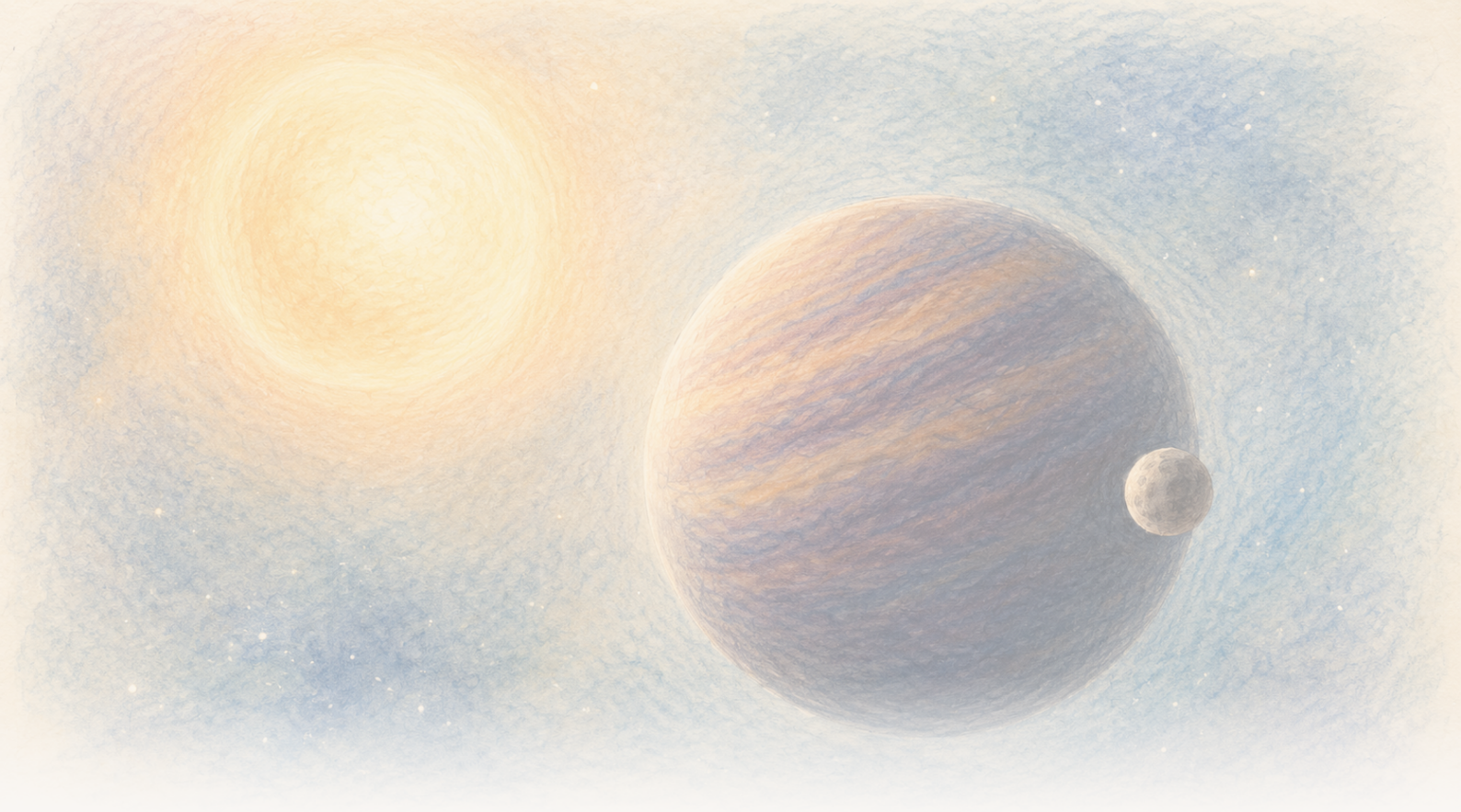


The Clean Paper

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

አንድ brown dwarf በ171 ቀናት ገደማ እየተወዛወዘ ይመስላል። አንድ የተደበቀ ዓለም እየጎተተው ሊሆን ይችላል፣ ግን መረጃው እስካሁን ሁለትንም ይፈቅዳል

23 ከፍተኛ-ጥራት spectra በCD-35 2722 B እንቅስቃሴ ውስጥ ጠንካራ የሚደጋገም ዘወር ያሳያሉ። ተመራጩ ሞዴል በJupiter ጅምላ አካባቢ ዝቅተኛ ጅምላ ያለው አንድ eccentric አጋር ነው፣ ግን የሁለት-ነገር ሞዴል ተመሳሳይ ምልክት ሊመስል ይችላል፣ ዝግ brown-dwarf variabilityም በመርህ ደረጃ ሊኖር ይችላል፣ "exomoon" የሚለው ቃልም እዚህ የተስማሙበት ድንበር የለውም።

