

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

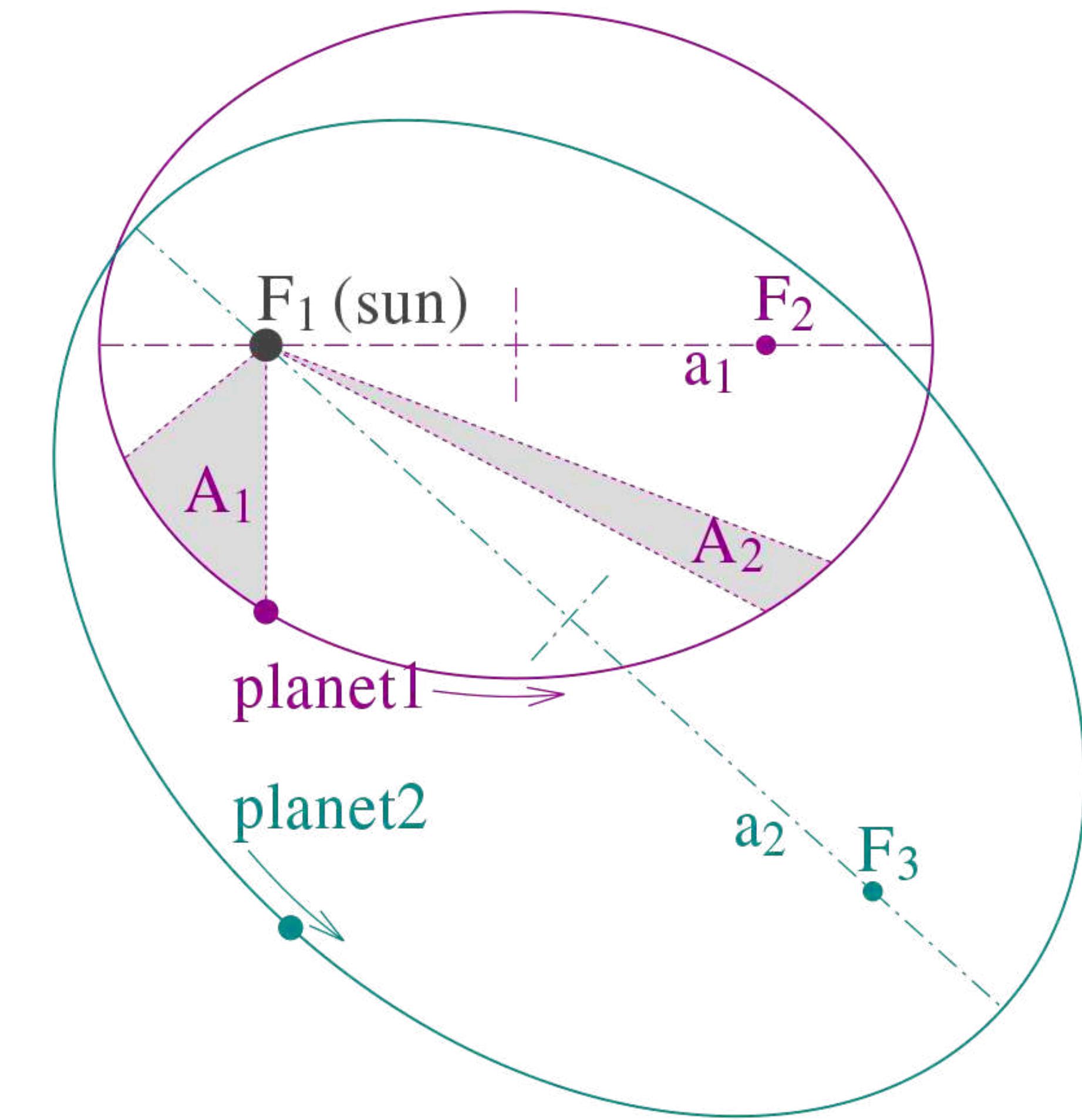
Leyes de Kepler (órbitas, áreas, distancias y periodos)

