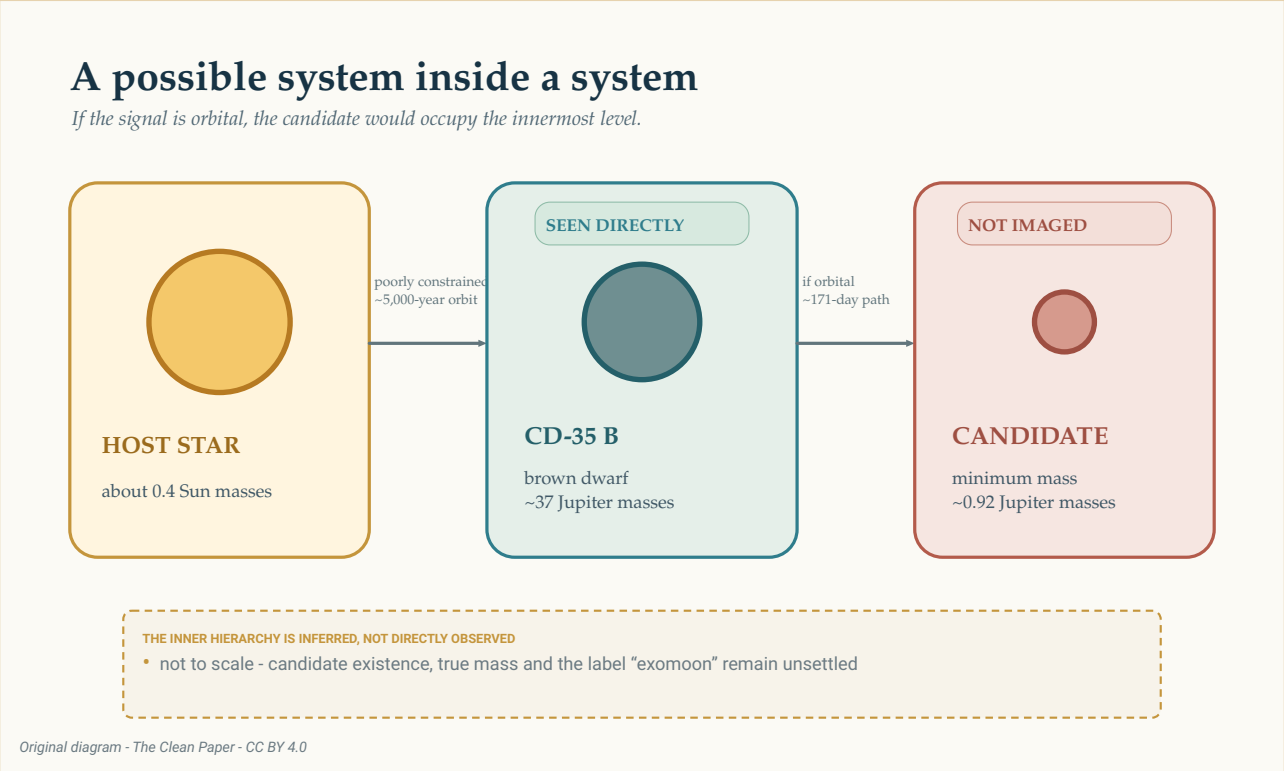
Original chart — The Clean Paper; data from Hoy et al., Nature (2026), Figure 1 source workbook CC BY 4.0

# Bir sistemin içinde başka bir sistem

CD-35 2722 B bir **kahverengi cücedir**: bildik kategorilerin arasında kalan bir nesne. Tipik bir dev gezegenden daha büyük kütlelidir, ancak normal bir hidrojen yakan yıldız gibi parlayacak kadar büyük değildir. Makale yaklaşık **37 Jüpiter kütlesi** tahminini kullanıyor.

Kahverengi cüce doğrudan görüntülemeyle keşfedildi; yani teleskoplar onun ışığını ev sahibi yıldızın ışığından ayrı çözebildi. Gökyüzünde yıldızdan yaklaşık 2,8 yay saniyesi uzaklıkta görünür. Çifti bağlayan geniş yörünge iyi bilinmiyor, ancak mevcut tahminler yaklaşık **5.000 yıl** süren oldukça uzamış bir yol öneriyor.