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

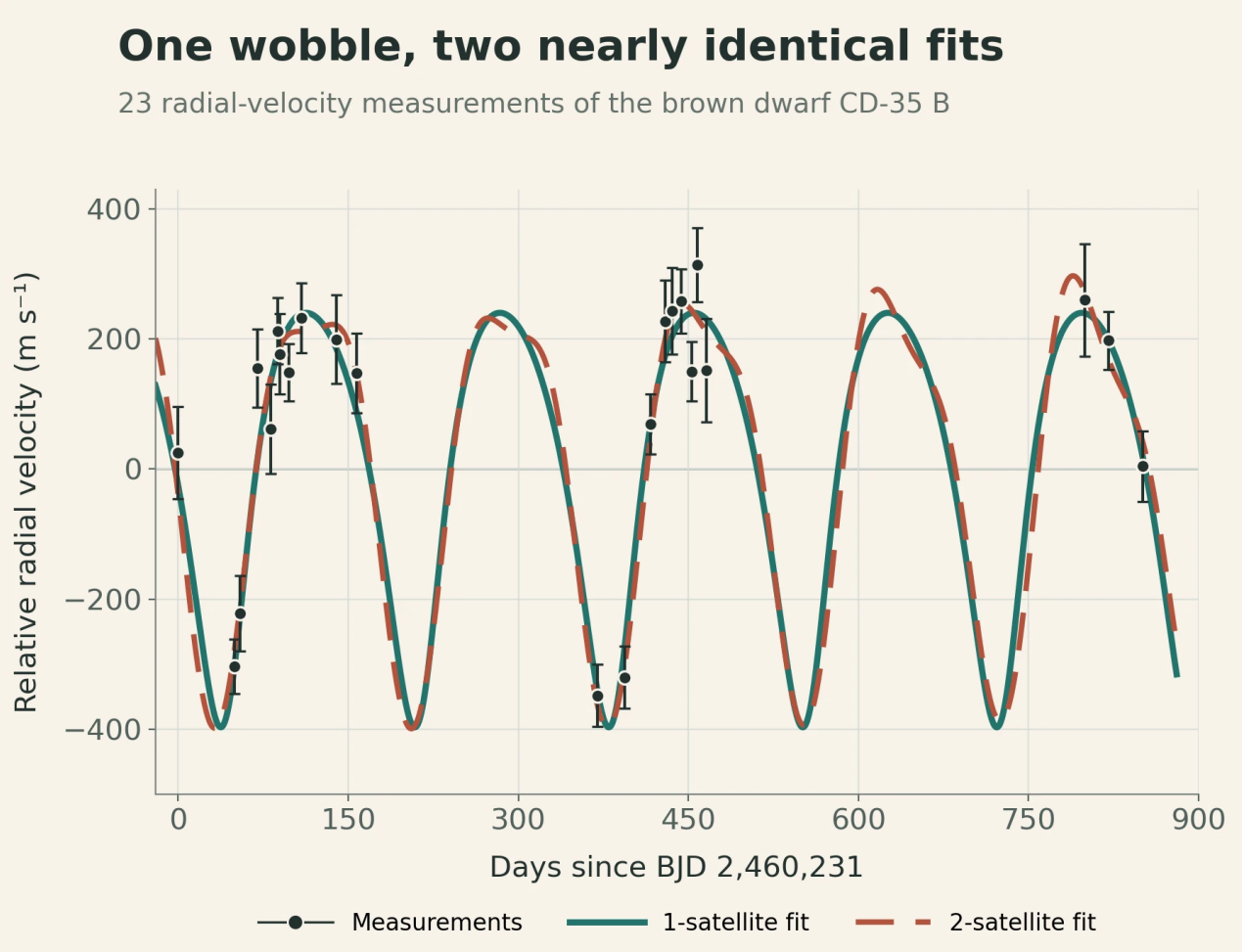
አንድ ቡናማ ድንክ በ171 ቀናት ገደማ እየተወዛወዘ ይመስላል። አንድ የተደበቀ ዓለም እየጎተተው ሊሆን ይችላል፣ ግን መረጃው እስካሁን ሁለትንም ይፈቅዳል

አስትሮኖሞች CD-35 2722 Bን ከሚዞርበት ኮከብ ተለይቶ እንደ ራሱ የብርሃን ነጥብ ማየት ይችላሉ። እሱ **ቡናማ ድንክ** ነው፣ በግዙፍ ፕላኔቶችና በኮከቦች መካከል ባለው የጅምላ ክልል ውስጥ፡- በግምት 37 የJupiter ጅምላ ስላለው ከተለመደ ግዙፍ ፕላኔት ይበልጣል፣ ግን መደበኛ ሃይድሮጂን የሚያቃጥል ኮከብ አይደለም። በቡናማ ድንክ ራሱ ዙሪያ ሊዞር የሚችለውን ትንሽ ነገር ግን ማየት አይችሉም። ከተረጋገጠ፣ ያ ውስጠኛው ነገር ራሱ በኮከብ ዙሪያ የሚዞር ትልቅ substellar ነገር ዙሪያ የሚዞር satellite ያለበት የመጀመሪያ በምልከታ የታየ የሦስት-ደረጃ ሥርዓት ያደርገዋል።

በምትኩ የሚያዩት ምት ነው። በአንዳንድ ምሽቶች ቡናማ ድንክ ወደ ምድር ሲንቀሳቀስ ብርሃኑ ትንሽ ይዘዋወራል። በሌሎች ምሽቶች ከምድር ሲርቅ በተቃራኒው ይዘዋወራል። ይህ ንድፍ በግምት በየ171 **ቀን** ይደገማል።

ይህ ወደ-ፊትና-ወደ-ኋላ እንቅስቃሴ ያልታየ አጋር ሊያመጣው የሚችለው ነው፡- ሁለት ነገሮች በጋራ የጅምላ ማዕከል ዙሪያ ሲዞሩ፣ ትንሹ በትልቁ ዙሪያ ይጓዛል፣ ትልቁም ቢሆን በጣም ትንሽ ዙር ያደርጋል። ይህ ምት ከምህዋር የመጣ ከሆነ፣ አዲስ Nature ጥናት በCD-35 2722 B ዙሪያ ለተለካው ዙር አንድ ፕላኔታዊ-ጅምላ ያለውን ነገር እንደ ተመራጭ ማብራሪያ ያቀርባል።

እጅግ አስደናቂ እድል ነው፣ ግን የጨረቃ ፎቶግራፍ አይደለም። 23 ከፍተኛ-ጥራት የምልከታ ምሽቶች ጠንካራ የጊዜያዊነት ምልክት ያሳያሉ። ያንን ምልክት ወደ ዓለም ለመቀየር ሞዴል ያስፈልጋል፣ የአሁኑ ውሂብም ከአንድ በላይ የሥርዓት አቀራረብ ይፈቅዳል። በቡናማ ድንክ ራሱ ውስጥ የሚከሰቱ ዝግ ለውጦችንም ሙሉ በሙሉ አያስቀርም።



ጥቁር ነጥቦቹና የስህተት ክልሎች 23ቱ የምሽት radial-velocity መለኪያዎች ናቸው። ጠንካራውና dashed ኩርባዎቹ በጣም የሚስማሙት የአንድ- እና የሁለት-satellite ሞዴሎች ናቸው። እነሱ በጣም ቅርብ መደራረባቸው ውሂቡ የሚደጋገም wobbleን ሊያሳይ እንደሚችል ነገር ግን የሥርዓቱን አቀራረብ እስካሁን ሊወስን እንደማይችል ያሳያል፤ ሁለቱም ኩርባዎች የአጋር ቀጥተኛ ምስል አይደሉም።