+

Gravitación de Newton



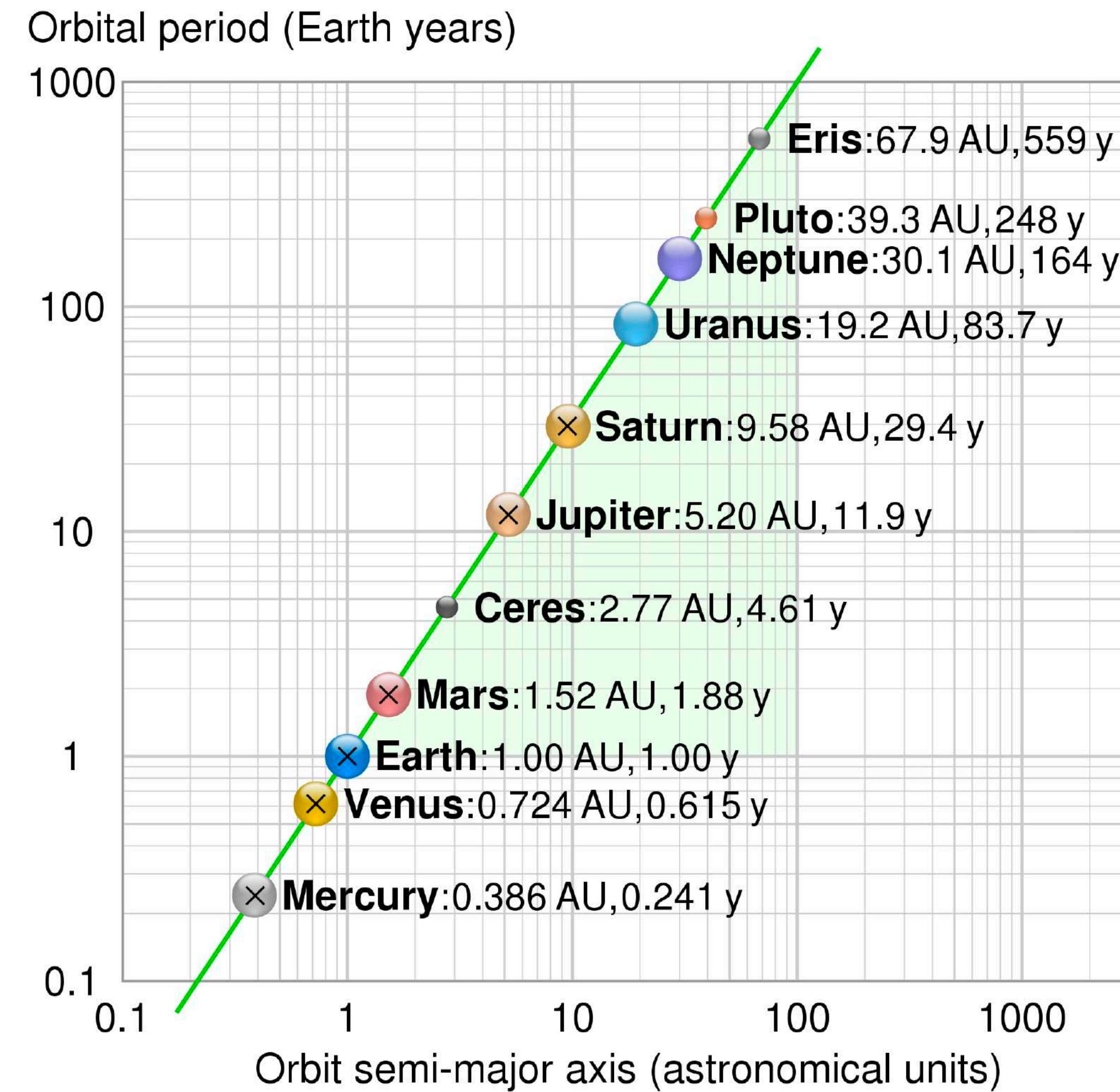
Primera ley: órbitas elípticas

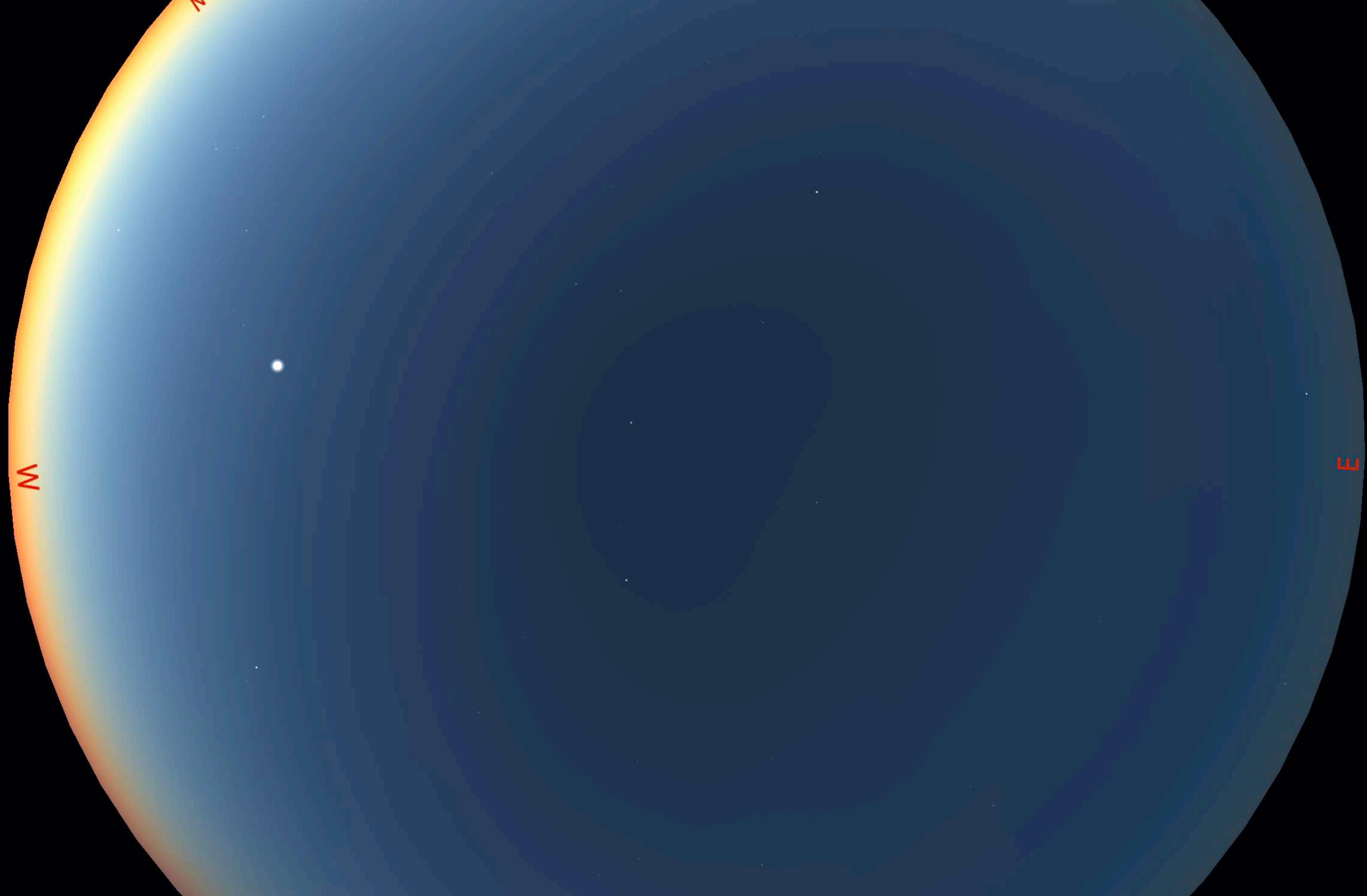


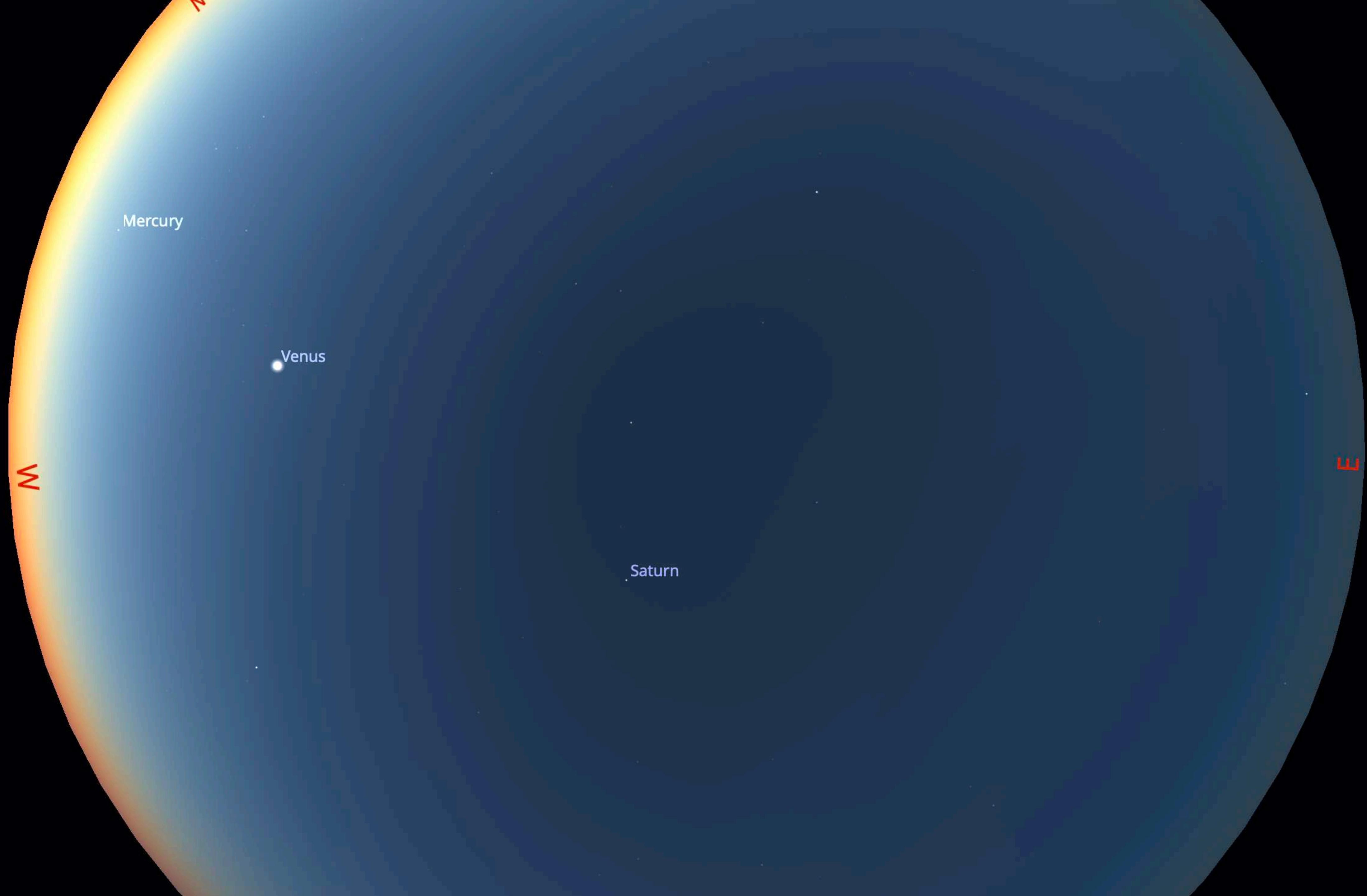
Segunda ley: áreas iguales en tiempos iguales



Tercera ley (1619): relación entre el periodo orbital y el radio promedio de la órbita. Permitió el descubrimiento de Neptuno y Ceres.