Periyodik sinyal yörüngeselse, çıkarılan mimari adayı bir seviye daha içeri yerleştirir: bir yıldızın çevresinde dönen bir kahverengi cüce ve o kahverengi cücenin çevresinde dolanan gezegen kütleli bir eşlikçi.




Sinyal yörüngeselse aday, bu olası hiyerarşinin en iç düzeyinde yer alacaktır. Yalnızca kahverengi cüce doğrudan görülmüştür. Yıldızın çevresindeki dış yörünge iyi kısıtlanmamışken, yaklaşık 171 günlük iç yol kahverengi cücenin ölçülen yalpalamasından çıkarılmıştır. Boyutlar ve uzaklıklar ölçekli değildir.

The Clean Paper CC BY 4.0

Bu olası hiyerarşiyi çizmek kolaydır. Fiziksel gerçekliği ve kullanılacak sözcükler ise kesinleşmiş değildir. Bir kahverengi cücenin çevresinde dönen gezegen kütleli bir cisim ay mı, gezegen mi, yoksa yalnızca uydu mu sayılır? Gökbilimciler bu soruyu kesin biçimde çözen kabul edilmiş bir kurala sahip değil. Makale bu nedenle daha geniş olan **ekzouydu** sözcüğünü kullanıyor.

## 23 gece nasıl bir yalpalamaya dönüştü

Ekip CD-35 2722 B'yi (bkz. NASA Eyes on Exoplanets kaydı) Avrupa Güney Gözlemevi'nin Çok Büyük Teleskobu üzerindeki yüksek çözünürlüklü CRIRES+ spektrografıyla gözledi. Ekim 2023 ile Şubat 2026 arasında 26 gözlem dönemi elde ettiler. Birinde sinyal çok zayıftı; kötü hava koşullarında alınan iki gözlem ise reddedilip tekrarlandı. Böylece geriye **23 yüksek kaliteli gece** kaldı.

Bir spektrograf ışığı ayrıntılı bir çizgi desenine ayırır. Kaynak Dünya'ya doğru ya da Dünya'dan uzağa hareket ettiğinde bu çizgiler çok küçük miktarda kayar. Görüş doğrultusundaki bu hareketin tekrarlanan ölçümlerine **radyal hızlar** denir. Bunlar gizli cismi göstermez. Gözlenen cismin görünmeyen

bir çekim etkisi altında nasıl hareket ediyor olabileceğini gösterir.

Ölçümlerdeki en güçlü periyodiklik yaklaşık 170 gündedir. Çalışmanın **%0,1 yanlış alarm olasılığı eşiğini** aşar. Bu eşik, testin varsayımları altında gürültünün en az bunun kadar güçlü bir periodogram tepesini ne sıklıkta oluşturacağını sorar. Bir uydunun var olma olasılığının %99,9 olduğu anlamına gelmez ve kendi başına bir mi iki mi eşlikçi bulunduğu hakkında hiçbir şey söylemez.

> **Bir radyal hız sinyali neyi ortaya koyabilir?**
>
> Radyal hız, spektral çizgilerde tekrarlanan kaymaları gözlemciye doğru ve gözlemciden uzağa hareket ölçümlerine dönüştürür. Tekrarlanan bir desen yörünge denklemleriyle modellenebilir; böylece araştırmacılar periyodu, ölçülen yalpalamanın büyüklüğünü ve minimum eşlikçi kütlesini çıkarabilir.
> Ancak yöntem eşlikçinin doğrudan fotoğrafını çekmez. Bir yıldız ya da yıldız-altı atmosfer de spektral çizgileri kaydırabilir, gözlem takvimi yanıltıcı ritimler yaratabilir ve farklı yörünge düzenleri birbirini taklit edebilir. Sinyal, fiziksel açıklaması ve çıkarılan nesneye verilen ad birbirinden ayrı sorulardır.

Yörünge yanıtından önce örnekleme düzenine dikkat etmek gerekir. Özellikle düşük dört radyal hız ölçümü desende önemli ağırlığa sahip. Bunlar iyi olduğu bildirilen koşullarda ikişerli iki grup halinde gerçekleşti ve yazarlar her seferinde bir noktayı çıkarıp analizi tekrarladığında hiçbir tek nokta sinyali tek başına üretmedi. Buna rağmen olası yörünge fazlarının yalnızca bir bölümü örneklendi. İki yıldan uzun bir süreye yayılmış yirmi üç gece, sürekli kapsama ile aynı şey değildir.