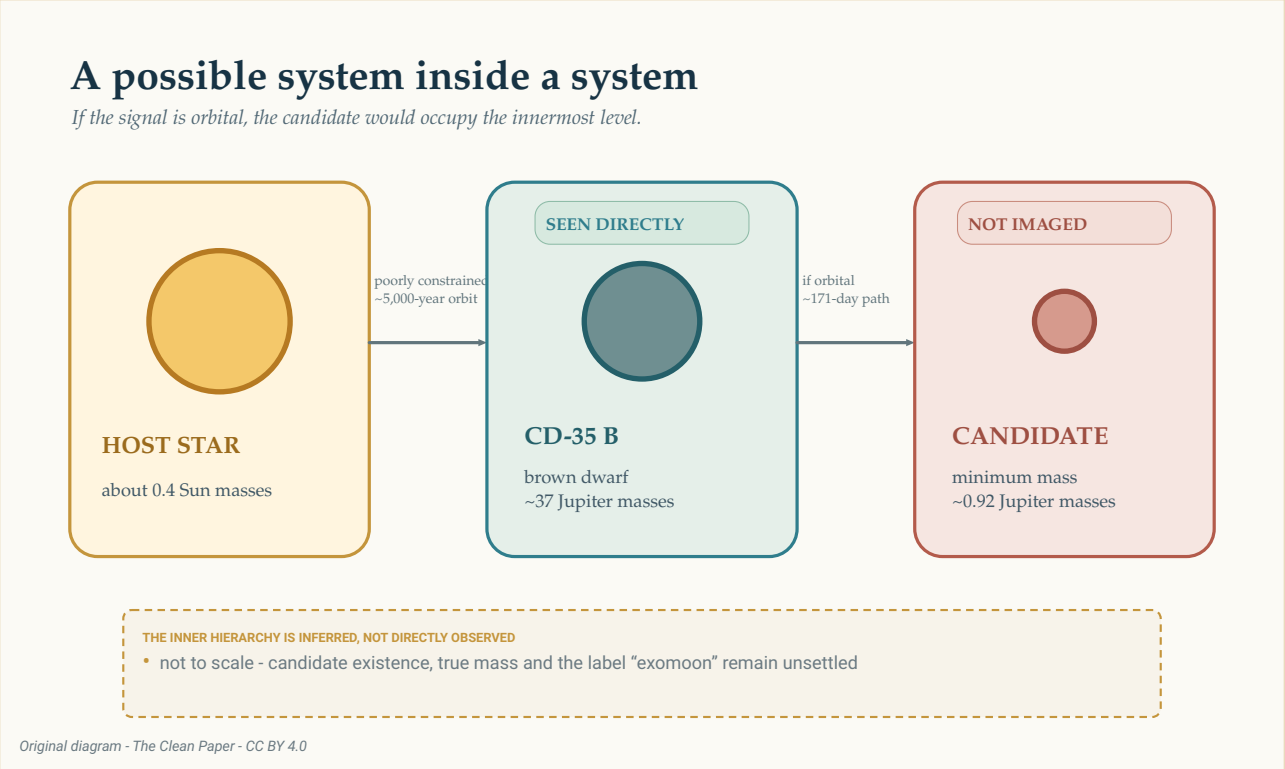
Original chart — The Clean Paper; data from Hoy et al., Nature (2026), Figure 1 source workbook CC BY 4.0

በሥርዓት ውስጥ ሌላ ሥርዓት

CD-35 2722 B **ቡናማ ድንክ** ነው፡- በተለመዱ ምድቦች መካከል ያለ ነገር። ከተለመደ ግዙፍ ፕላኔት በላይ ጅምላ አለው፣ ነገር ግን እንደ መደበኛ ሃይድሮጂን-የሚያቃጥል ኮከብ ለመብራት በቂ ጅምላ የለውም። ጥናቱ በግምት 37 Jupiters የሆነ ጅምላ ይጠቀማል።

ቡናማ ድንክ-ው የተገኘው በdirect ምስል ማንሳት ነው፣ ይህም ቴሌስኮፖች ብርሃኑን ከአስተናጋጁ ኮከብ ብርሃን ተለይቶ እንዲያዩት ማለት ነው። በሰማይ ላይ ከኮከቡ 2.8 arcseconds ገደማ ርቀት ላይ ይታያል። ሁለቱን የሚያገናኘው ሰፊ ምህዋር በደንብ አይታወቅም፣ ግን የአሁኑ ግምቶች በግምት 5,000 ዓመት የሚወስድ በጣም የተራዘመ መንገድ ይጠቁማሉ።

የጊዜያዊነት ምልክቱ ከምህዋር የመጣ ከሆነ፣ የተገመተው አቀራረብ እጩውን አንድ ደረጃ ወደ ውስጥ ያስቀምጠዋል፡- አንድ ቡናማ ድንክ የሚዞረው ኮከብ፣ በዚያ ቡናማ ድንክ ዙሪያ ደግሞ የሚዞር ፕላኔታዊ-ጅምላ አጋር።



ምልክቱ ከምህዋር የመጣ ከሆነ፣ እጩው በዚህ ሊሆን በሚችል hierarchy ውስጥ ውስጠኛውን ደረጃ ይይዛል። በቀጥታ የታየው ቡናማ ድንክ-ው ብቻ ነው። በኮከቡ ዙሪያ ያለው ውጫዊ ምህዋር በደንብ አልተወሰነም፣ 171-ቀን ገደማ ውስጠኛ መንገዱ ግን ቡናማ ድንክ-ው ከተለካው wobble ተገምቷል። መጠኖችና ርቀቶች በስኬል አይደሉም።

The Clean Paper CC BY 4.0

ያንን ሊሆን የሚችል hierarchy መሳል ቀላል ነው። አካላዊ እውነታውና ቃላቱ ግን አልተወሰኑም። በቡናማ ድንክ ዙሪያ የሚዞር ፕላኔታዊ-ጅምላ ያለው አካል ጨረቃ ይባላል፣ ፕላኔት ይባላል ወይስ satellite ብቻ? አስትሮኖሞች ጥያቄውን የሚያጠናቅቅ የተቀበለ ደንብ የላቸውም። ስለዚህ ጥናቱ ይበልጥ ሰፊውን exosatellite የሚለውን ቃል ይጠቀማል።

23 ምሽቶች እንዴት wobble ሆኑ?