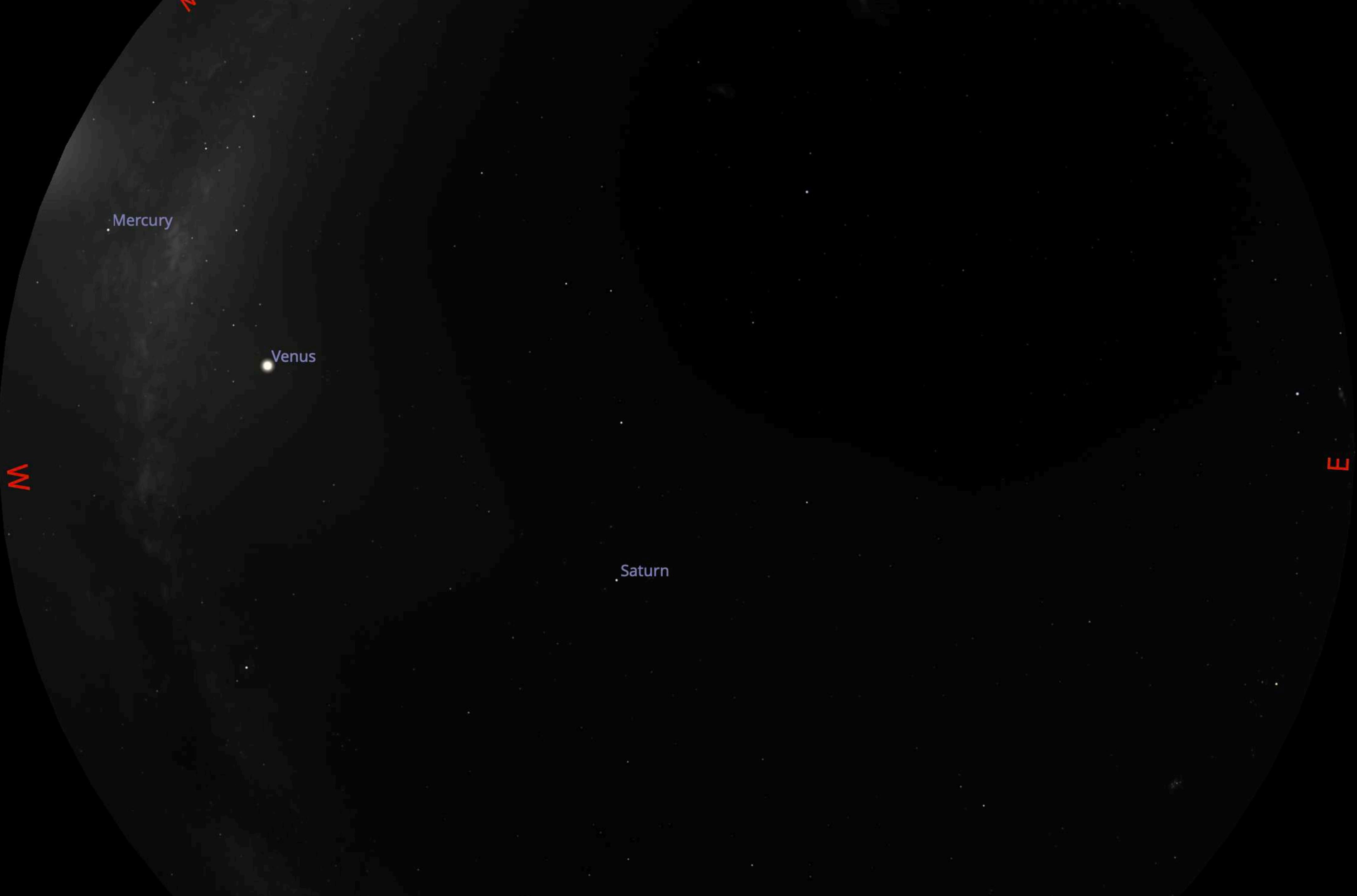
Mercury

Venus

Saturn

E

S



Mercury

Venus

Saturn



Mercury

Venus

W

C/2023 A3 (Tsuchinshan-ATLAS)