Yazarlar ayrıca olası bir yarım yıllık artefaktı test etti. Dünya'nın değişen hareketinin ya da cihaz profilinin kusurlu düzeltilmesi, örneklemenin yarım Dünya yılına, yani **182,5 güne**, aliaslayacağı sahte bir yıllık sinyal oluşturabilirdi. Tercih edilen periyot **171,11 gün**, belirsizliği ise +0,53/-0,36 gündür; yazarlar bunun 182,5 günden yaklaşık 20 standart sapma uzakta olduğunu bildiriyor. Ayrıca Dünya'nın değişen hareketi, görüş koşulları, atmosferik su buharı ya da inceledikleri cihaz özellikleriyle bir korelasyon bulmadıklarını belirtiyorlar. Bunlar önemli kontrollerdir. Yörünge açıklamasını modellemeye yetecek kadar ikna edici kılarlar, ancak nesnenin ne olduğunu kendi başlarına belirlemezler.

## En basit yörünge yanıtı: tek eşlikçi

Tercih edilen modelde tek bir nesne, kahverengi cücenin çevresinde her 171,11 günde bir eksantrik, yani biraz uzamış bir yörüngede dolaşıyor. Uydurulan yörüngenin eksantrikliği yaklaşık **0,27**, yarı büyük ekseni ise yaklaşık **0,200 astronomik birim** — ortalama Dünya-Güneş uzaklığının kabaca beşte biri.

Ölçülen yalpalamanın genliği yaklaşık **saniyede 318 metre**. Model bu hareketten eşlikçiye yaklaşık **0,92 Jüpiter kütlesi** minimum kütle veriyor.

*Minimum* sözcüğü önemlidir. Radyal hız yalnızca yörünge hareketinin bize doğru ve bizden uzağa

yönelmiş bölümünü ölçer. Bir yörünge kenardan görülürse hareketinin büyük kısmı bu doğrultuda görünür. Daha yüzeyden, yani bize daha düz bakacak şekilde görülürse hareketin büyük bölümü gökyüzü düzleminden geçer ve aynı ölçülen yalpalamayı üretmek için daha büyük kütleli bir eşlikçi gerekir.

Gökbilimciler sonucu **m sin(i)** olarak yazar: kütle, yörüngenin bilinmeyen eğiminin veya görüş açısının sinüsüyle çarpılır. Veriler gerçek kütlenin kendisini değil bu çarpımı kısıtlar. Dolayısıyla yaklaşık 0,92 Jüpiter kütlesi kesin kütle ölçümü değil, alt sınırdır.

> **Görüş açısı kütleyi neden gizler?**
>
> Dairesel bir parkuru yandan izlediğinizi düşünün. Koşucu tekrar tekrar size doğru ve sizden uzağa hareket eder; bu hareket bileşenini ölçmek kolaydır. Şimdi aynı parkura yukarıdan bakın. Koşucu çoğunlukla görüş alanınız boyunca hareket eder, size doğru veya sizden uzağa çok az hareket eder.
> Radyal hız yalnızca ilk bileşeni görür. Matematiksel `sin(i)` çarpanı, yörünge hareketinin ne kadarının görüş doğrultumuza yöneldiğini açıklar. Eğim `i` bilinmedikçe çıkarılan kütle minimum olarak kalır.

Yazarlar daha sonra bu yörüngenin hızla kendi kendini yok etmek yerine kalıcı olup olamayacağını sordu. Sayısal testleri tek eşlikçili modelin genel olarak kararlı olduğunu buldu. Bu, onu sinyalin fiziksel olarak makul bir yorumu yapar. İkinci bir tespit oluşturmaz.

