

Introducción a la Astrofísica 2025

Clase 5: Kepler, Galileo y Newton

De observaciones a leyes

Departamento de Física USACH

La(s) problemática(s) que presentan satélites artificiales.

(conversar sobre argumentos a favor y en contra de proyectos como Starlink y el hecho de que en el futuro el cielo tendrá más satélites artificiales que estrellas visibles a simple vista)

Un poco de mecánica celeste

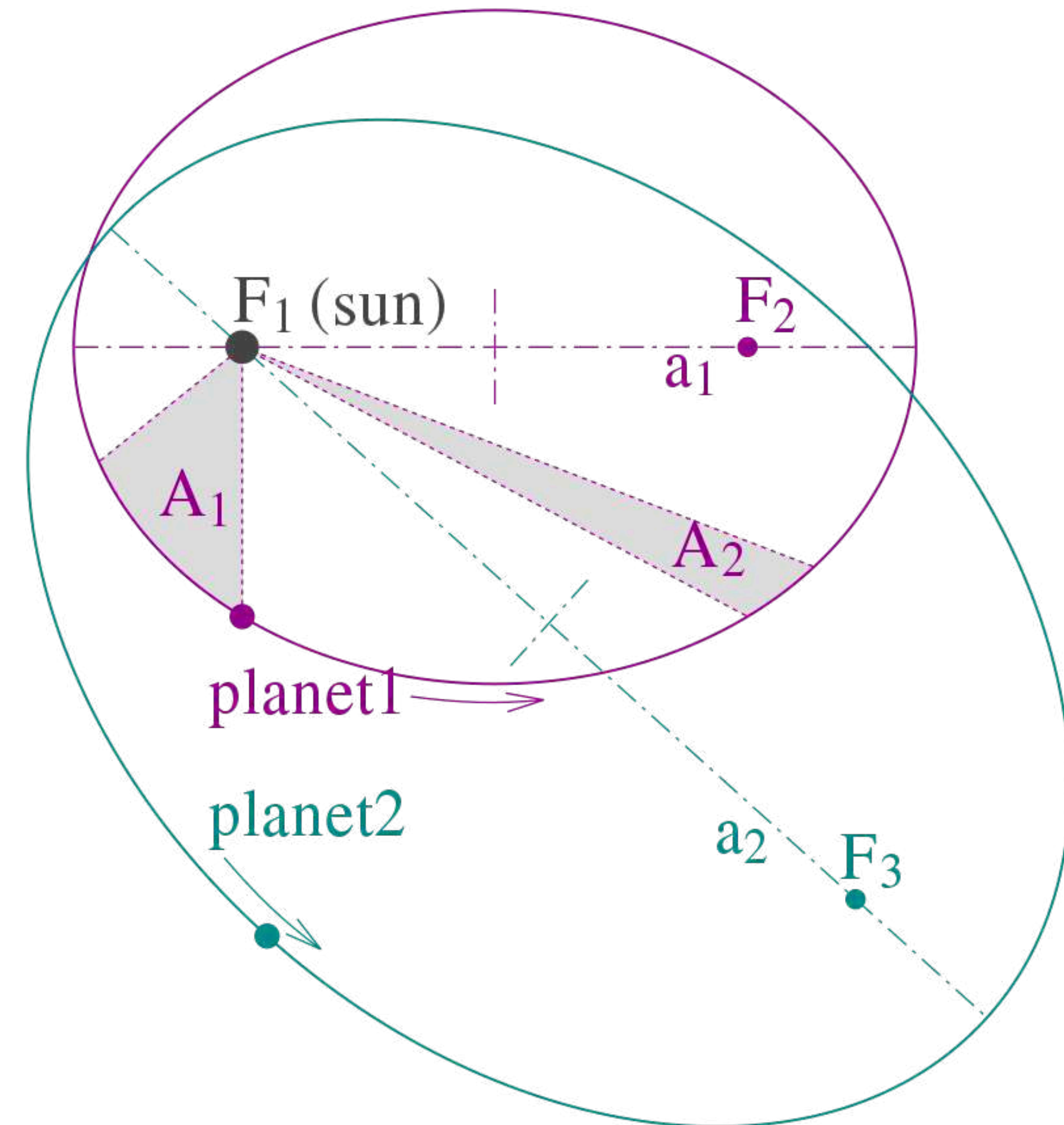
Leyes de Kepler (órbitas, áreas, distancias y periodos)