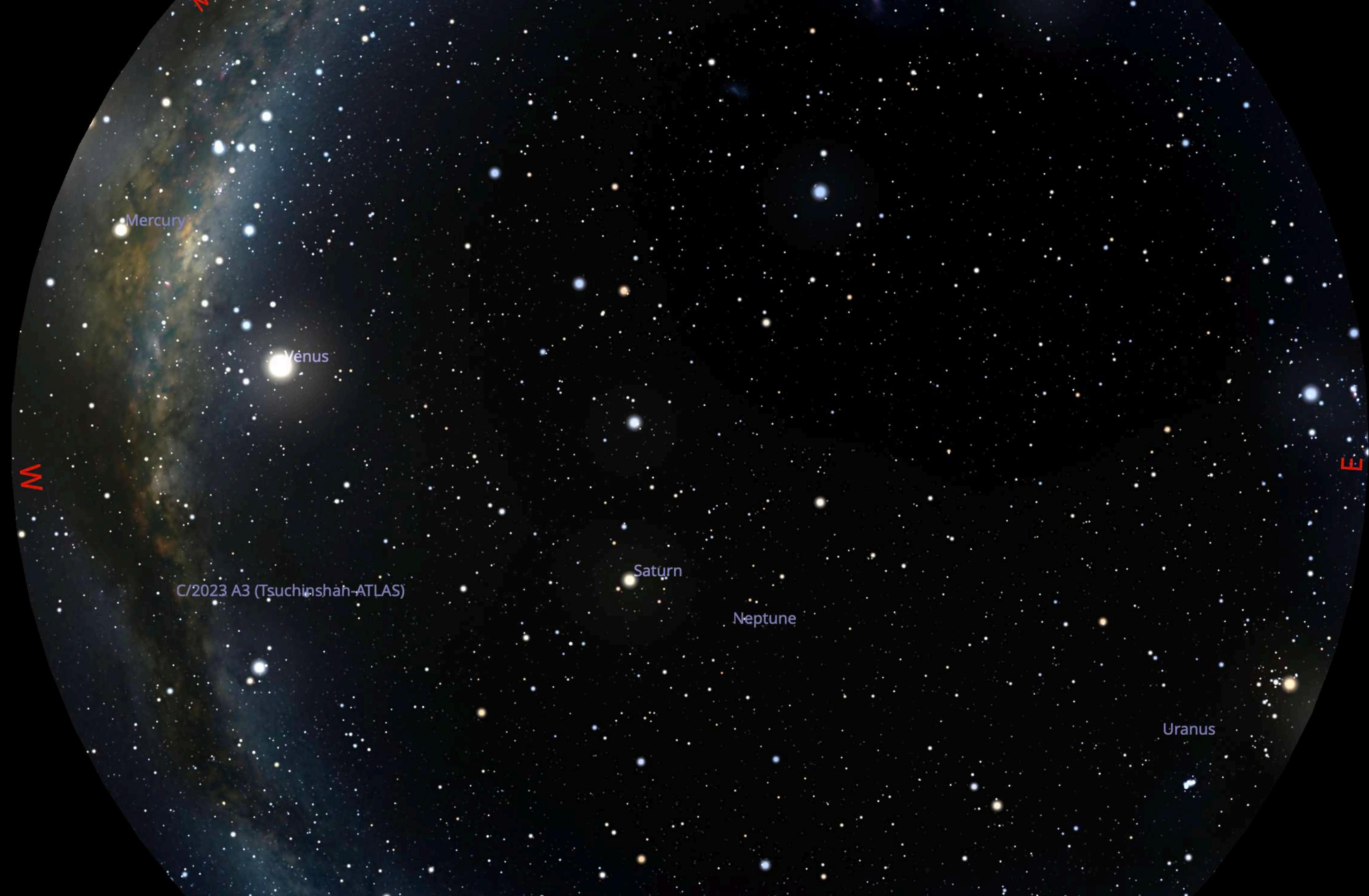
Saturn

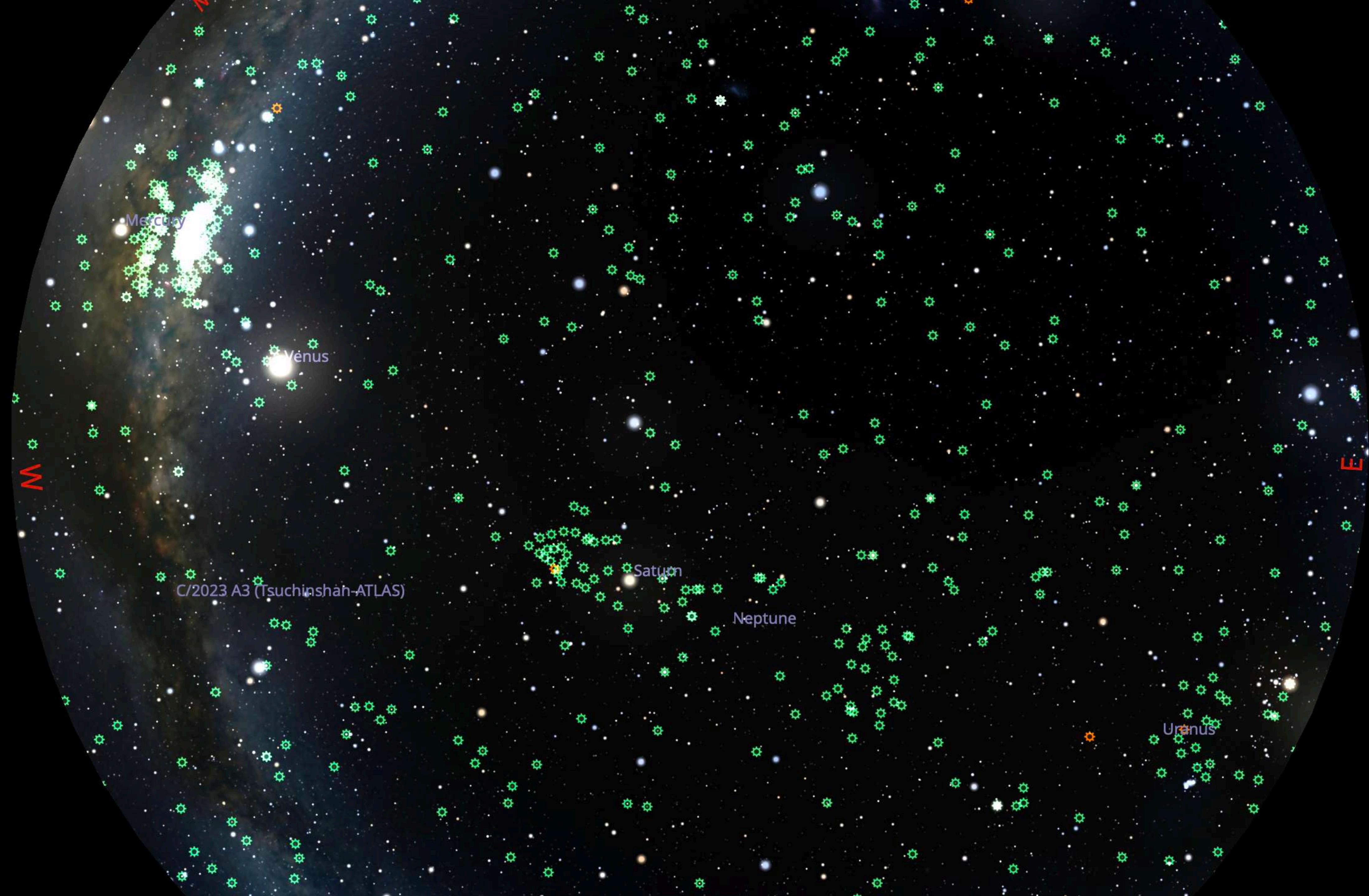
Neptune

Uranus

E

N





Mercury

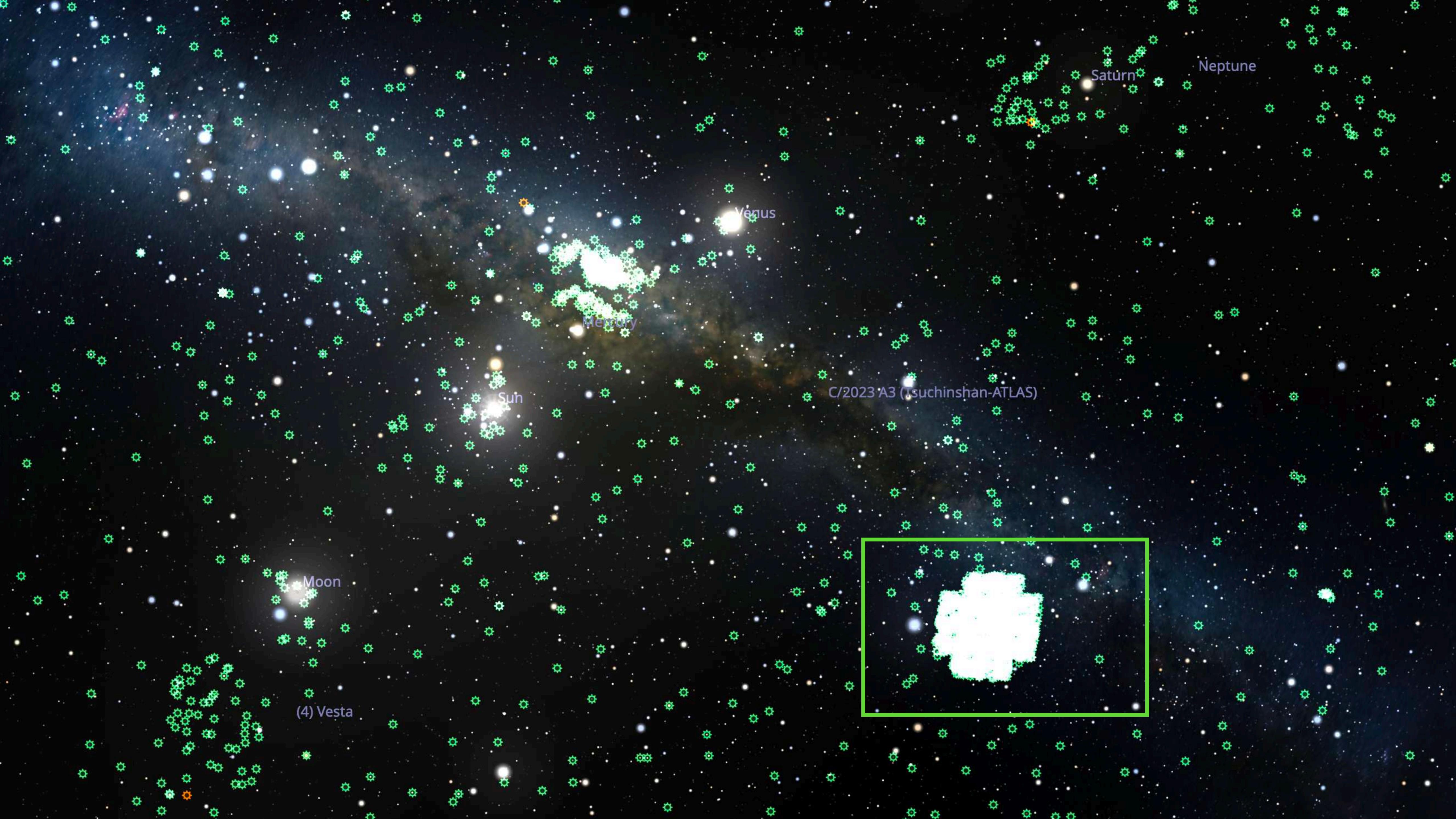
Venus

Saturn

Neptune

C/2023 A3 (Tsuchinshan-ATLAS)

Uranus



Saturn

Neptune

Venus

Mercury

Sun

C/2023 A3 (Tsuchinshan-ATLAS)