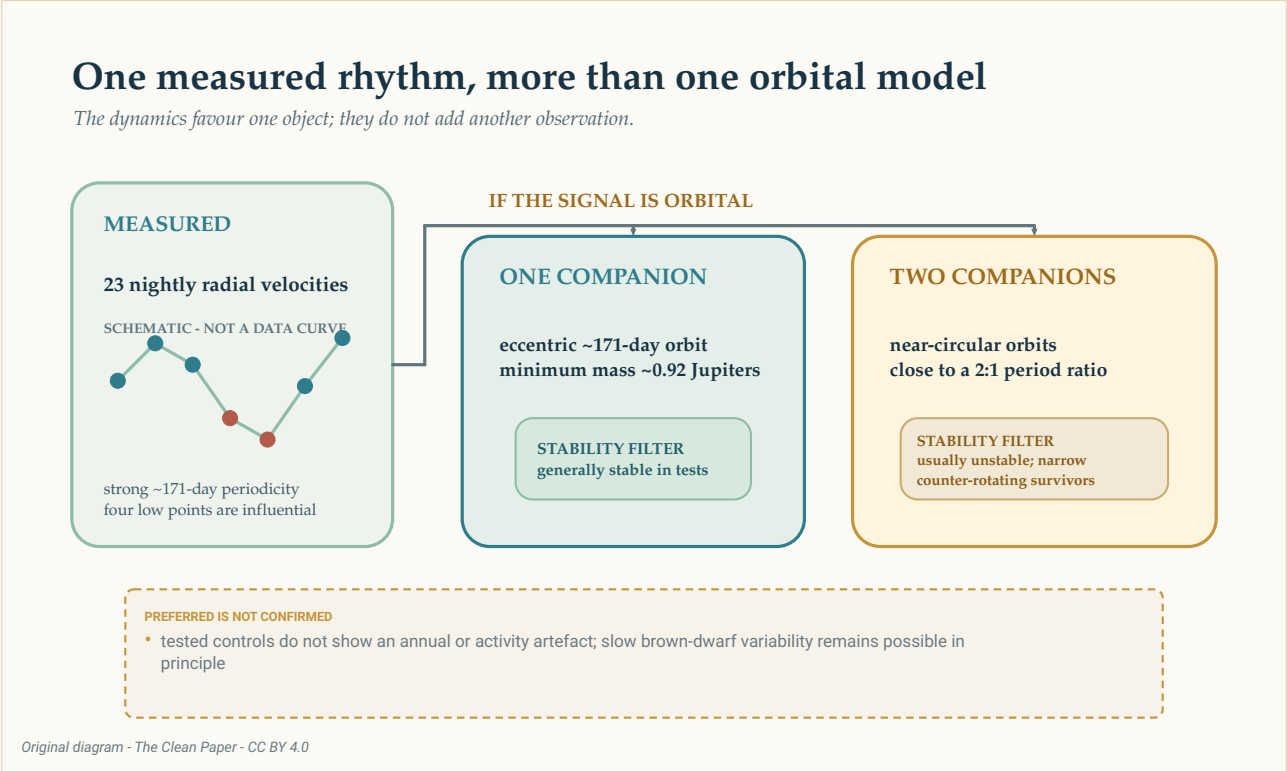
## Rahatsız edici yanıt: iki eşlikçi tekmiş gibi görünebilir

Eksantrik bir radyal hız sinyalinin bilinen bir belirsizliği vardır. Bazı koşullarda, biri diğerinin yaklaşık iki katı sürede dönen ve neredeyse dairesel yörüngelerde bulunan iki nesne, uzamış bir yörüngedeki tek bir nesneye benzeyen birleşik bir desen üretebilir.

Bu belirsizlik burada da ortaya çıkıyor. İki eşlikçili bir model, yaklaşık 171 günlük bir dış sinyal ve daha kısa periyotlu bir iç sinyalle mevcut ölçümlere uyabiliyor. Gözlem zamanları her fazı eşit örneklemediğinden kısa sinyalin birkaç aliası bulunuyor. Seçilen 23 gece arasında uzun boşluklar olduğundan, farklı deneme periyotları ziyaretler arasında farklı sayıda görülmemiş çevrim varsayıp yine aynı ölçümlerle hizalanabiliyor. Bu nedenle 14, 70, 88 ve 115 gün civarındaki aday periyotlar, bağımsız olarak saptanmış dört ritim değil; yetersiz örneklenmiş tek bir kısa sinyal için alternatif uyumlardır.