+

Gravitación de Newton



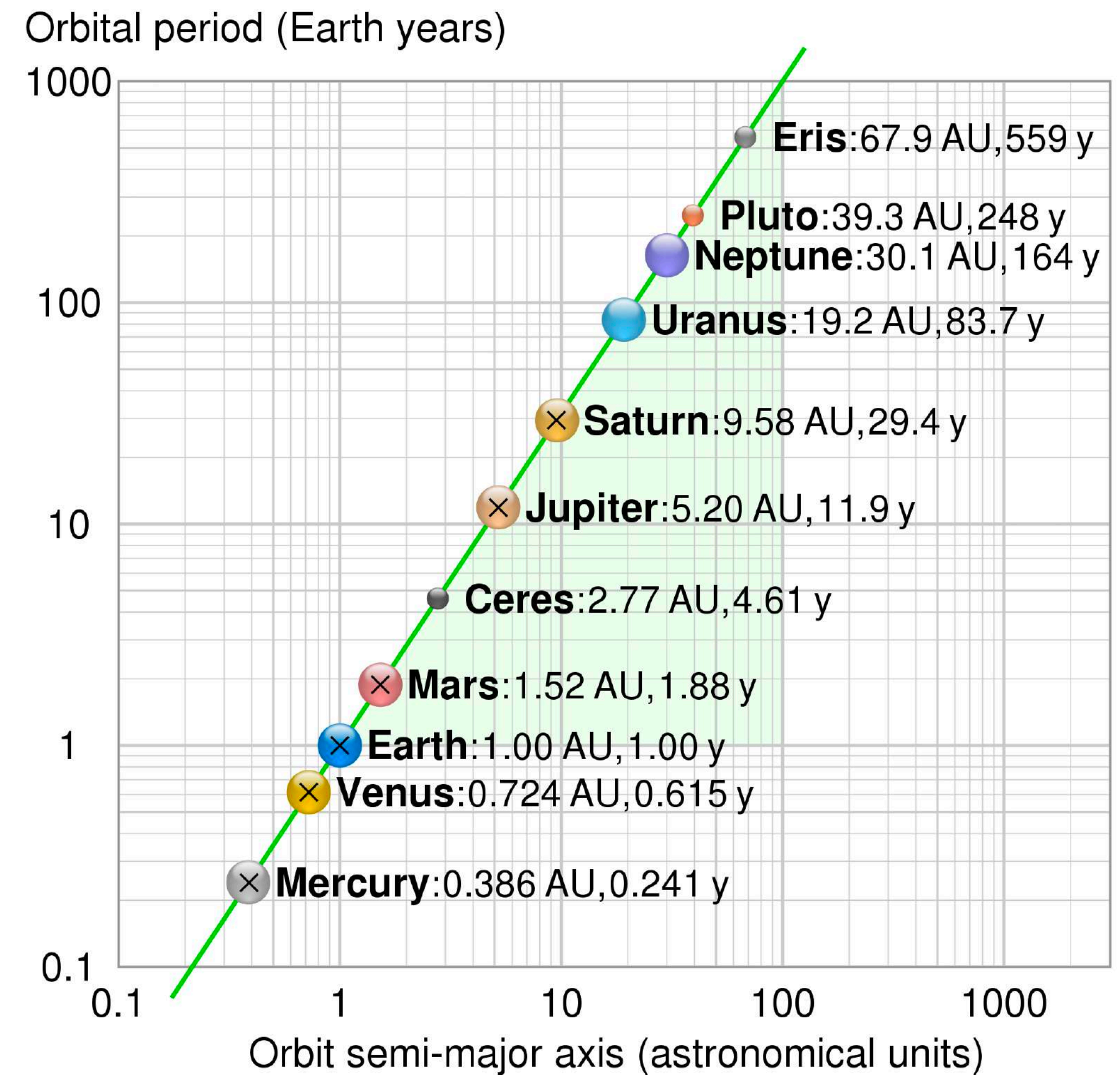
Primera ley: órbitas elípticas

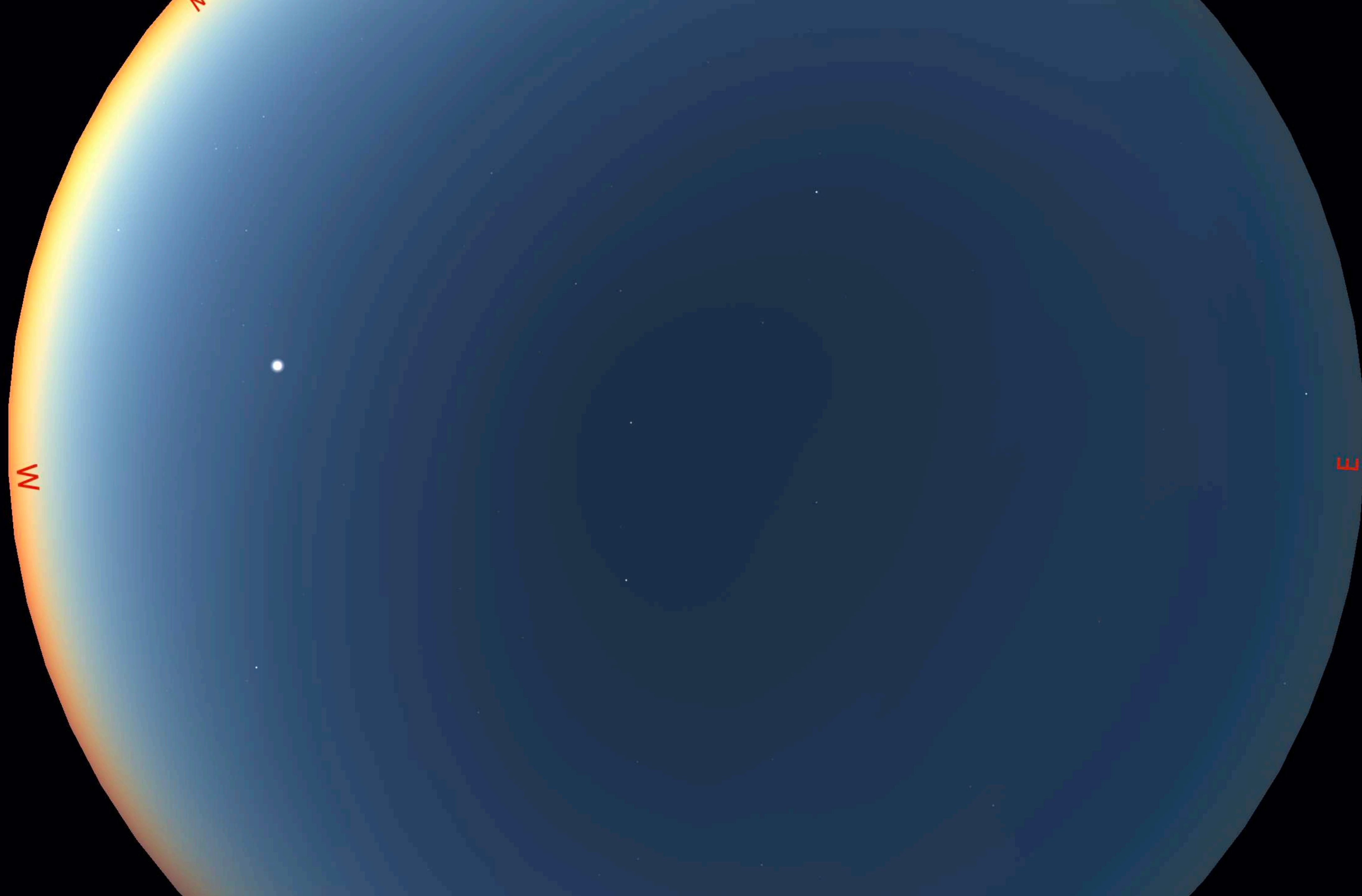


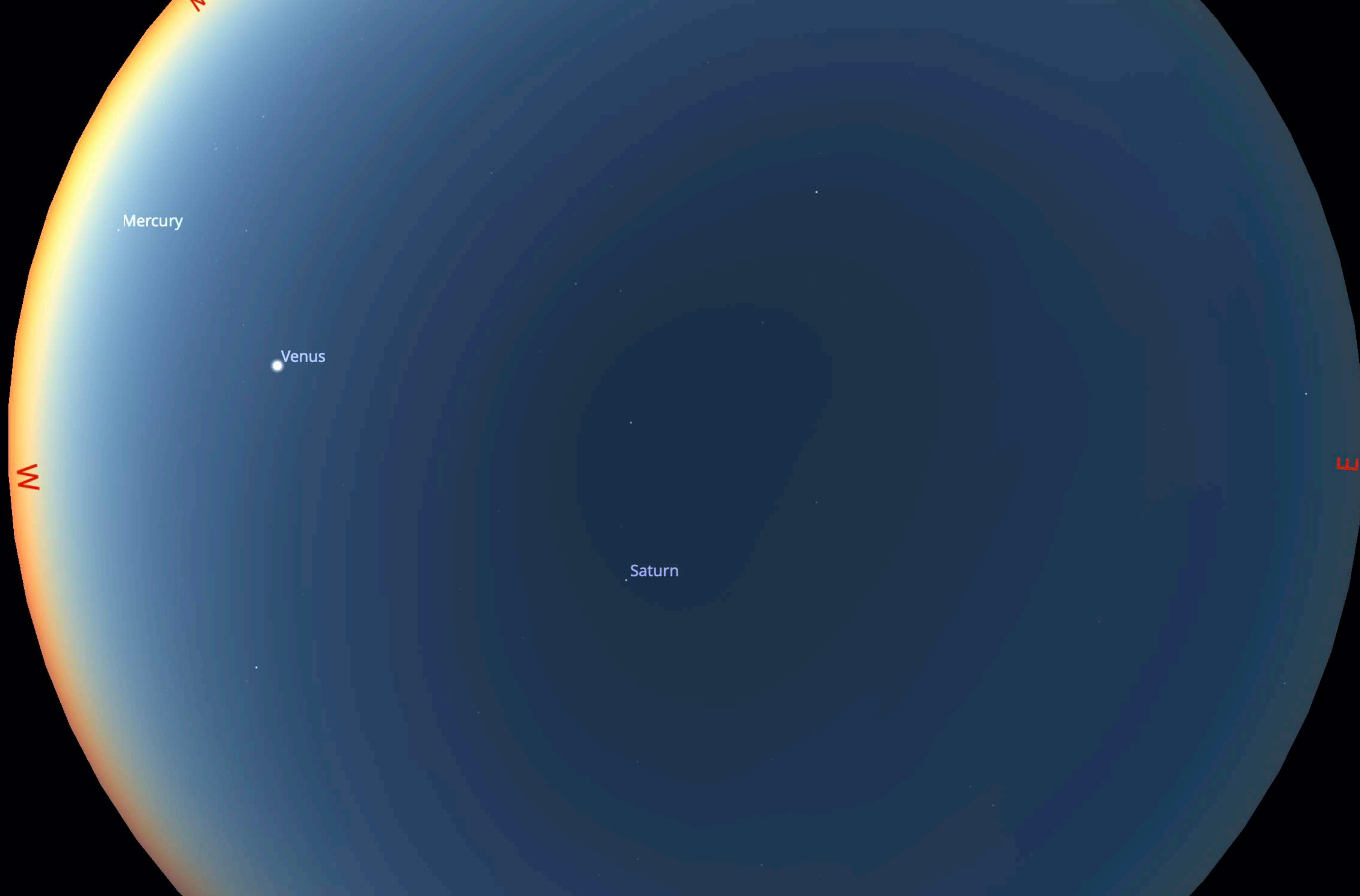
Segunda ley: áreas iguales en tiempos iguales

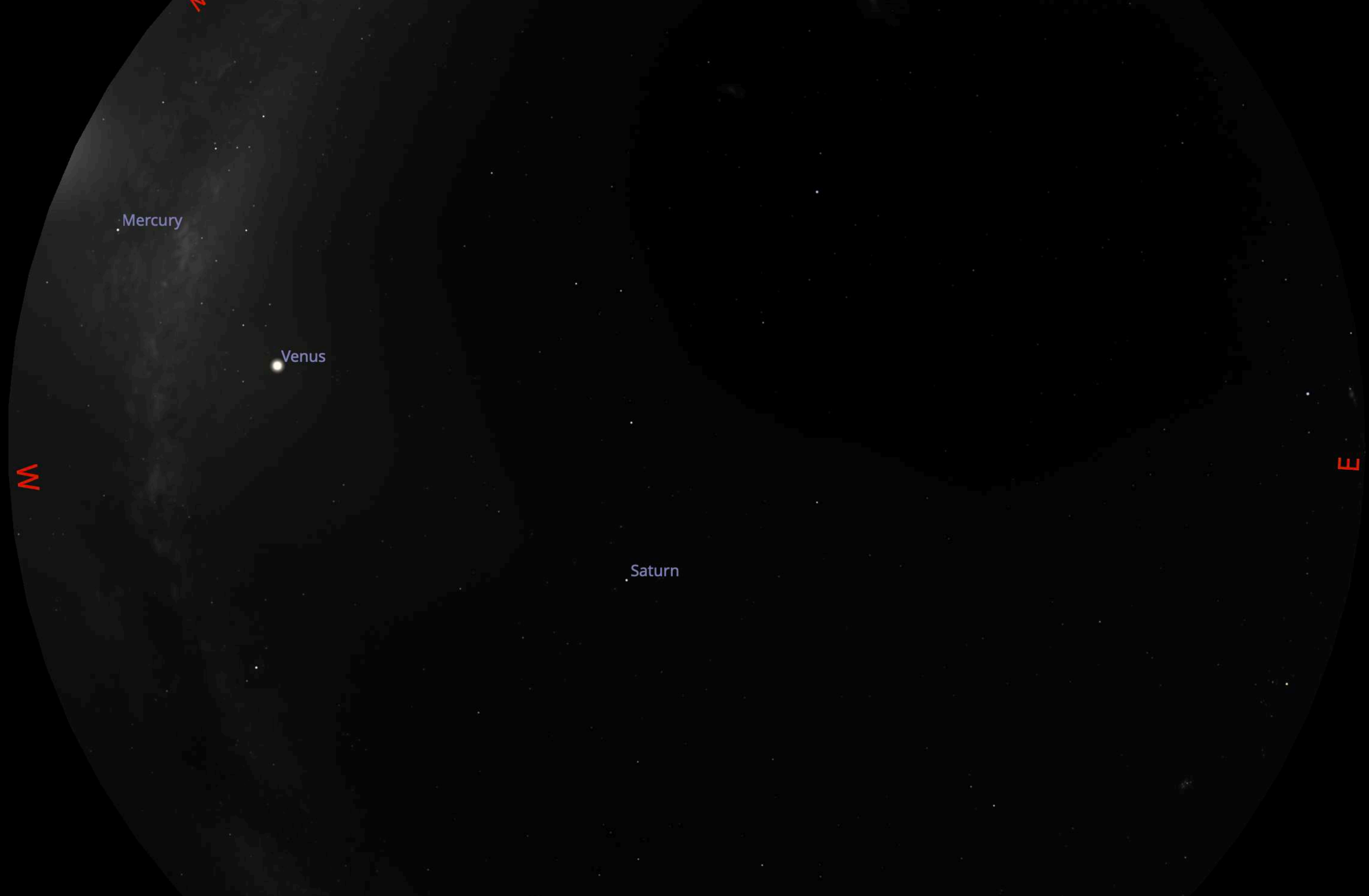


Tercera ley (1619): relación entre el periodo orbital y el radio promedio de la órbita. Permitted the discovery of Neptune and Ceres.