Moon

(4) Vesta

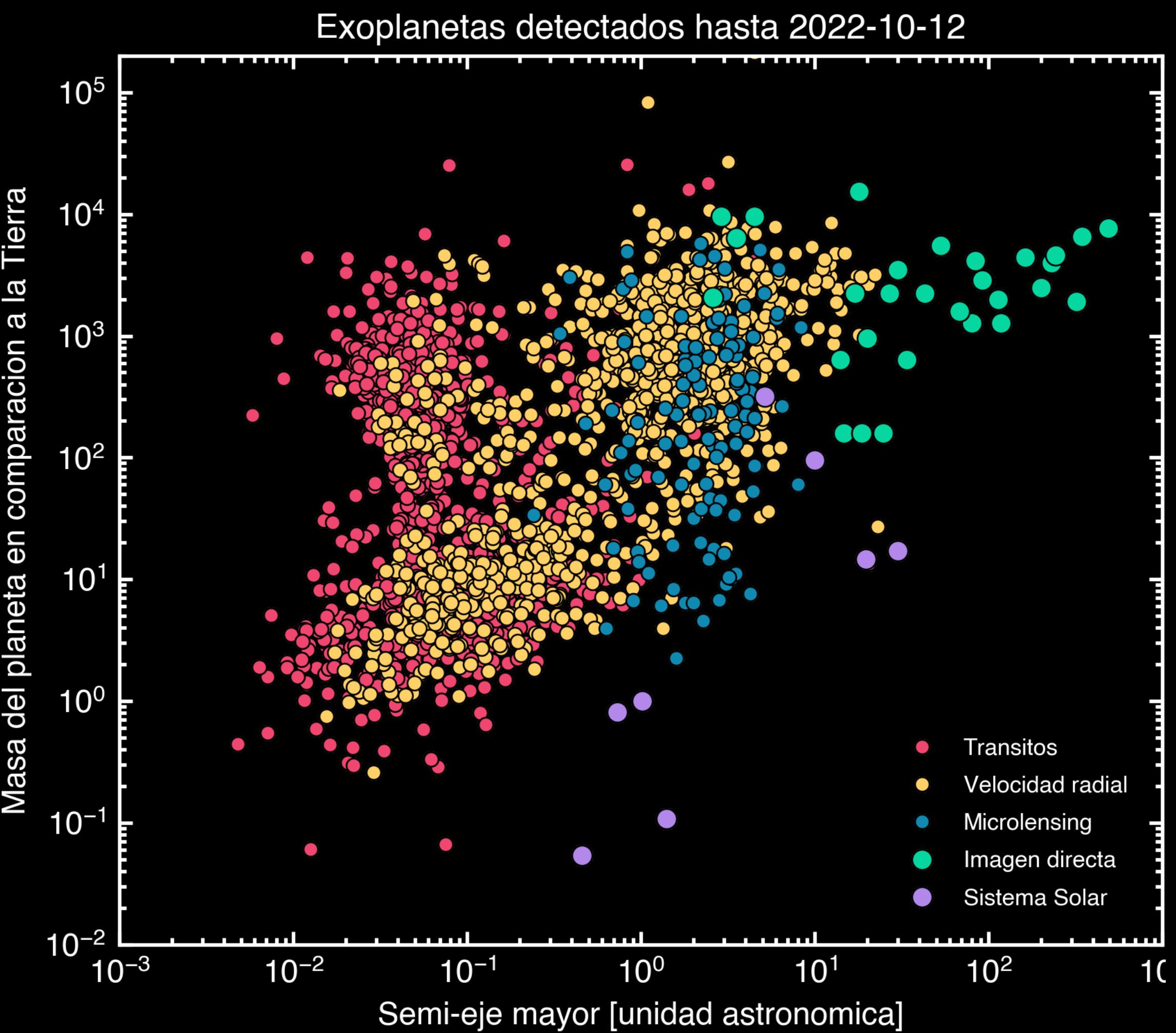
Exoplanetas

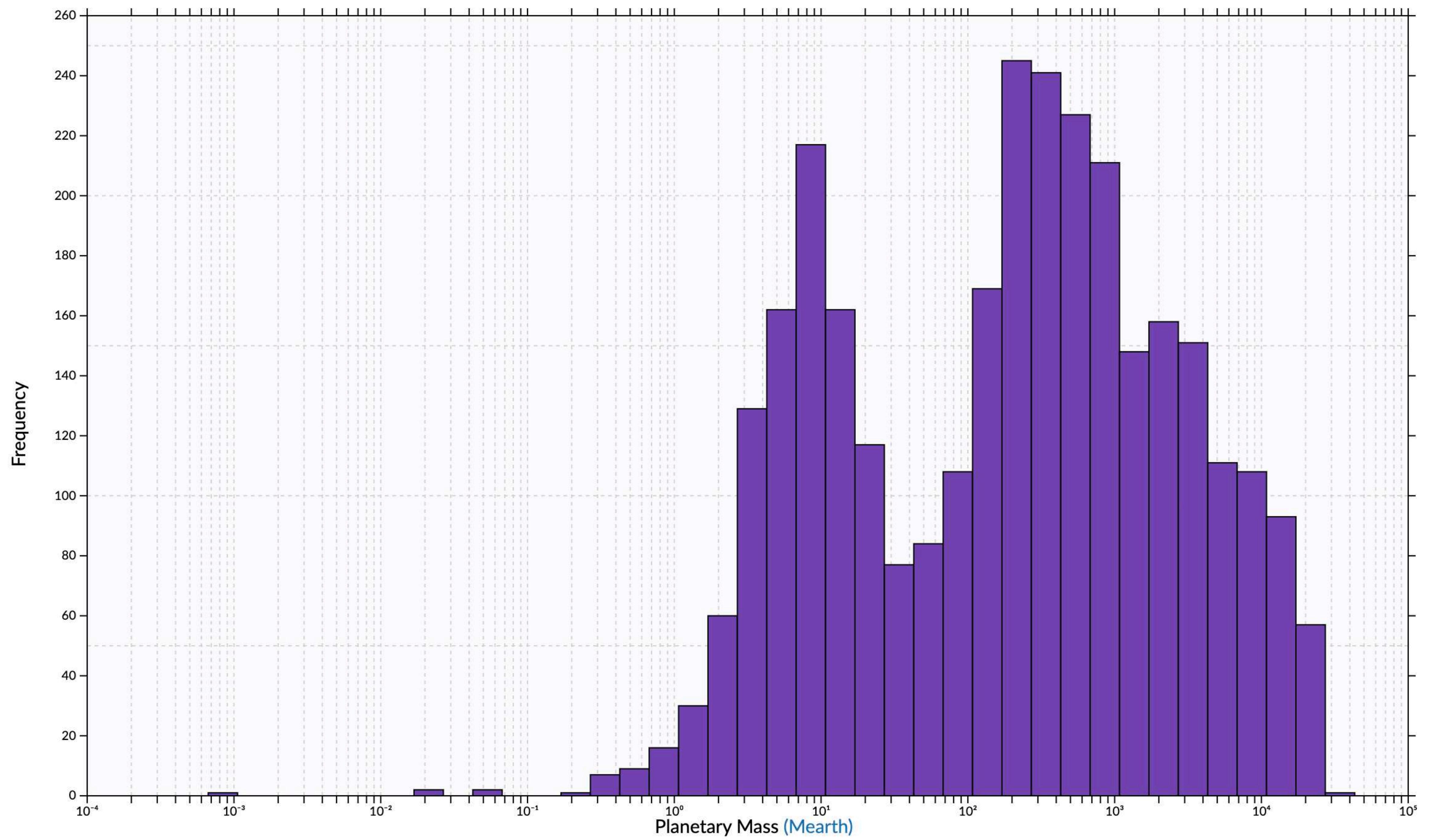
- Planetas que orbitan estrellas diferentes a nuestro Sol (y qué pasa con los free floating objects?)
- En 30 años se ha ido de 0 a más de 5000 exoplanetas descubiertos.
- Técnicas de detección variadas.