ቡድኑ CD-35 2722 Bን (NASA Eyes on Exoplanets መዝገቡን ይመልከቱ) በEuropean Southern Observatory Very Large Telescope ላይ ባለው ከፍተኛ-resolution spectrograph CRIRES+ ተመለከተ። ከጥቅምት 2023 እስከ የካቲት 2026 26 የምልከታ epochs አገኙ። አንዱ በቂ ምልክት አልነበረውም፣ ሁለቱም በመጥፎ አየር ሁኔታ ተወስደው ተሰርዘው እንደገና ተደገሙ፣ በመጨረሻ 23 ከፍተኛ-ጥራት ምሽቶች ቀሩ።

spectrograph ብርሃንን ወደ ዝርዝር የመስመሮች ንድፍ ይዘረጋል። ምንጩ ወደ ምድር ሲቀርብ ወይም ሲርቅ፣ እነዚያ መስመሮች በጣም ትንሽ ይዘዋወራሉ። ይህን በእይታ መስመር ያለ እንቅስቃሴ በተደጋጋሚ መለካት radial velocities ይባላል። የተደበቀውን አካል አያሳዩም። በምትኩ የሚታየው አካል በማይታይ ጎተታ ሥር እንዴት ሊንቀሳቀስ እንደሚችል ያሳያሉ።

በመለኪያዎቹ ውስጥ ከፍተኛው የጊዜያዊነት ምልክት 170 ቀናት አካባቢ ነው። የጥናቱን **0.1% ሐሰት-alarm-probability ገደብ** ያልፋል። ያ ገደብ በፈተናው ግምቶች ሥር ድምፅ ቢያንስ ይህን ያህል ጠንካራ periodogram peak ምን ያህል ጊዜ እንደሚፈጥር ይጠይቃል። satellite እንዳለ 99.9% ዕድል አይደለም፣ አንድ አጋር ነው ወይም ሁለት ስለሚለውም በራሱ ምንም አይናገርም።

> **radial-velocity ምልክት ምን ሊያረጋግጥ ይችላል?**
>
> Radial velocity በspectral lines ውስጥ ያሉ ተደጋጋሚ ዘወርዎችን ወደ ወደ-ተመልካችና ከተመልካች-ርቆ እንቅስቃሴ መለኪያዎች ይቀይራል። የሚደጋገም ንድፍ በምህዋር እኩልታዎች ሊስማማ ይችላል፣ ይህም ተመራማሪዎች period፣ የተለካውን wobble መጠን እና ዝቅተኛ የአጋር ጅምላን እንዲገምቱ ያስችላል። ግን ዘዴው አጋሩን በቀጥታ ፎቶ አያነሳም። የኮከብ ወይም substellar ከባቢ አየርም spectral linesን ሊያዘዋውር ይችላል፣ የምልከታ ጊዜ ሰሌዳዎች የሚያሳስቱ ምቶችን ሊፈጥሩ ይችላሉ፣ እና የተለያዩ የምህዋር አቀራረቦች እርስ በርሳቸው ሊመሳሰሉ ይችላሉ። ምልክቱ፣ አካላዊ ማብራሪያው እና ለተገመተው ነገር የሚሰጠው ስም የተለያዩ ጥያቄዎች ናቸው።

ከምህዋር መልስ በፊት የናሙና ጊዜው ትኩረት ይፈልጋል። አራት በተለይ ዝቅተኛ radial-velocity መለኪያዎች በንድፉ ውስጥ ከፍተኛ ክብደት አላቸው። በሁለት ጥንዶች፣ በጥሩ እንደተዘገበ ሁኔታ፣ ተከስተዋል፣ ደራሲዎቹም አንድ ነጥብ በአንድ ጊዜ በማስወገድ ትንታኔውን ሲደግሙ አንዱም ብቻውን ምልክቱን አልፈጠረም። እንደዚያም ሆኖ የሚቻሉ የምህዋር phases ከፊል ብቻ ተመልክተዋል። በሁለት ዓመት በላይ የተዘረጉ 23 ምሽቶች ከቀጥተኛ ሽፋን ጋር አንድ አይደሉም።

ደራሲዎቹ ሊኖር የሚችል የግማሽ-ዓመት artefactንም ፈትነዋል። ለምድር የሚለወጥ እንቅስቃሴ ወይም ለመሣሪያው profile ያልተሟላ ማስተካከያ የሐሰት ዓመታዊ ምልክት ሊፈጥር፣ የsampling ንድፉም ወደ ግማሽ የምድር ዓመት ወይም **182.5 ቀናት** alias ሊያደርገው ይችላል። የተመረጠው period **171.11 ቀናት** ነው፣ እርግጠኝነቱ +0.53/-0.36 ቀናት፤ ደራሲዎቹ ይህ ከ182.5 ቀናት በግምት 20 መደበኛ deviations እንደሚርቅ ይዘግባሉ። ከምድር የሚለወጥ እንቅስቃሴ፣ seeing፣ የከባቢ አየር የውሃ እንፋሎት ወይም ከመረመሯቸው የመሣሪያ ባህሪያት ጋር ግንኙነት አላገኙም ብለው ይዘግባሉ። እነዚህ ጠቃሚ መቆጣጠሪያዎች ናቸው። የምህዋር ማብራሪያን ሞዴል ለማድረግ በቂ አሳማኝ ያደርጉታል፣ ግን ብቻቸውን ነገሩን አይለዩም።

በጣም ቀላሉ የምህዋር መልስ፡- አንድ አጋር

በተመራጩ ሞዴል፣ አንድ ነገር በየ171.11 ቀን በቡናማ ድንክ ዙሪያ eccentric፣ ወይም በመጠኑ የተራዘመ፣ ምህዋር ይከተላል። የተስማማው ምህዋር **0.27** ገደማ eccentricity እና **0.200 astronomical units** ገደማ semi-major axis አለው — በግምት የምድር-ፀሐይ አማካይ ርቀት አንድ አምስተኛ።

የተለካው wobble በግምት **318 metres per second** የሆነ amplitude አለው። ከዚያ እንቅስቃሴ ሞዴሉ ለአጋሩ በግምት **0.92 የJupiter ጅምላ** የሆነ ዝቅተኛ ጅምላ ይሰጣል።