Yazarlar 13-17 günlük, kötü kısıtlanmış pencereyi reddediyor. Bu bölgede uyum tek bir ikna edici periyodu ayıramıyor: yaklaşık 20 günün altındaki birçok yakın çözüm düşük kadanslı ölçümleri yeniden üretebiliyor; bu da tüm pencerenin muhtemelen örnekleme artefaktı olduğunu düşündürüyor. Kalan pencereler arasında yaklaşık 88 günlük çözüm, yaklaşık 70 ve 115 günlük alternatiflerden daha iyi uyuyor, ancak makalenin bilinen ikinci bir periyot iddia etmesine yetecek kadar değil. Tablodaki en iyi uyumda dış nesnenin minimum kütlesi yaklaşık 0,87 Jüpiter kütlesi, iç nesneninki yaklaşık 0,22 Jüpiter kütlesidir. Bu sayılar tercih edilmeyen bir modeli tanımlar;

kurulmuş iki dünyanın ölçümü değildir.




Yaklaşık 171 günlük sinyal yörüngeselse, aynı genel radyal hız deseni tek bir eksantrik eşlikçiyle ya da yaklaşık ikiye bir periyot oranına yakın iki neredeyse dairesel eşlikçiyle temsil edilebilir. Kararlılık testleri tek nesne yorumunu destekler, ancak bir modeli görüntüye dönüştürmez ve kahverengi cücenin her türlü yavaş değişkenliğini dışlamaz.

The Clean Paper CC BY 4.0

Kararlılık hesaplamaları karşılaştırmayı keskinleştiriyor. Test edilen iki eşlikçili düzenlerin çoğunda, simüle edilen birkaç yüz yıl içinde nesnelerden biri sistemden atıldı. Hayatta kalan yapılandırmalar, yörüngelerin yaklaşık aynı düzlemde bulunduğu ama ters yönlerde hareket ettiği dar ve sıra dışı bir bölgede yer aldı. Ev sahibi yıldız başka kararsız bölgeler de oluşturdu.

Bu, test edilen iki eşlikçili sistemler yerine tek bir eksantrik eşlikçiyi tercih etmek için bir nedendir. Doğanın daha basit modeli seçtiğinin kanıtı değildir. Kararlılık, radyal hızlar ölçüldükten sonra olası yorumları filtreler; eğriye yeni bir gözlem noktası eklemez.

### Tek bir eksantrik yörünge nasıl iki dairesel yörüngeye benzeyebilir?

Mükemmel dairesel bir yörünge basit, tekrarlanan bir radyal hız dalgası üretir. Eksantrik bir yörünge bu dalgaya bozulmalar ekler. Periyotları yaklaşık ikiye bir oranında olan iki dairesel yörünge birleştiğinde bir sinyal ana ritmi, diğeri ise benzer bir bozulmayı sağlayabilir.
Bu bir **yörüngesel dejenerasyondur**: farklı fiziksel sistemler benzer ölçümler üretir. Modellerin farklı hızlar öngördüğü zamanlarda yapılacak daha fazla gözlem eşitliği bozabilir. Dinamik test, önerilen her sistemin hayatta kalıp kalamayacağını sorarak yardımcı olur, ancak