Mercury

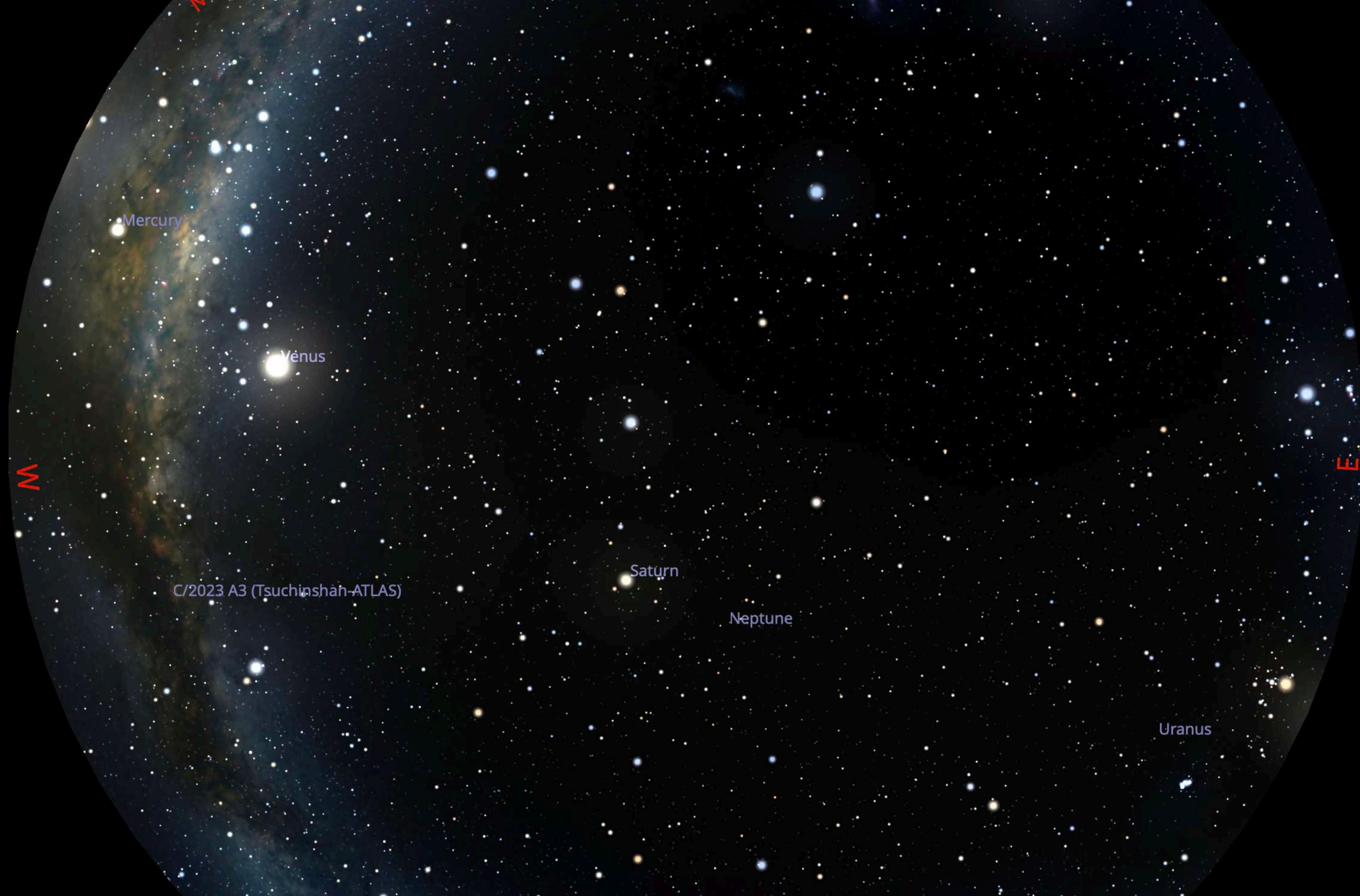
Venus

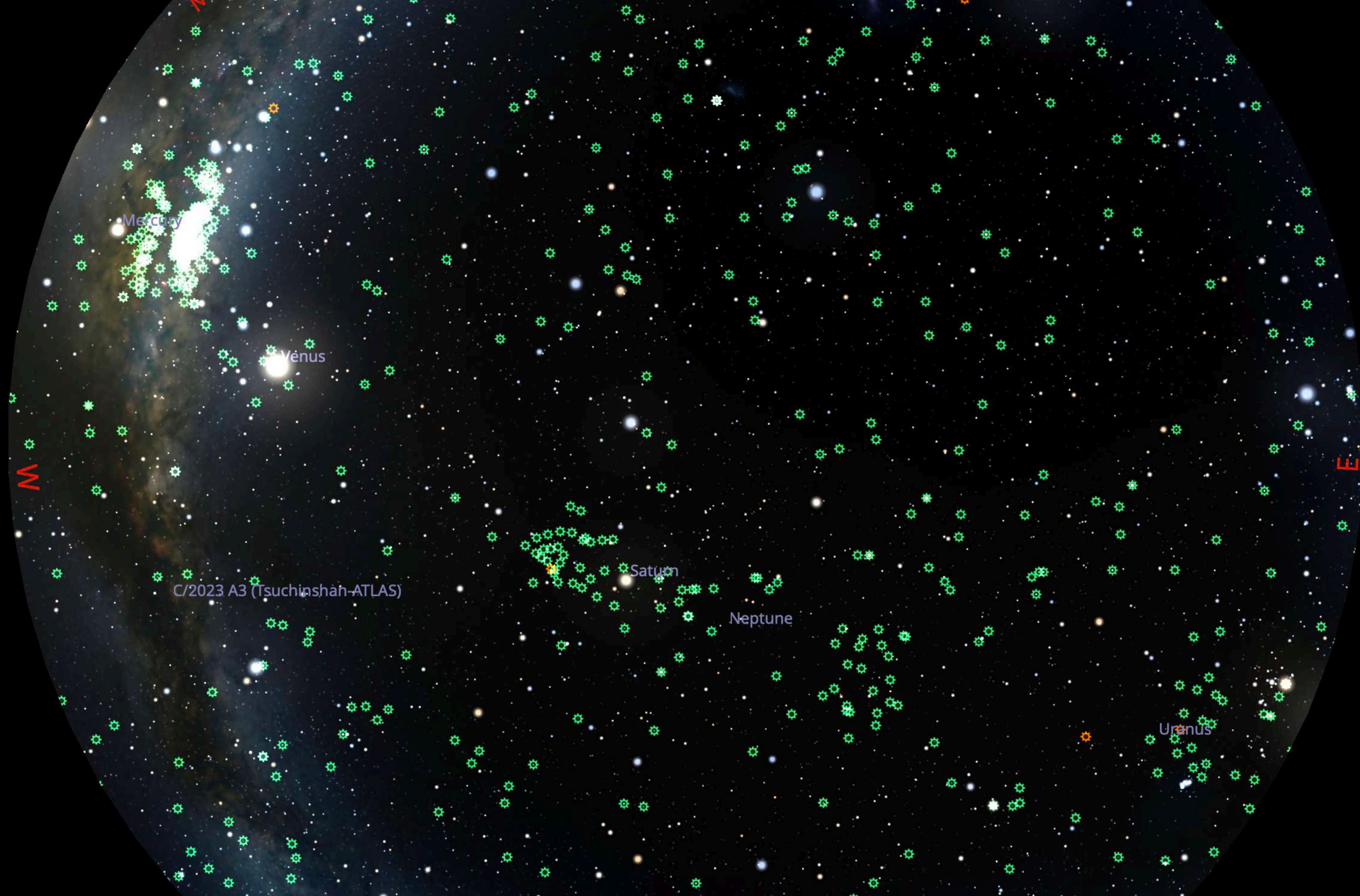
Saturn

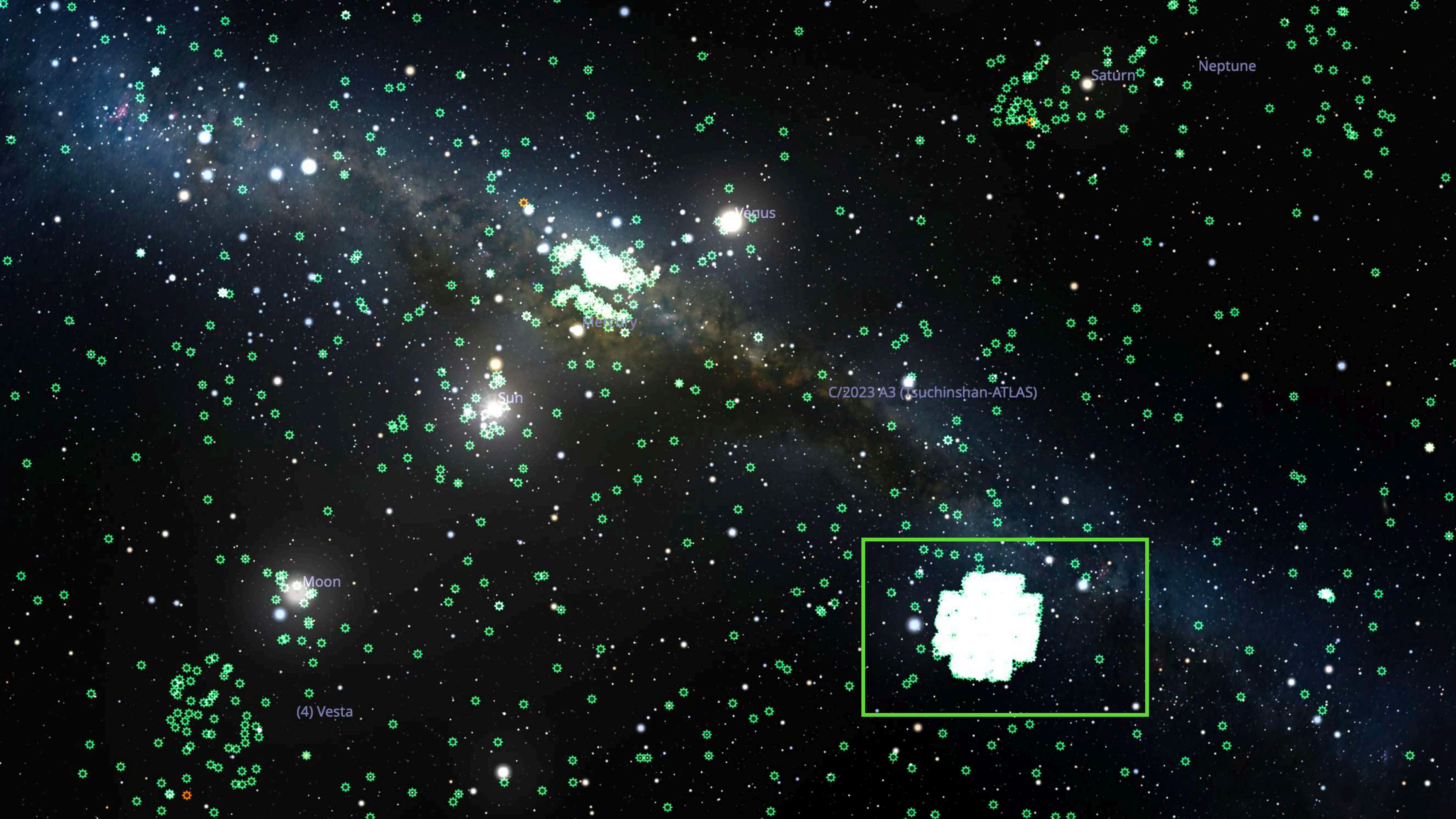
Neptune

Uranus

C/2023 A3 (Tsuchinshan-ATLAS)