ዝቅተኛ የሚለው ቃል አስፈላጊ ነው። Radial velocity የሚለካው የምህዋር እንቅስቃሴው ወደ እኛ የሚመጣውንና ከእኛ የሚርቀውን ክፍል ብቻ ነው። ምህዋሩ ከጎን ቢታይ፣ ብዙው እንቅስቃሴ በዚያ መስመር ላይ ይታያል። ይበልጥ ከፊት ቢታይ፣ እንቅስቃሴው ብዙውን በሰማይ ላይ አግድም ይሄዳል፣ ተመሳሳይ የተለካ wobble ለማምጣት ደግሞ ይበልጥ ከባድ አጋር ያስፈልጋል።

አስትሮኖሞች ውጤቱን **m sin(i)** ብለው ይጽፉሉ፡- ጅምላ በማይታወቀው የምህዋር inclination ወይም የእይታ አንግል

sine ተባዝቶ። ውጂቡ የሚገድበው ያንን ውጤት ነው፣ እውነተኛውን ጅምላ ብቻውን አይደለም። 0.92 የJupiter ጅምላ ገደማ ስለዚህ የታችኛ ወሰን ነው፣ የነገሩ ትክክለኛ ጅምላ መለኪያ አይደለም።

> **የእይታ አንግል ጅምላን እንዴት ይደብቃል?**
>
> ክብ የሩጫ መንገድን ከጎን እያዩ እንደሆነ አስቡ። ሯጩ በተደጋጋሚ ወደ እርስዎ ይመጣል እና ይርቃል፣ ስለዚህ ያ የእንቅስቃሴ ክፍል ለመለካት ቀላል ነው። አሁን ያንኑ መንገድ ከላይ ይመልከቱ። ሯጩ በአብዛኛው በእይታዎ ውስጥ አግድም ይንቀሳቀሳል፣ ወደ እርስዎ ወይም ከእርስዎ ግን ትንሽ ብቻ ይንቀሳቀሳል።
> Radial velocity የመጀመሪያውን ክፍል ብቻ ያያል። የሒሳብ ምክንያት `sin(i)` ከምህዋር እንቅስቃሴው ምን ያህል በእይታ መስመራችን ላይ እንደሚጠቁም ይገልጻል። inclination `i` እስኪታወቅ ድረስ የተገመተው ጅምላ ዝቅተኛ ወሰን ሆኖ ይቀራል።

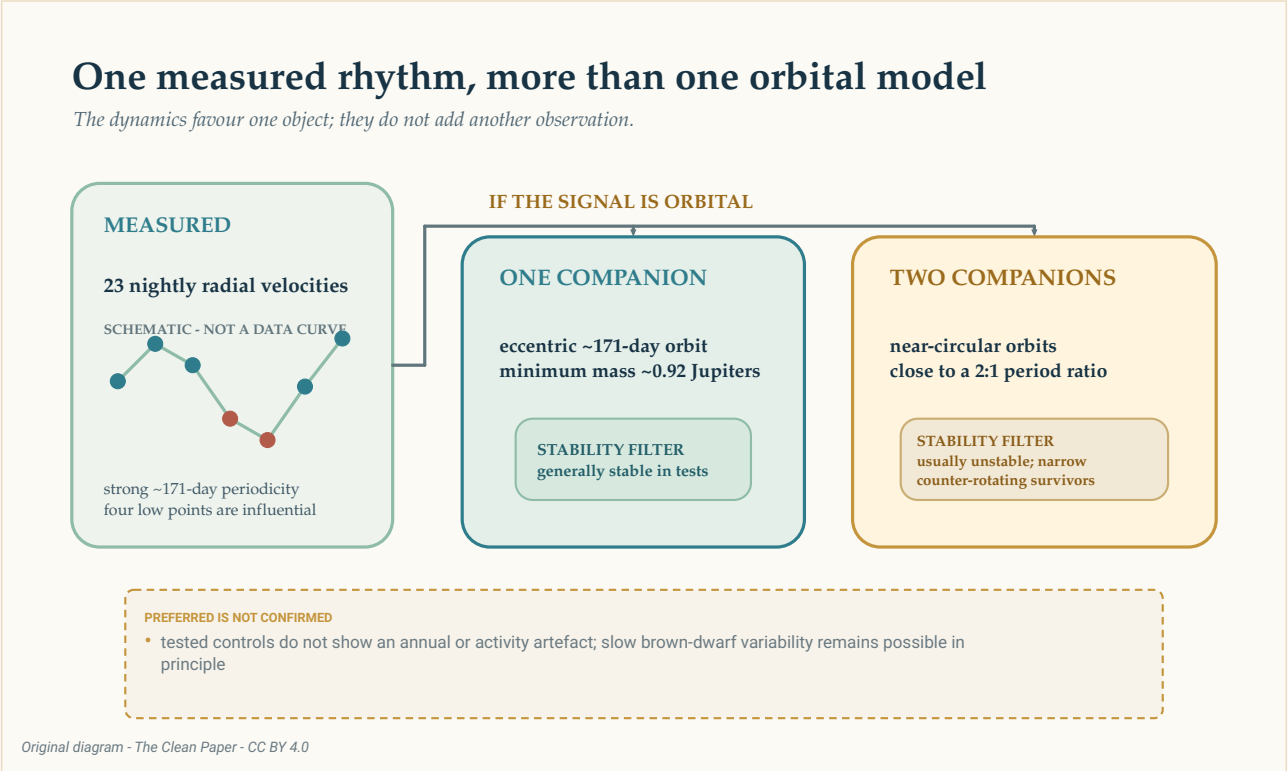
ከዚያ ደራሲዎቹ ይህ ምህዋር ራሱን በፍጥነት ከማጥፋት ይልቅ ሊቆይ ይችላልን ብለው ጠየቁ። የቁጥር ፈተናዎቻቸው የአንድ-አጋር ሞዴሉ በአጠቃላይ የተረጋጋ እንደሆነ አገኙ። ይህ የምልክቱን አካላዊ ሊሆን የሚችል ትርጉም ያደርገዋል። ሁለተኛ መለየት ግን አይደለም።