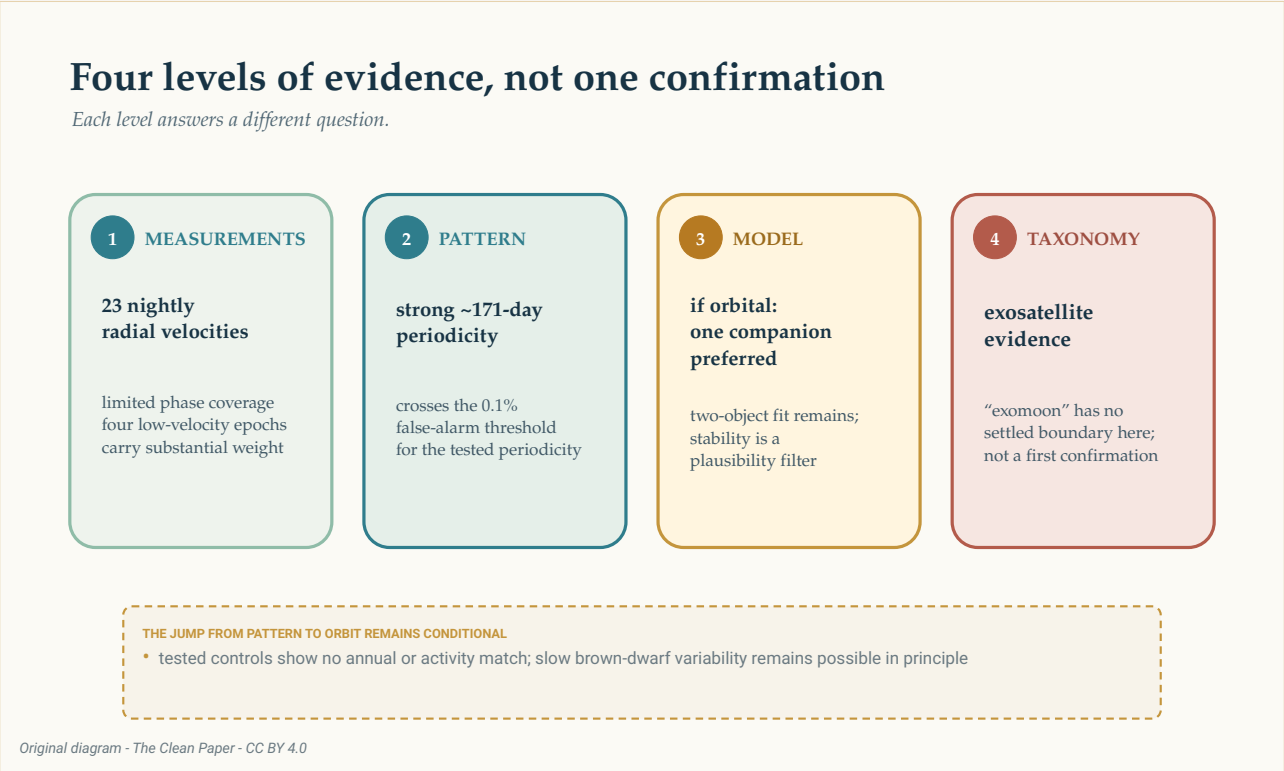
> bu gözlemlerin yerini alamaz.

# Ritim kahverengi cüceden geliyor olabilir mi?

Bir kahverengi cüce sessiz bir test kütlesi değildir. Atmosferi döner, bulutlar oluşturur ve manyetik etkinliğe sahip olabilir. Değişen yüzey desenleri spektral çizgilerin biçimini değiştirip hareketi taklit edebilir.

CD-35 2722 B'nin tahmini maksimum dönüş periyodu yaklaşık **0,65 gün**; 171 günden çok daha kısadır. Ekip test ettiği etkinlik modellerinde güçlü bir kısa dönüş sinyali ya da ikna edici bulut veya granülasyon benzeri bir sinyal geri kazanmadı. Ayrıca yıllık örneklemeyi ve cihaz niceliklerini inceleyip 171 günlük ritimle eşleşme bulmadı.

Bu kontroller alternatifleri daraltıyor, ancak makale tüm içsel değişkenliğin ortadan kaldırıldığını iddia etmiyor. Kahverengi cücedeki uzun zaman ölçekli manyetik etkinlik ya da atmosferik dolaşım ilke olarak dışlanamıyor. Bu kalan olasılık, yörünge modellerinin yanında yer almalı; onların arkasına gizlenmemeli.




Kanıt ayrı düzeylerden yükselir: sınırlı faz kapsaması olan 23 gecelik radyal hız, güçlü yaklaşık 171 günlük periyodiklik, sinyal yörüngeselse tercih edilen tek eşlikçi modeli ve son olarak kesinleşmemiş "ekzouydu" etiketi. Merdiven ölçümü, istatistiksel deseni, fiziksel yorumu ve sınıflandırmayı ayırır; bir doğrulama oku değildir.

The Clean Paper CC BY 4.0

# Bu bir ekzouydu mu?

Güneş Sistemi'nde bir ay bir gezegenin çevresinde döner. CD-35 2722 B bir kahverengi cücedir ve çıkarılan eşlikçinin gerçek kütlesi henüz bilinmiyor. Bir nesne gezegen-kahverengi cüce sınırına, diğeri ay-gezegen sınırına yakın olduğunda tanıdık adlar zorlanmaya başlar.

Makale ilk doğrulanmış ekzouyduyu iddia etmiyor. Henüz hiçbir ekzouydunun güvenle saptanmadığını söylüyor, gezegen kütleli bir **ekzouydu** için kanıt sunuyor ve sistemi tartışmasız bir tespitin yolunda bir adım olarak görüyor. Olası yenilik tartışması koşullu başlıyor: sinyalin gerçek çıkması halinde.