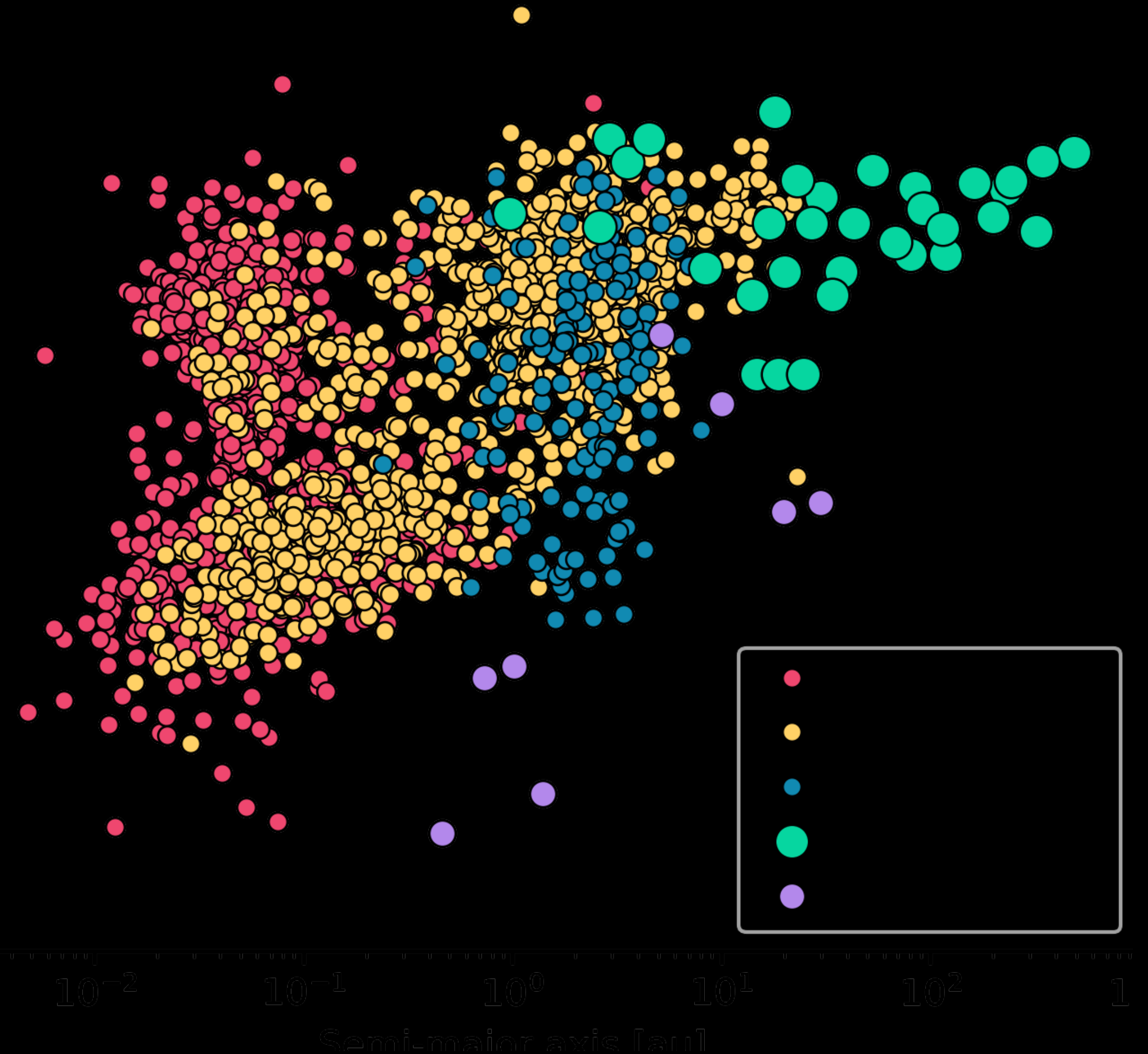






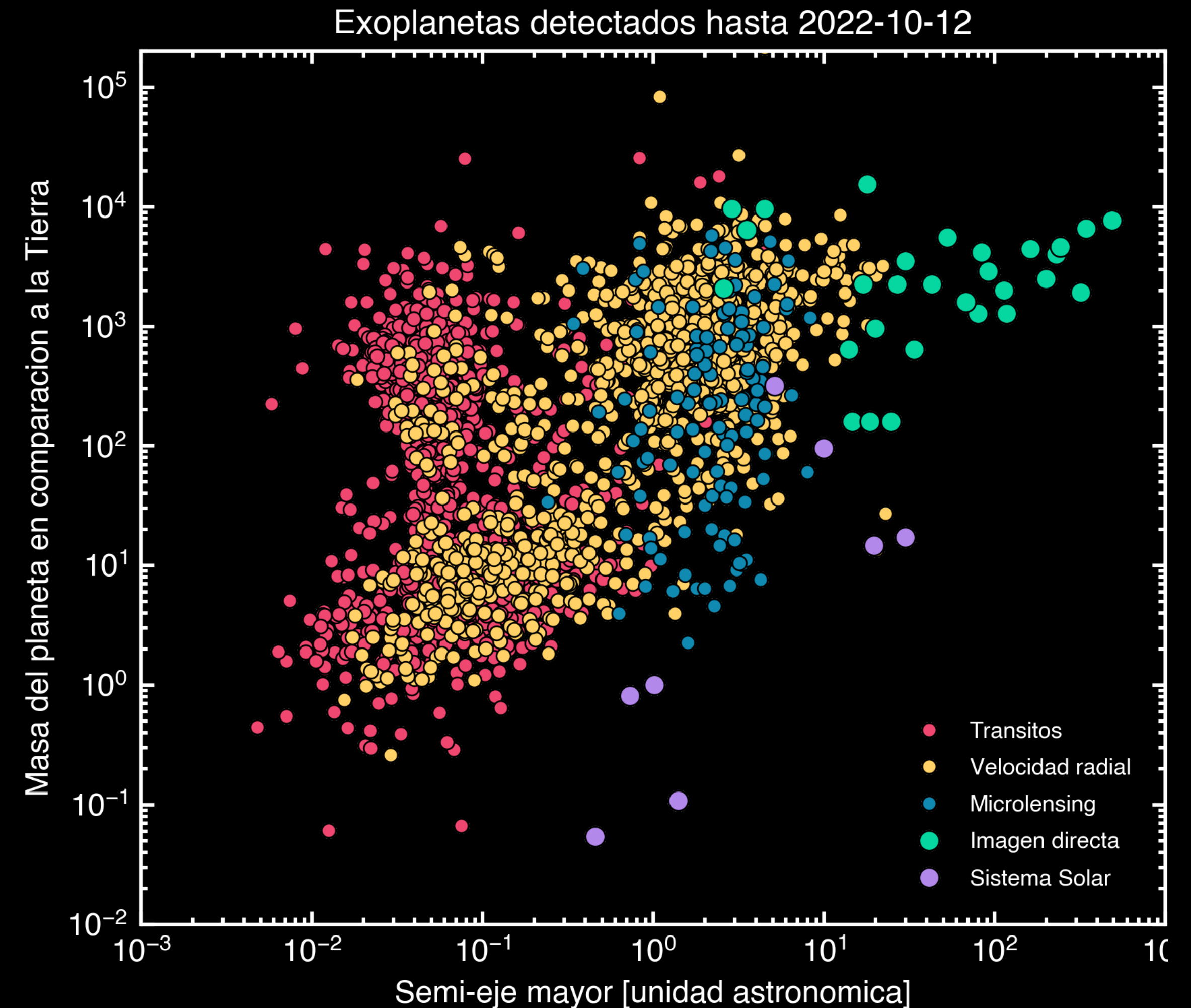
Exoplanetas

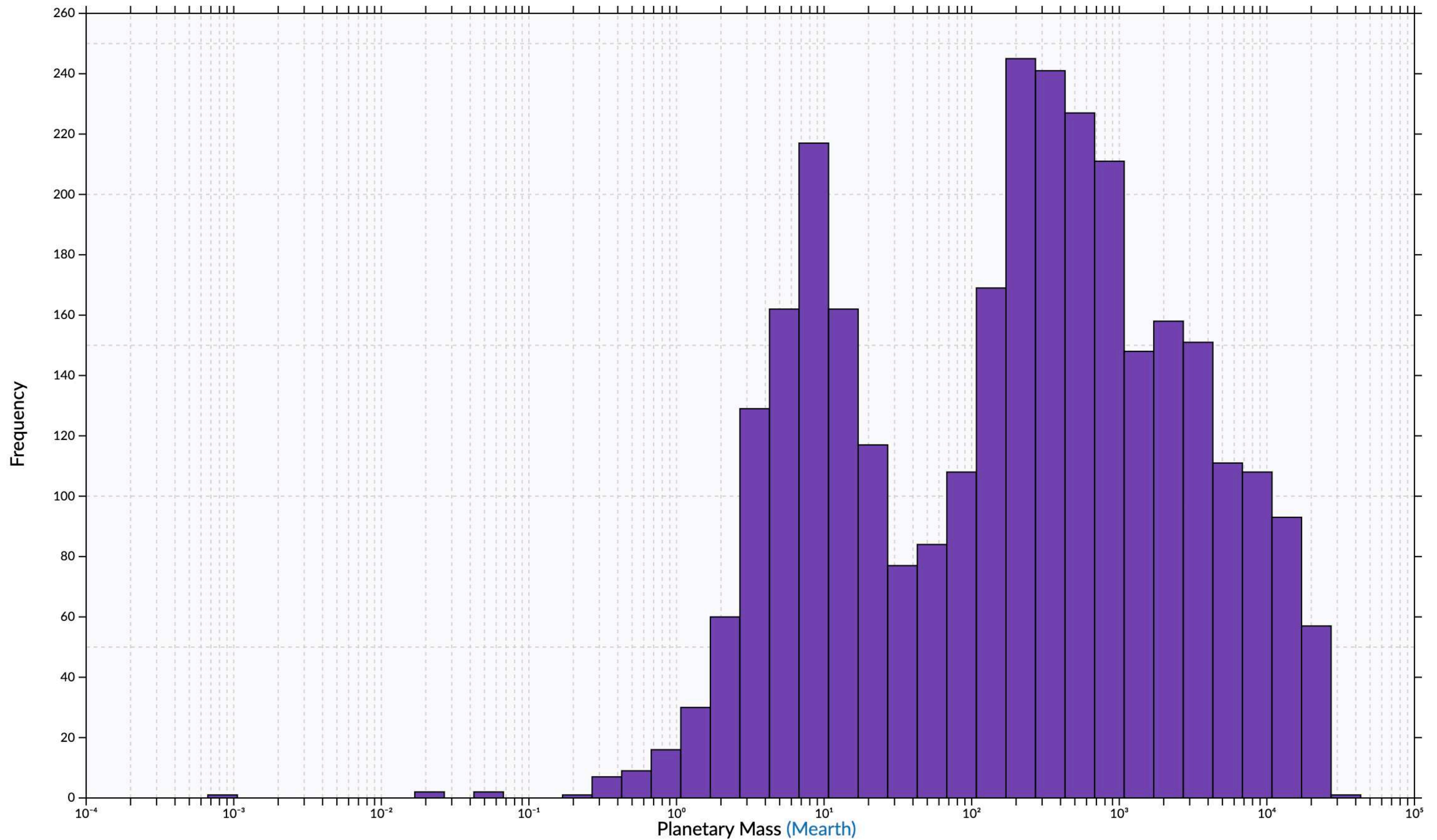
- Planetas que orbitan estrellas diferentes a nuestro Sol (y qué pasa con los free floating objects?)
- En 30 años se ha ido de 0 a más de 5000 exoplanetas descubiertos.
- Técnicas de detección variadas.



Qué hemos aprendido de los exoplanetas?

- La naturaleza forma planetas de manera robusta y eficiente alrededor de una amplia variedad de estrellas y entornos.
- Nuestro sistema solar es inusualmente diferente de la norma.
- Los sistemas exoplanetarios a menudo son más compactos, con varios planetas dentro de una AU, exhibiendo a veces arquitecturas notablemente organizadas.
- Curiosamente, los super-Tierras y mini-Neptunos son sorprendentemente comunes (Lissauer et al. 2023).