አስቸጋሪው መልስ፡- ሁለት አጋሮች አንዱን ሊመስሉ ይችላሉ

Eccentric radial-velocity ምልክት የታወቀ አሻሚነት አለው። በአንዳንድ ሁኔታዎች ሁለት በቅርብ-ክብ ምህዋሮች ያሉ ነገሮች፣ አንዱ ከሌላው ሁለት ጊዜ ገደማ የሚረዝም period ሲኖረው፣ በተራዘመ ምህዋር ላይ ካለ አንድ ነገር ጋር የሚመሳሰል የተጣመረ ንድፍ ሊፈጥሩ ይችላሉ።

ያ አሻሚነት እዚህ ይታያል። የሁለት-አጋር ሞዴል የአሁኑን መለኪያዎች በ171 ቀን አካባቢ ያለ ውጫዊ ምልክት እና አጭር-period ያለው ውስጠኛ ምልክት ጋር ሊያስማማ ይችላል። የምልከታ ጊዜዎች ሁሉንም phase በእኩል ስለማይሸፍኑ፣ አጭሩ ምልክት ብዙ aliases አሉት። 23ቱ የተመረጡ ምሽቶች ረጅም ክፍተቶች ስላሏቸው፣ የተለያዩ የሙከራ periods በጉብኝቶች መካከል የተለያዩ ያልታዩ cycles ቁጥር ሊቆጥሩ እና አሁንም ከተመሳሳይ መለኪያዎች ጋር ሊሰለፉ ይችላሉ። ስለዚህ 14፣ 70፣ 88 እና 115 ቀናት አካባቢ ያሉ እጩ periods ከአንድ በደካማ ሁኔታ ከተነሳ አጭር ምልክት ለሚመጡ አማራጭ ማስማማቶች ናቸው፣ አራት በተናጠል የተገኙ ምቶች አይደሉም።

ደራሲዎቹ በደንብ ያልተወሰነውን 13-እስከ-17-ቀን መስኮት ውድቅ ያደርጋሉ። በዚያ ክልል ማስማማቱ አንድ አሳማኝ period አይለይም፡- ከ20 ቀን በታች ያሉ ብዙ በቅርብ የተራራቁ መፍትሔዎች ዝቅተኛ-cadence መለኪያዎቹን ሊያባዙ ይችላሉ፣ ይህም ሙሉ መስኮቱን የsampling artefact ሊሆን እንደሚችል ያደርገዋል። ከቀሩት መስኮቶች 88-ቀን ገደማ መፍትሔው ከ70- እና 115-ቀን ገደማ አማራጮች ይበልጥ ይስማማል፣ ግን ጥናቱ አንድ የታወቀ ሁለተኛ period አለ ብሎ ለመናገር በቂ አይደለም። በሰንጠረዡ ያለው በጣም ጥሩ ማስማማት ውስጥ፣ የውጫዊው ነገር ዝቅተኛ ጅምላ 0.87 የJupiter ጅምላ ገደማ ሲሆን የውስጠኛው 0.22 የJupiter ጅምላ ገደማ ነው። እነዚህ ቁጥሮች ተመራጭ ያልሆነ ሞዴሉን ይገልጻሉ፤ የሁለት የተረጋገጡ ዓለሞች መለኪያዎች አይደሉም።



171-ቀን ገደማ ምልክቱ ከምህዋር የመጣ ከሆነ፣ ተመሳሳይ አጠቃላይ radial-velocity ንድፍ በአንድ eccentric አጋር ወይም ወደ ሁለት-ለ-አንድ period ratio ቅርብ ባሉ ሁለት በቅርብ-ክብ አጋሮች ሊወከል ይችላል። Stability ፈተናዎች የአንድ-ነገር ትርጉምን ይደግፋሉ፣ ግን ሞዴሉን ወደ ምስል አይቀይሩም ወይም ሁሉንም የዝግ brown-dwarf variability ዓይነቶች አያስቀሩም።

The Clean Paper CC BY 4.0

የstability ስሌቶቹ ንጽጽሩን ያጠናክራሉ። አብዛኞቹ የተፈተኑ የሁለት-አጋር አቀራረቦች በጥቂት መቶ የተስመሰሉ ዓመታት ውስጥ አንዱን ነገር አስወጡ። የተረፉት ቅንብሮች ምህዋሮቹ ወደ አንድ plane ቅርብ ነገር ግን በተቃራኒ አቅጣጫዎች የሚንቀሳቀሱበትን ጠባብና ያልተለመደ ክልል ይዘው ነበር። አስተናጋጁ ኮከብም ተጨማሪ ያልተረጋጉ ክልሎችን አመጣ።

ይህ ከተፈተኑት የሁለት-አጋር ሥርዓቶች ይልቅ አንድ eccentric አጋርን ለመምረጥ ምክንያት ነው። ተፈጥሮ ቀላሉን ሞዴል መርጣለች የሚል ማረጋገጫ አይደለም። Stability ሊሆኑ የሚችሉ ትርጉሞችን radial velocities ከተለኩ በኋላ ያጣራል፤ ወደ ኩርባው ሌላ የታየ ነጥብ አይጨምርም።

አንድ eccentric ምህዋር እንዴት ሁለት ክብ ምህዋሮችን ሊመስል ይችላል?