Bu ihtiyat sonucu boş kılmaz. Soluk bir kahverengi cüce eşlikçiden doğrudan radyal hız ölçmek zordur. Devam eden gözlemler sinyali korursa, sistem gezegen arama yöntemlerinin göksel bir hiyerarşinin bir seviye daha altına ulaşabildiğini gösterecektir.

Bir sonraki gözlem sezonu yalnızca yeni noktalar eklemekten fazlasını yapabilir. Tek ve iki eşlikçili modeller belirli gelecek zamanlarda farklı hızlar öngörüyor. Eksik yörünge fazlarını dolduran ölçümler 171 günlük ritmin sürüp sürmediğini test edebilir, dört düşük noktanın etkisini azaltabilir ve rakip eğrilerin birbirinden ayrılmasını sağlayabilir.

Şimdilik en dürüst görüntü, kahverengi cücenin yanında asılı yeni bir ay değildir. Gece gece tekrarlanan ve küçük bir periyodik kayma taşıyan bir spektrumdur. O ritmin içinde bir dünya olabilir. Başarı, çıkarım henüz tamamlanmış gibi davranmadan ondan ne kadar bilgi çıkarılabileceğini öğrenmektir.

# Kısa özet

Gökbilimciler, doğrudan görüntülenmiş kahverengi cüce CD-35 2722 B'nin radyal hızını Ekim 2023 ile Şubat 2026 arasında 23 yüksek kaliteli gecede ölçtü. Spektral çizgileri yaklaşık 171 günde güçlü bir periyodik kayma gösteriyor. Tercih edilen yörünge modelinde minimum kütlesi yaklaşık 0,92 Jüpiter kütlesi olan tek bir eksantrik eşlikçi var; ancak yörünge eğimi bilinmediği için gerçek kütle bilinmiyor. Neredeyse dairesel yörüngeli iki eşlikçi aynı genel sinyali taklit edebiliyor, ancak test edilen iki nesneli düzenlerin çoğu dinamik olarak kararsızdı. Dört düşük hızlı dönem etkili ve yörünge fazı kapsaması sınırlı: gözlemler olası 171 günlük çevrimin yalnızca seçilmiş bölümlerini örnekliyor, her fazı sürekli izlemiyor. Testler dönüşü, yıllık örneklemeyi, hava durumunu veya incelenen cihaz özelliklerini kaynak olarak belirlemedi; ancak uzun zaman ölçekli kahverengi cüce değişkenliği ilke olarak dışlanamıyor. Görünmeyen nesne doğrudan görüntülenmedi, tek nesne modeli doğrulanmış değil tercih edilen model ve kahverengi cücenin çevresindeki gezegen kütleli bir cismin ekzouydu sayılacağını belirleyen kesin bir kural yok.

# Abartısız değerlendirme

**Ne gözlendi:** CD-35 2722 B'nin 23 gecelik radyal hız ölçümünde yaklaşık 171 günlük güçlü bir periyodiklik var. Kahverengi cücenin kendisi doğrudan görüntülendi; önerilen eşlikçi görüntülenmedi.

**Yazarlar neyi tercih ediyor:** Sinyal yörüngeselse, minimum kütlesi Jüpiter'e yakın tek bir eksantrik eşlikçi mevcut verilerin en basit ve dinamik olarak makul yorumunu sağlıyor.

**Neler açık kalıyor:** İki eşlikçi radyal hızlara uyabiliyor, ancak test edilen sistemler genellikle kararsız; uzun zaman ölçekli kahverengi cüce değişkenliği ilke olarak dışlanmış değil; bilinmeyen görüş açısı da gerçek eşlikçi kütlesini belirsiz bırakıyor.

**Makale neyi ortaya koymuyor:** İlk doğrulanmış ekzouyduyu, doğrudan görülmüş bir uyduyu, tam olarak tek bir yörüngesel nesneyi, gerçek kütlesi 0,92 Jüpiter olan bir cismi ya da tercih edilen fiziksel modelin doğru olma olasılığının %99,9 olduğunu.

**Güveni ne artırır:** Daha fazla yörünge fazını kapsayan, 171 günlük sinyalin sürüp sürmediğini test eden ve tek- ve iki-eşlikçili modellerin farklı öngörüler yaptığı zamanları örnekleyen devam eden radyal hız ölçümleri.

## Kaynaklar

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