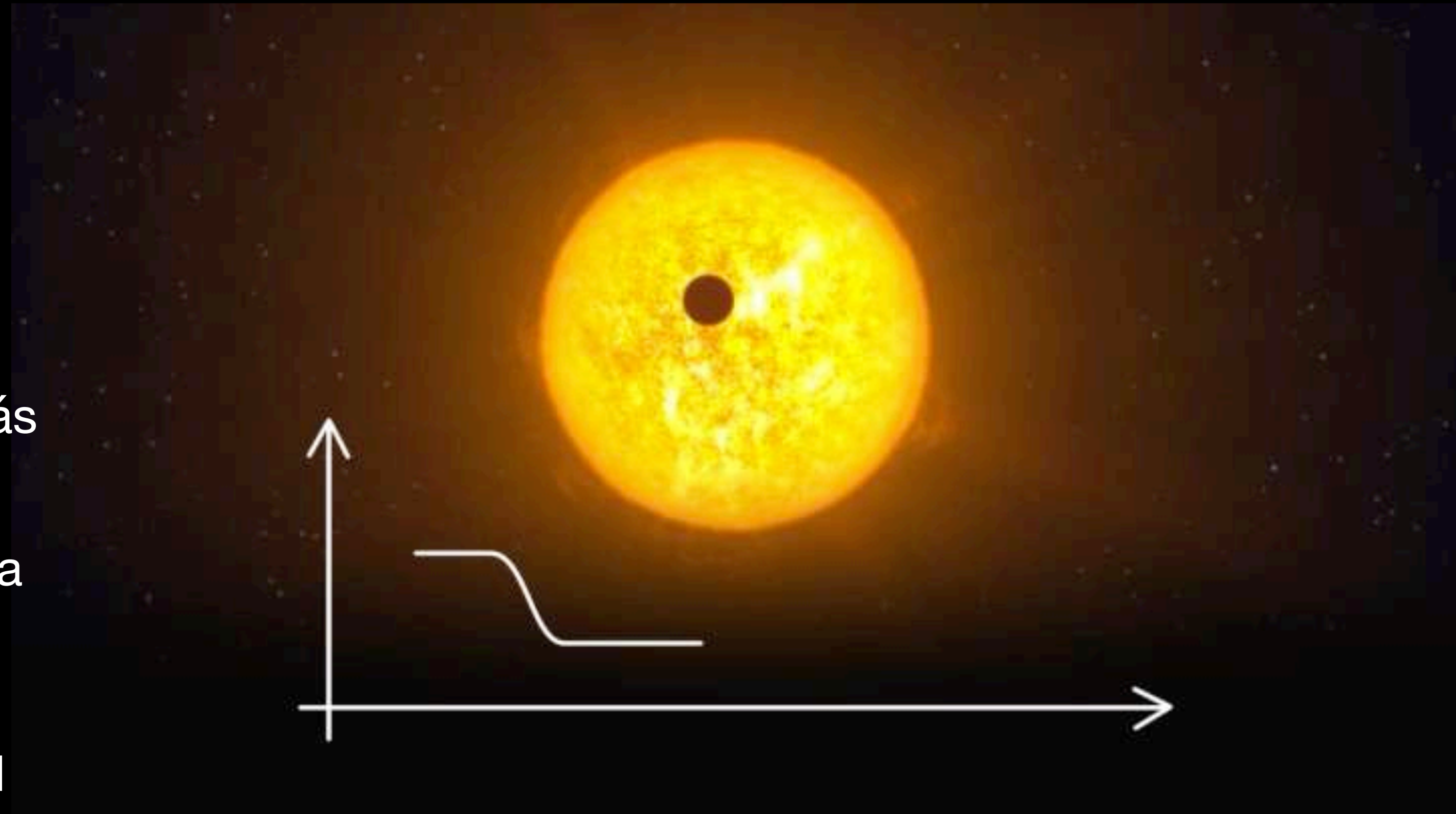




Tránsitos

Métodos de detección

- Detecta planetas que tienen órbita de 90 grados con respecto al plano del cielo
- Detecta planetas cercanos a la estrella
- Cuanto mayor es el tamaño del planeta, más fácil será detectarlo
- Lo que se mide es el radio del planeta (no la masa)
- Se puede medir la orientación de la órbita con respecto a la rotación de la estrella y al cielo
- Es una técnica que se puede utilizar desde tierra y sobretodo desde el espacio



Tránsitos

Métodos de detección

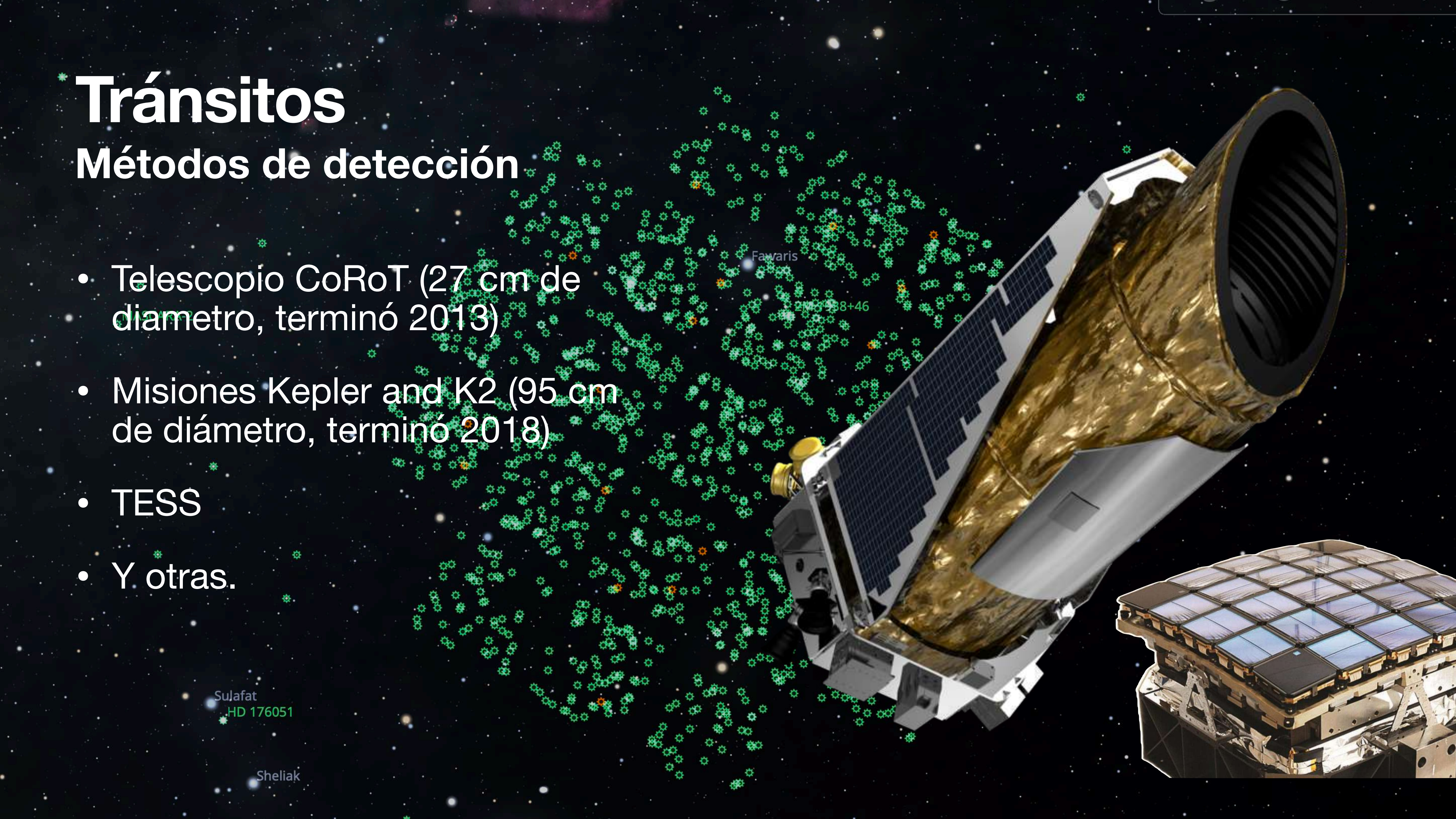
- Telescopio CoRoT (27 cm de diámetro, terminó 2013)
- Misiones Kepler and K2 (95 cm de diámetro, terminó 2018)
- TESS
- Y otras.