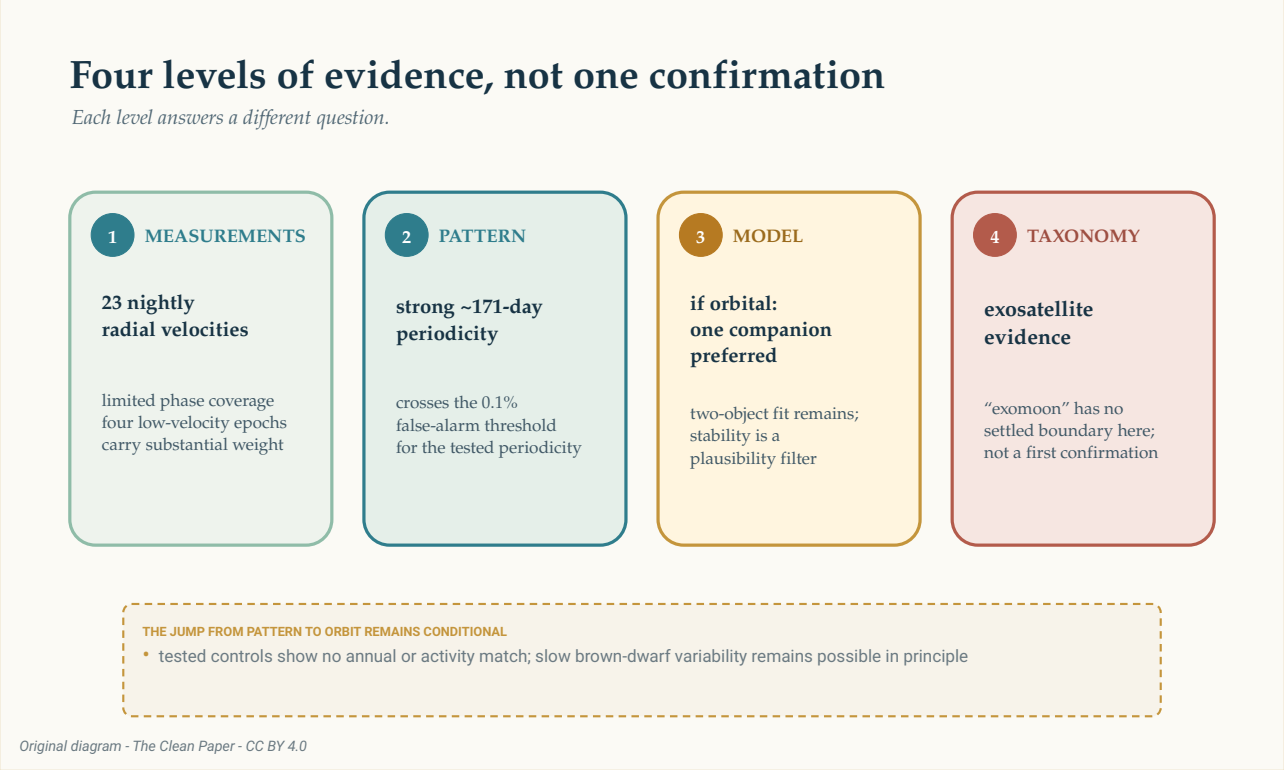
ፍጹም ክብ ምህዋር ቀላል የሚደጋገም radial-velocity ሞገድ ይፈጥራል። eccentric ምህዋር በዚያ ሞገድ ላይ ለውጦችን ይጨምራል። ወደ ሁለት-ለ-አንድ ratio ቅርብ የሆኑ periods ያላቸው ሁለት ክብ ምህዋሮች አንዱ ምልክት ዋናውን ምት ሌላውም ተመሳሳይ ለውጥ በሚሰጥበት መንገድ ሊጣመሩ ይችላሉ።
ይህ **የምህዋር degeneracy** ነው፡- የተለያዩ አካላዊ ሥርዓቶች ተመሳሳይ መለኪያዎችን ይፈጥራሉ። ሞዴሎቹ የተለያዩ velocities በሚተነብዩባቸው ጊዜዎች ተጨማሪ ምልከታዎች መደረጋቸው ልዩነቱን ሊፈታ ይችላል። Dynamics ፈተና እያንዳንዱ የቀረበ ሥርዓት ሊቆይ ይችላልን ብሎ በመጠየቅ ይረዳል፣ ነገር ግን እነዚያን ምልከታዎች ሊተካ አይችልም።

ምቱ ከቡናማ ድንክ ራሱ ሊመጣ ይችላል?

ቡናማ ድንክ ዝም ያለ ሙከራ mass አይደለም። ከባቢ አየሩ ይሽከረከራል፣ ደመናዎችን ይፈጥራል፣ እና magnetic እንቅስቃሴ ሊኖረው ይችላል። የሚለወጡ የገጽ ንድፎች spectral linesን ቅርጽ ሊቀይሩ እና እንቅስቃሴን ሊመስሉ ይችላሉ።

የCD-35 2722 B የተገመተው ከፍተኛ የrotation period በግምት 0.65 ቀን ነው፣ ከ171 ቀን በጣም አጭር። ቡድኑ በፈተናቸው የእንቅስቃሴ ሞዴሎች ውስጥ ጠንካራ አጭር የrotation ምልክት፣ ወይም አሳማኝ cloud- ወይም granulation-like ምልክት አላገኘም። ዓመታዊ samplingንና የመዛሪያ መጠኖችንም ፈትነው ከ171-ቀን ምት ጋር የሚስማማ አላገኙም።

እነዚያ ፈተናዎች አማራጮቹን ያጠባሉ፣ ግን ጥናቱ ሁሉም የውስጥ variability እንደተወገደ አይናገርም። ረጅም-ጊዜ የmagnetic እንቅስቃሴ ወይም በቡናማ ድንክ ከባቢ አየር ውስጥ ያለ circulation በመርህ ደረጃ ሊወገድ አይችልም። ይህ የቀረ እድል ከምህዋር ሞዴሎቹ ጎን መቀመጥ አለበት፣ ከእነሱ በኋላ መደበቅ የለበትም።



ማስረጃው በተለያዩ ደረጃዎች ይወጣል፡- የምህዋር phase ሽፋን ውስን የሆነ 23 የምሽት radial velocities፣ ጠንካራ 171-ቀን ገደማ የጊዜያዊነት ምልክት፣ ምልክቱ ከምህዋር ከሆነ ተመራጭ የአንድ-አጋር ሞዴል፣ እና በመጨረሻ ያልተወሰነ "exomoon" መለያ። መሰላሉ መለኪያ፣ ስታቲስቲካዊ ንድፍ፣ አካላዊ ትርጉም እና taxonomyን ይለያል፤ የማረጋገጫ ቀስት አይደለም።

The Clean Paper CC BY 4.0

Exomoon ነው?