Sulafat
HD 176051

Sheliak

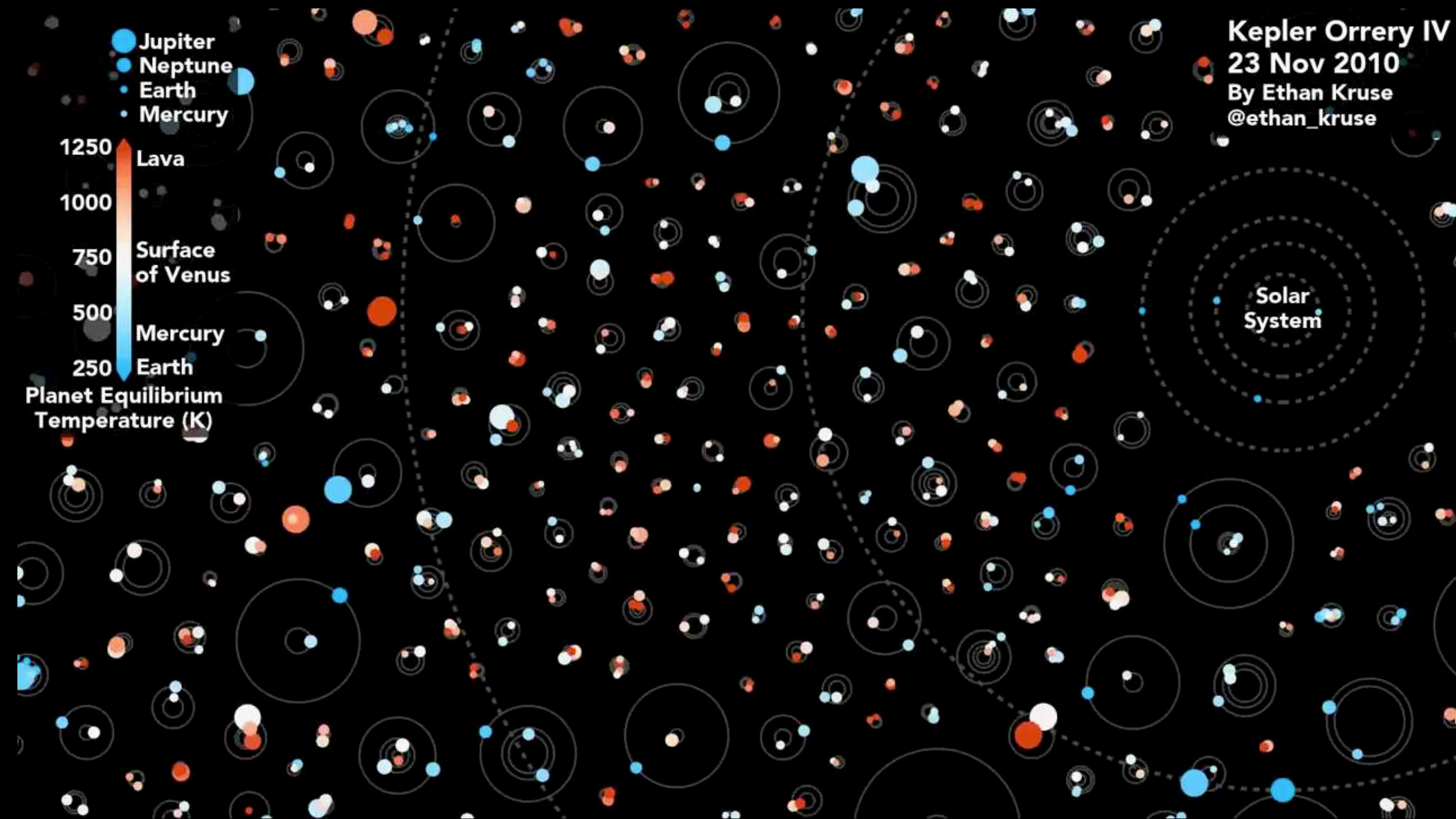
Fawaris

2MASS 1846



Problemas de los tránsitos

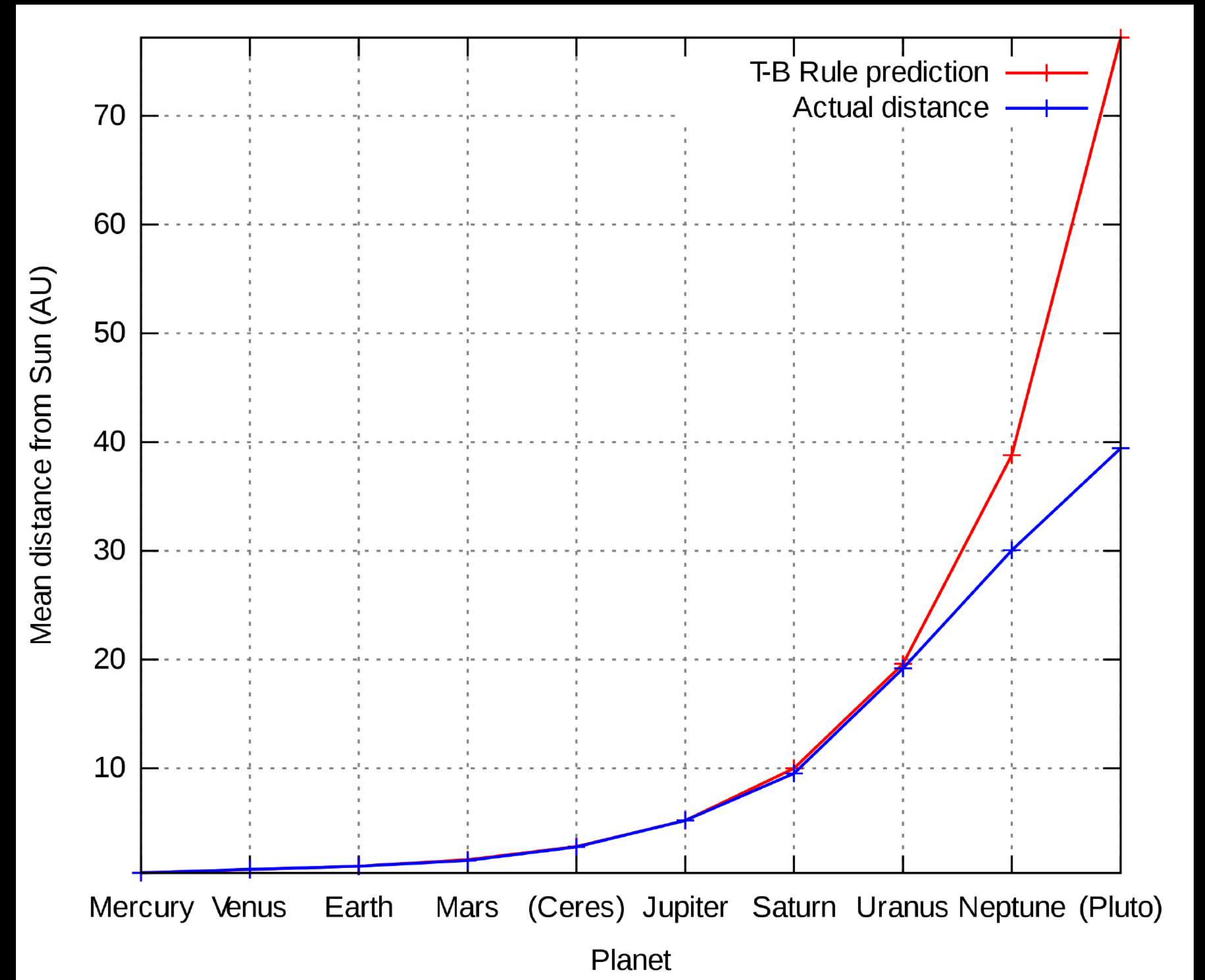
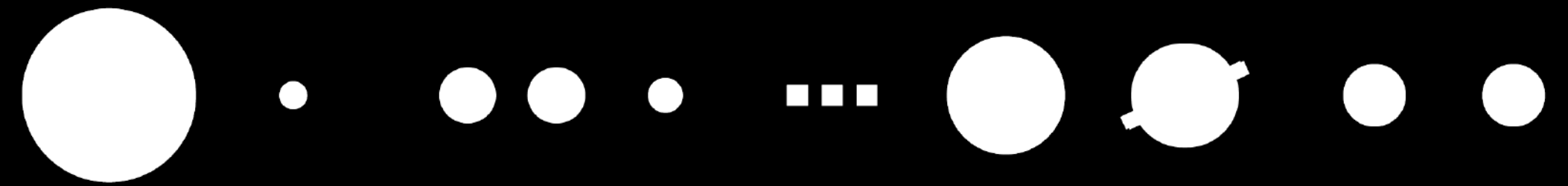
- Para detectar planetas en transito hace falta un telescopio muy sensible -> la diferencia de intensidad luminosa es de ~1%
- Hay muchos tipos de 'falsos positivos': manchas solares, sistemas binarios, etc...
- No se pueden estudiar estrellas jóvenes y activas
- Los planetas están muy cerca a la estrella
- No se puede saber la masa del planeta



Titus-Bode (1766 y 1772)

$$a = 0.4 + 0.3 \times 2^n$$

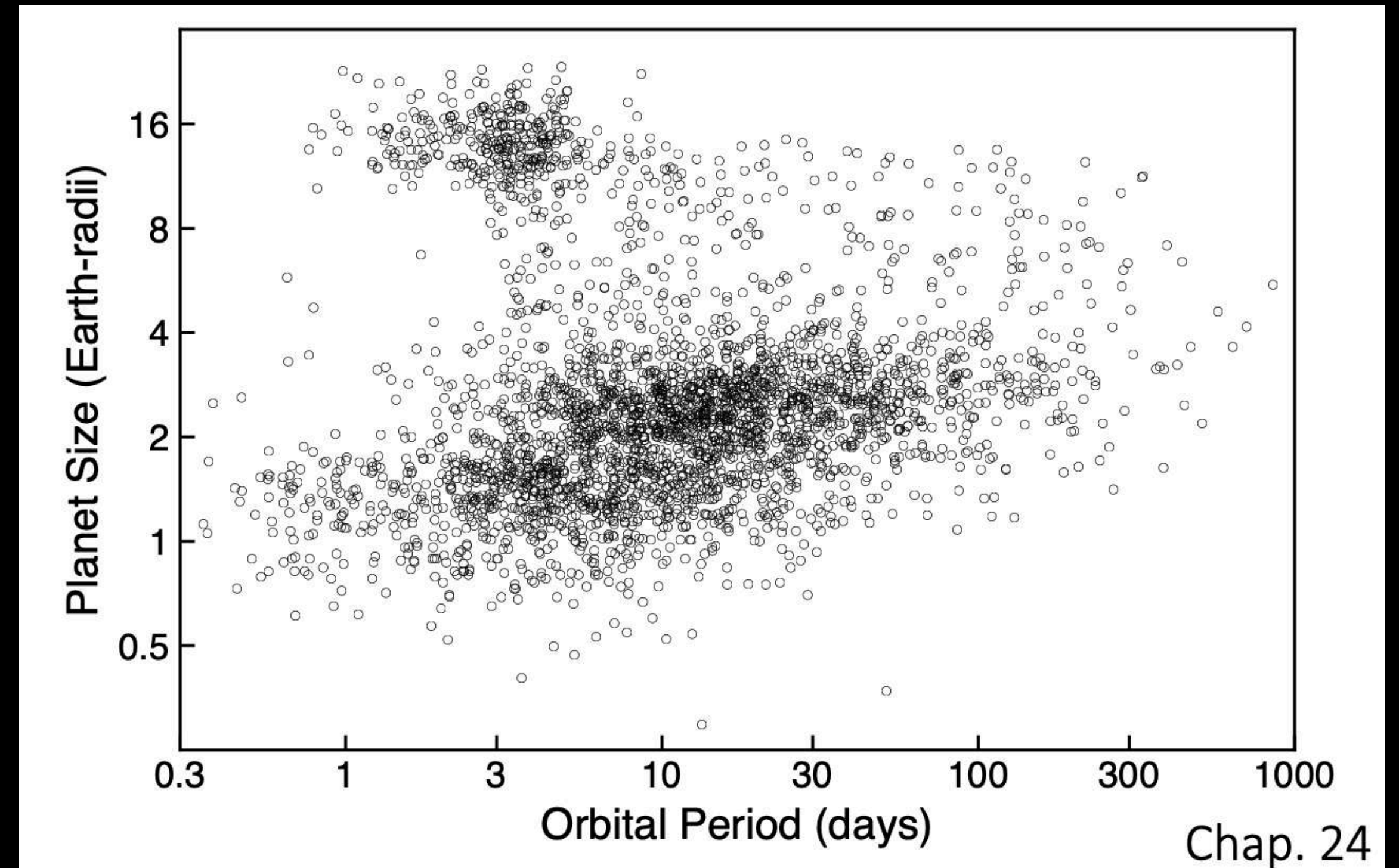
- Fórmula empírica que describe la disposición semirregular de los planetas en el sistema solar.
- “n” comienza en -inf para Mercurio y se utiliza 0, 1, 2, 3, etc. para los planetas siguientes.
- No tiene fundamento teórico.
- No es muy precisa para Neptuno y Plutón.
- Sigue siendo considerada más bien una coincidencia más que una ley... pero...



Arquitectura de sistemas planetarios

“Peas-in-a-pod”

- Si bien los semi-ejes mayores de los planetas del sistema solar abarcan 2 órdenes de magnitud, los exoplanetas muestran rangos de hasta 4 órdenes de magnitud.
- Los sistemas que violan la dicotomía (rocky/gas) del sistema solar son comunes.
- Novedad: en sistemas compactos hay una tendencia hacia espaciados uniformes (en logaritmo) como “arvejas en una vaina”.

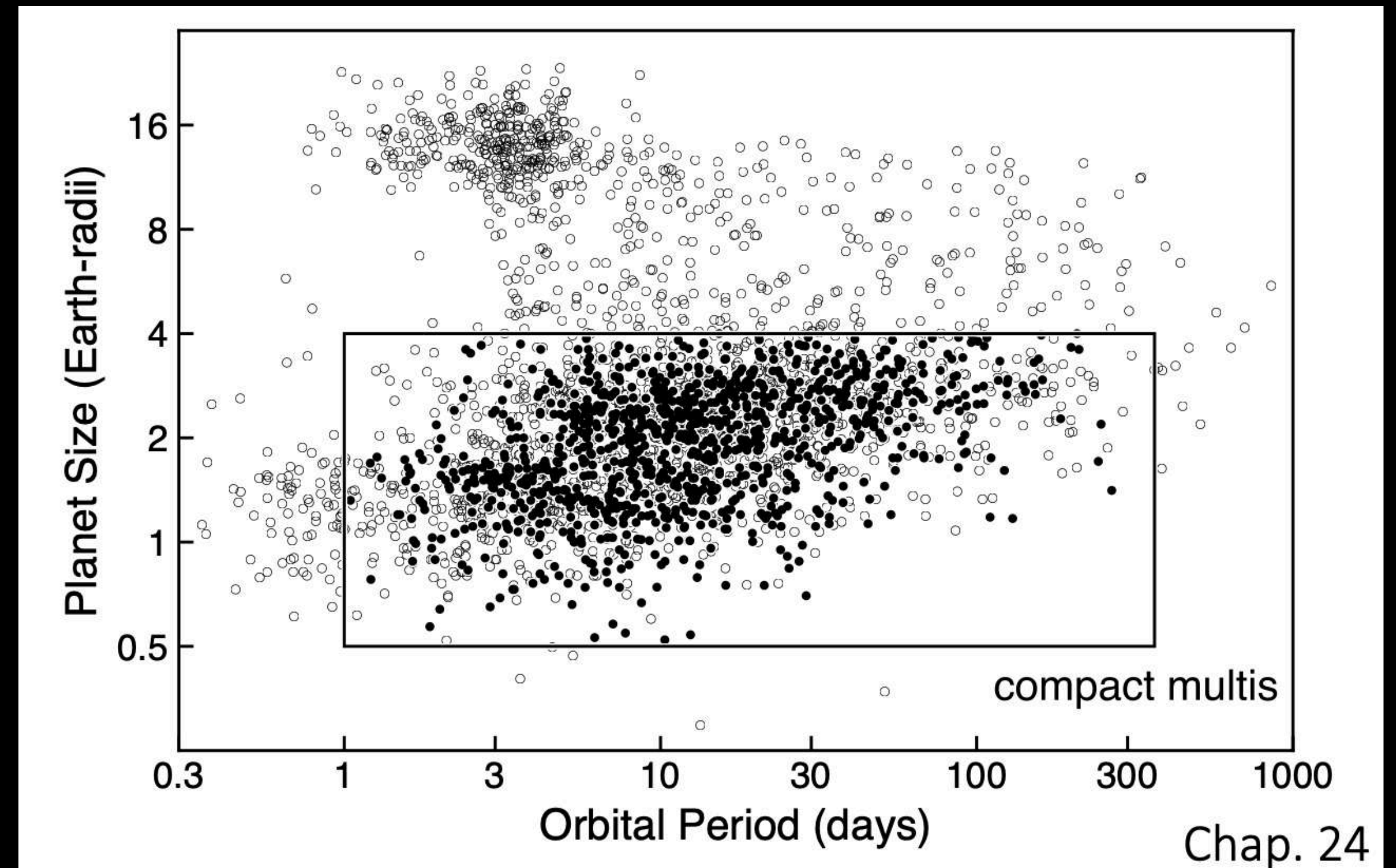


Weiss et al. (2023), PPVII review

Arquitectura de sistemas planetarios

“Peas-in-a-pod”

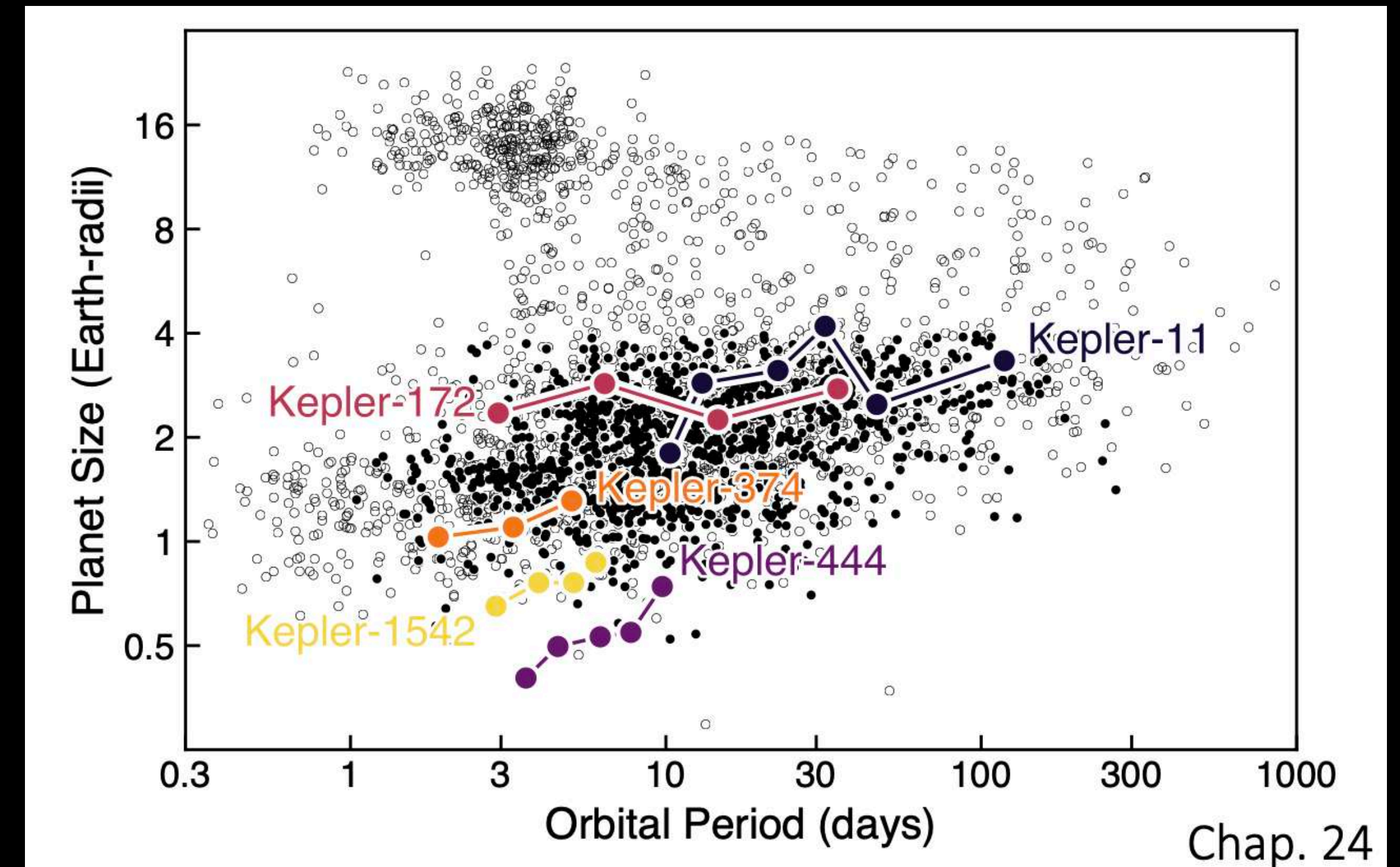
- Si bien los semi-ejes mayores de los planetas del sistema solar abarcan 2 órdenes de magnitud, los exoplanetas muestran rangos de hasta 4 órdenes de magnitud.
- Los sistemas que violan la dicotomía (rocky/gas) del sistema solar son comunes.
- Novedad: en sistemas compactos hay una tendencia hacia espaciados uniformes (en logaritmo) como “arvejas en una vaina”.



Arquitectura de sistemas planetarios

“Peas-in-a-pod”

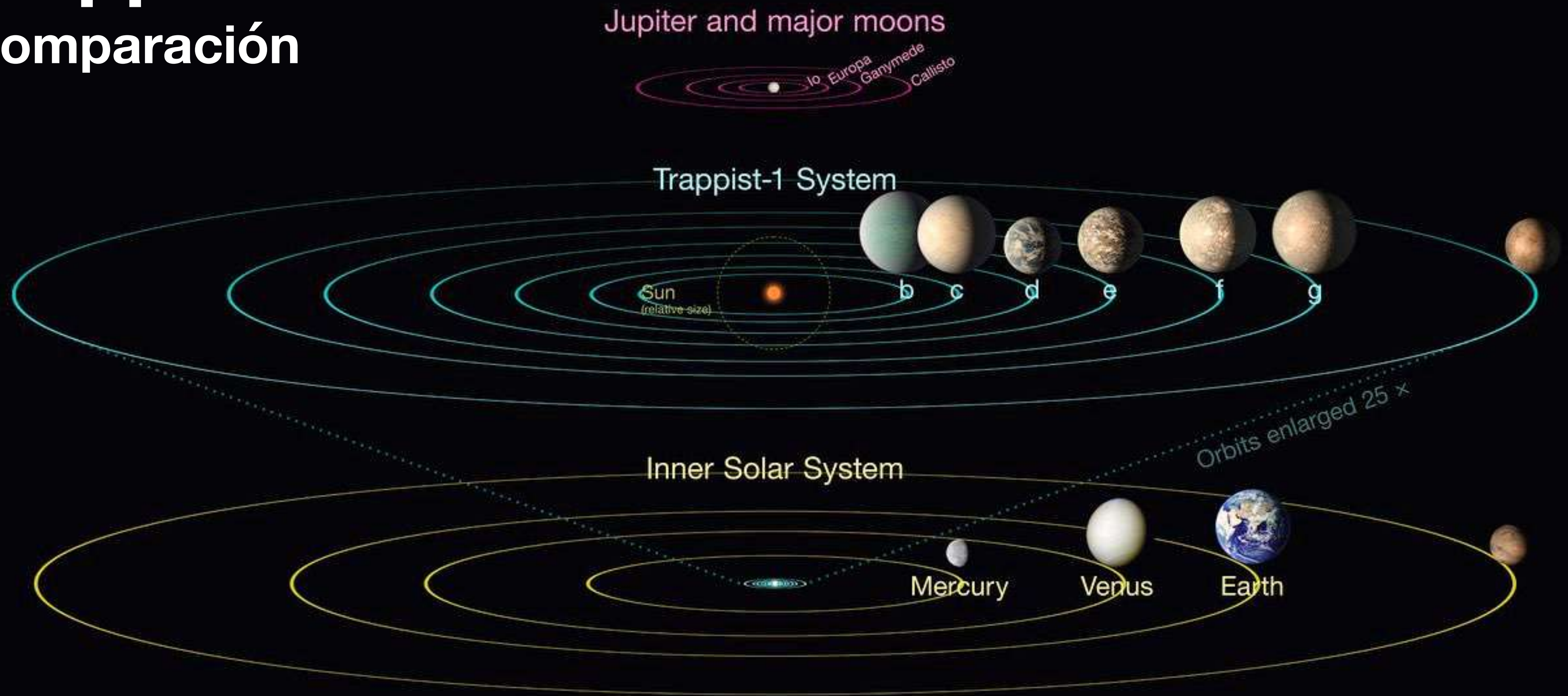
- Si bien los semi-ejes mayores de los planetas del sistema solar abarcan 2 órdenes de magnitud, los exoplanetas muestran rangos de hasta 4 órdenes de magnitud.
- Los sistemas que violan la dicotomía (rocky/gas) del sistema solar son comunes.
- Novedad: en sistemas compactos hay una tendencia hacia espaciados uniformes (en logaritmo) como “arvejas en una vaina”.



Weiss et al. (2023), PPVII review

Trappist 1

Comparación



Arquitectura de sistemas planetarios:

“Peas-in-a-pod”



- Novedad: hay una tendencia hacia espaciados uniformes (en logaritmo) como “arvejas en una vaina”.