በSolar ሥርዓት ውስጥ ጨረቃ በፕላኔት ዙሪያ ትዞራለች። CD-35 2722 B ቡናማ ድንክ ነው፣ የተገመተው አጋር እውነተኛ ጅምላም ገና አይታወቅም። አንድ ነገር በplanet-brown-dwarf ድንበር አጠገብ ሌላውም በmoon-planet ድንበር አጠገብ ሲቀመጥ የተለመዱ ስሞች መጠናቸው ይገደባል።

ጥናቱ የመጀመሪያው የተረጋገጠ exomoon ነው ብሎ አይናገርም። እስካሁን ምንም exomoon በእርግጠኝነት እንዳልተገኘ ይላል፣ ለፕላኔታዊ-ጅምላ exosatellite ማስረጃ ያቀርባል፣ እና ሥርዓቱን ወደ አወዛጋቢ ያልሆነ መለየት እንደ አንድ እርምጃ ይጠራዋል። ሊሆን ስለሚችለው አዲስነት ውይይቱ በሁኔታ ይጀምራል፡- ምልክቱ ትክክለኛ መሆኑ ከተረጋገጠ።

ያ ጥንቃቄ ውጤቱን ባዶ አያደርገውም። ከደካማ ቡናማ ድንክ አጋር በቀጥታ radial velocities መለካት ከባድ ነው። ቀጣይ ምልከታዎች ምልክቱን ቢጠብቁ፣ ሥርዓቱ የፕላኔት-ፍለጋ ዘዴዎች ወደ ሌላ የሰማይ hierarchy ደረጃ መውረድ እንደሚችሉ ያሳያል።

ሌላ የምልከታ ወቅት ነጥቦችን ከመጨመር በላይ ሊያደርግ ይችላል። የአንድ-እና የሁለት-አጋር ሞዴሎቹ በተወሰኑ የወደፊት ጊዜዎች የተለያዩ velocities ይተነብያሉ። የጎደሉትን የምህዋር phases የሚሞሉ መለኪያዎች 171-ቀን ምቱ ይቀጥላልን ሊፈትኑ፣ የአራቱ ዝቅተኛ ነጥቦች ተጽእኖን ሊቀንሱ እና ተፎካካሪ ኩርባዎቹን ሊለያዩ ያደርጉ ይችላሉ።

አሁን በጣም ታማኙ ምስል ከቡናማ ድንክ ጎን የተንጠለጠለ አዲስ ጨረቃ አይደለም። በሌሊት ከሌሊት የሚደገም ስፔክትረም ነው፣ ትንሽ የሚደጋገም ዘወር ይዞ። በዚያ ምት ውስጥ አንድ ዓለም ሊኖር ይችላል። ስኬቱ ግን ግምቱን እንደ ተጠናቀቀ ሳያቀርቡ ከዚያ ምን ያህል ማወቅ እንደሚቻል መማር ነው።

ንጹህ ማጠቃለያ

አስትሮኖሞች ከጥቅምት 2023 እስከ የካቲት 2026 ባሉ 23 ከፍተኛ-ጥራት ምሽቶች በቀጥታ የተሳለውን ቡናማ ድንክ CD-35 2722 B radial velocity ለኩ። spectral lines-ዎቹ 171 ቀን አካባቢ ጠንካራ የሚደጋገም ዘወር ያሳያሉ። ተመራጩ የምህዋር ሞዴል በግምት 0.92 የJupiter ጅምላ ያለው ዝቅተኛ ጅምላ ያለውን አንድ eccentric አጋር ይይዛል፣ ነገር ግን የምህዋሩ inclination ስለማይታወቅ እውነተኛው ጅምላ አይታወቅም። ሁለት በቅርብ-ክብ አጋሮች ተመሳሳይ አጠቃላይ ምልክት ሊመስሉ ይችላሉ፣ ምንም እንኳን አብዛኞቹ የተፈተኑ የሁለት-ነገር ቅንብሮች dynamically unstable ቢሆኑም። አራት ዝቅተኛ-velocity epochs ተጽእኖ አላቸው፣ የምህዋር phase ሽፋንም ውስን ነው፡- ምልከታዎቹ የ171-ቀን ዑደቱን ሁሉንም phase ቀጥታ ከመከታተል ይልቅ የተመረጡ ክፍሎችን ብቻ ይነሳሉ። ፈተናዎች rotation፣ ዓመታዊ sampling፣ አየር ሁኔታ ወይም የተመረመሩ የመሣሪያ ባህሪያት ምንጭ መሆናቸውን አላሳዩም፣ ግን ረጅም-ጊዜ brown-dwarf variability በመርህ ደረጃ ሊወገድ አይችልም። ያልታየው ነገር በቀጥታ አልተሳለም፣ የአንድ-ነገር ሞዴሉ ተመራጭ እንጂ የተረጋገጠ አይደለም፣ እና በቡናማ ድንክ ዙሪያ የሚዞር ፕላኔታዊ-ጅምላ አካል exomoon እንደሆነ የሚወስን የተስማሙበት ደንብ የለም።

ያለ ማጋነን ፍተሻ

የታየው፡- 23 የCD-35 2722 B የምሽት radial-velocity መለኪያዎች 171-ቀን ገደማ ጠንካራ የጊዜያዊነት ምልክት ይይዛሉ። ቡናማ ድንክ-ው ራሱ በቀጥታ ተሳልቷል፤ የቀረበው አጋር አልተሳለም።

ደራሲዎቹ የሚመርጡት፡- ምልክቱ ከምህዋር ከሆነ፣ የJupiter ጅምላ አካባቢ ዝቅተኛ ጅምላ ያለው አንድ eccentric

አጋር የአሁኑን ውሂብ በጣም ቀላልና dynamically plausible በሆነ መንገድ ይተረጉማል።

ክፍት የሆነው፡- ሁለት አጋሮች radial velocitiesን ሊያስማሙ ይችላሉ፣ ምንም እንኳን የተፈተኑት ሥርዓቶች ብዙ ጊዜ ያልተረጋጉ ቢሆኑም፤ ረጅም-ጊዜ brown-dwarf variability በመርህ ደረጃ አልተወገደም፤ እና ያልታወቀው የእይታ አንግል እውነተኛውን የአጋር ጅምላ እንዳይወሰን ያደርጋል።

ጥናቱ የማያረጋግጠው፡- የመጀመሪያ የተረጋገጠ exomoon፣ በቀጥታ የታየ satellite፣ በትክክል አንድ የሚዞር ነገር፣ 0.92 የJupiter ጅምላ እውነተኛ ጅምላ፣ ወይም ተመራጩ አካላዊ ሞዴል ትክክል የመሆኑ 99.9% ዕድል።

እምነትን የሚያሳድገው፡- ተጨማሪ የምህዋር phasesን የሚሸፍኑ፣ 171-ቀን ምልክቱ ይቀጥላልን የሚፈትኑ እና የአንድ- እና የሁለት-አጋር ሞዴሎች የተለያዩ ትንበያዎች በሚያደርጉባቸው ጊዜዎች የሚወሰዱ ቀጣይ radial-velocity መለኪያዎች።

ምንጮች

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