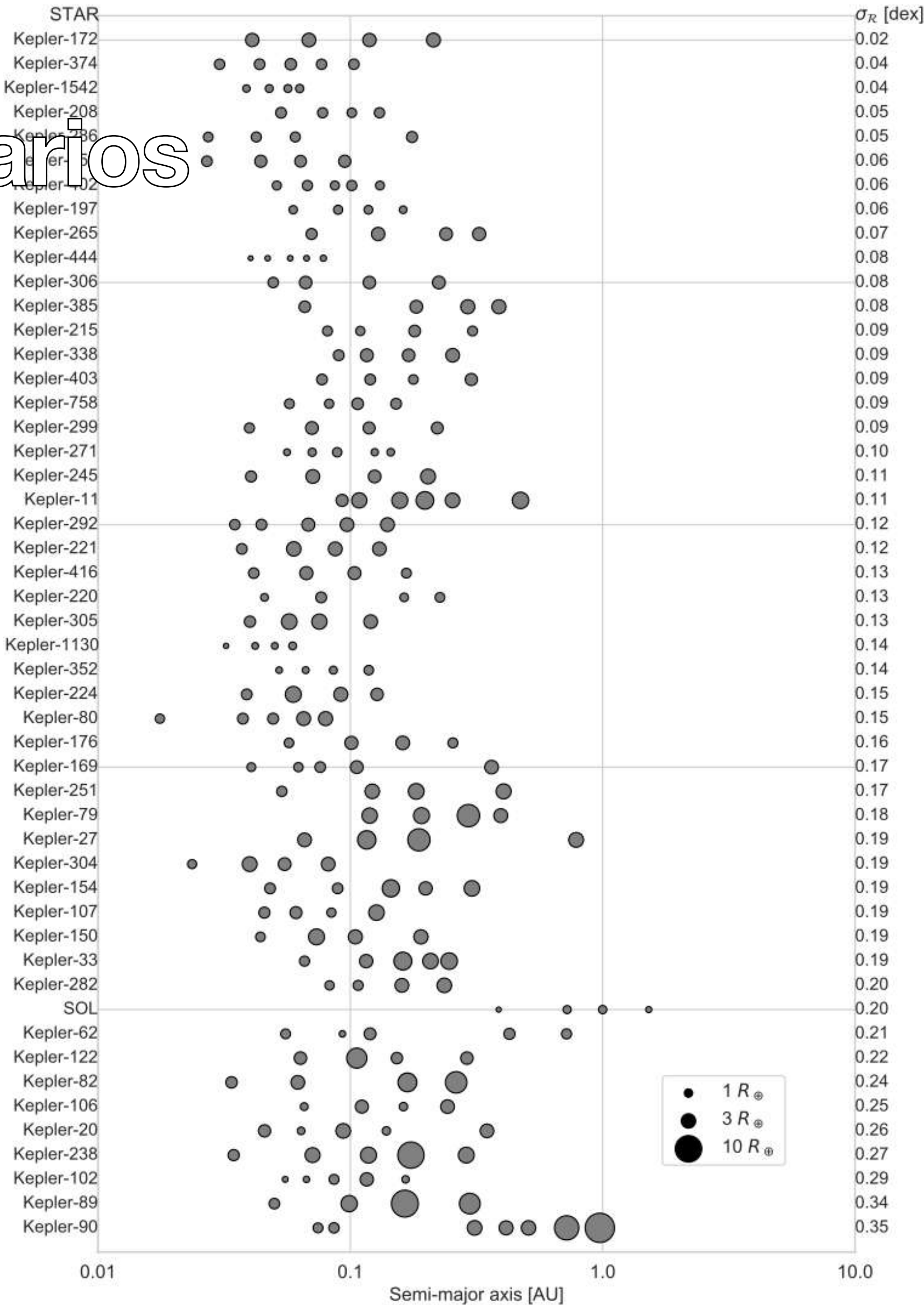
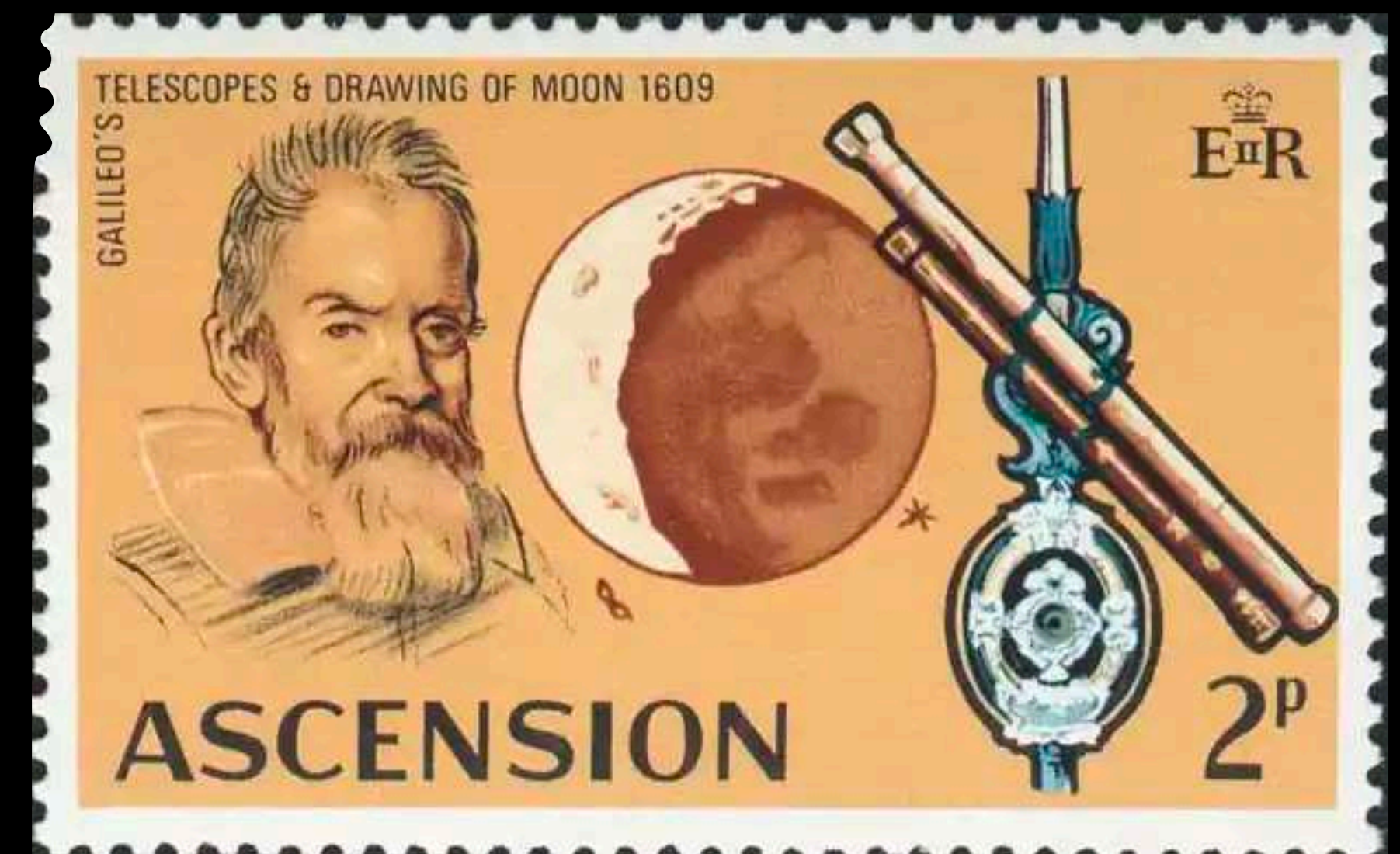


Fig. 3.— Compact multi-planet systems with four or more transiting planets interior to 1.52 au (data from the California Kepler Survey, [Weiss et al. 2018a](#)). The systems are ranked by their planet radius dispersions σ_R , with the most uniform sizes at the top and the greatest size diversity at the bottom. The point sizes represent the planet radii on a logarithmic scale (see legend). The Solar System terrestrial planets are included for comparison; their σ_R is the bottom quintile of size uniformity. Although we do not know how many Solar System analogs Kepler missed (since it was insensitive to Mars-sized planets at Mars-like orbits), the peas-in-a-pod architecture that is prevalent in the Kepler compact multis did not emerge as strongly in the final architecture of the Solar System.



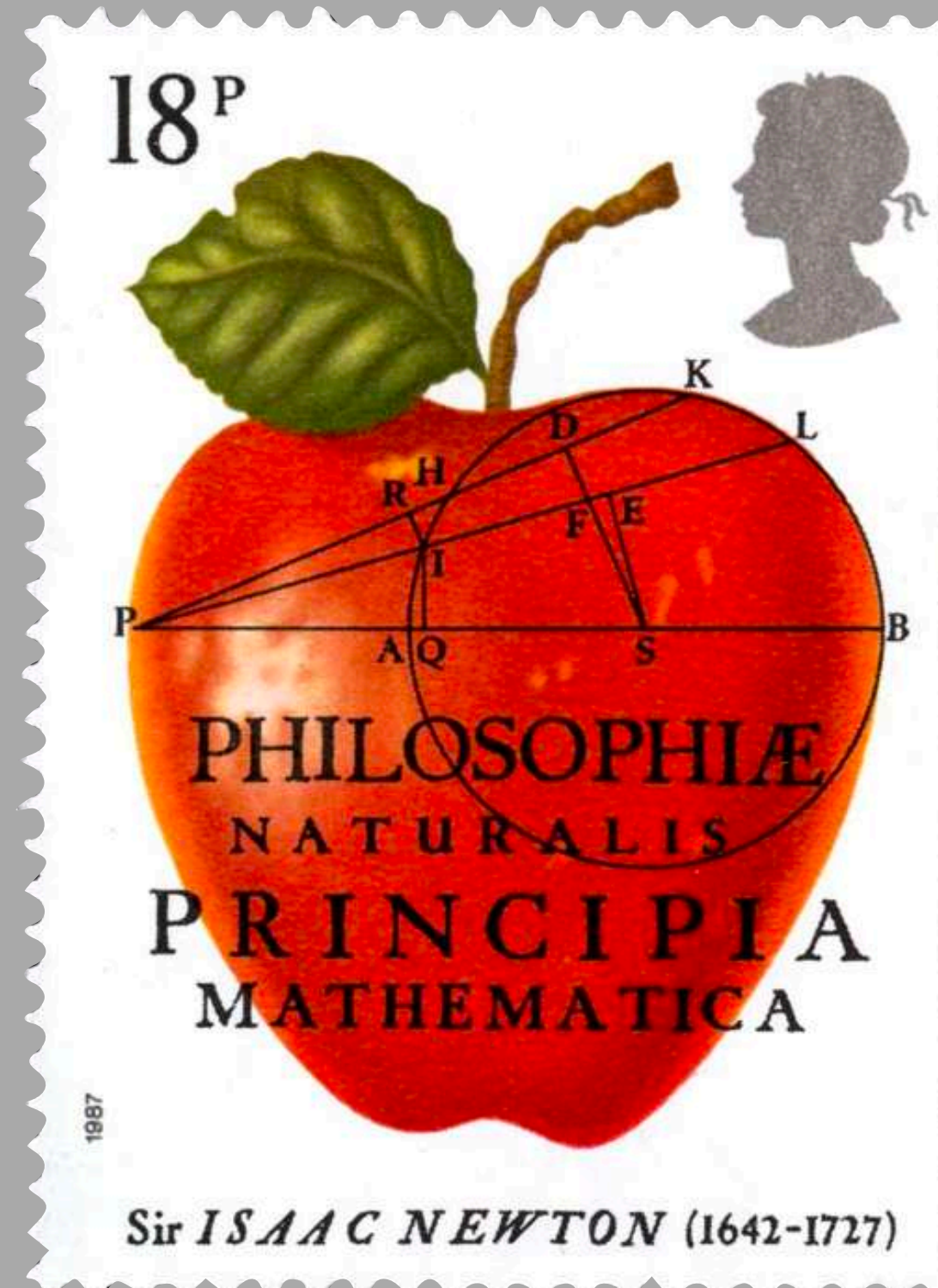
Galileo Galilei: precursor de la astronomía observacional moderna.
¿Qué descubrió Galileo?

- Observaciones: Lunas de Júpiter, fases de Venus, manchas solares, cráteres lunares — todo en contra del modelo geocéntrico.
- Cinemática: Estudió el movimiento de los cuerpos en caída, desarrollando un concepto temprano de inercia.
- Método científico: Experimentos + matemáticas para entender la naturaleza.
- Las lunas de Júpiter como el primer análogo de un “sistema exoplanetario”.



Newton – La Ley Universal

La leyes de Kepler son empíricas pero posteriormente se pudieron derivar gracias a la mecánica de Newton.



Ley de Gravitación Universal de Newton

¿Qué es? ¿Funciona? ¿A toda escala?

¿Qué pasa a nivel microscópico?

¿Qué pasa a escalas más grandes que el sistema solar?

¿Puede la Tierra ser plana?

(conversar sobre argumentos a favor y en contra, y sobre el cuidado que hay que tener en este tipo de debates)