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).

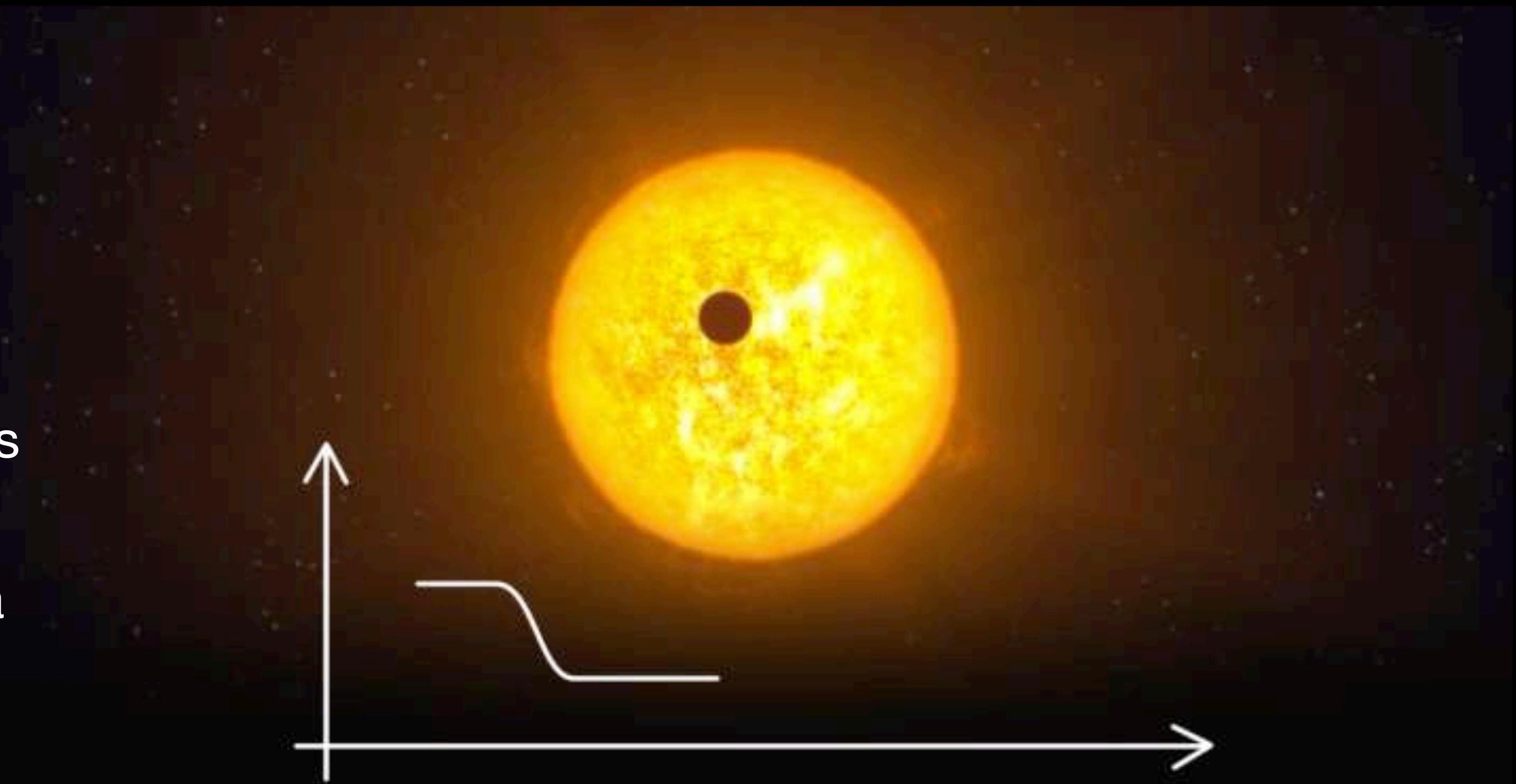




Tránsitos

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



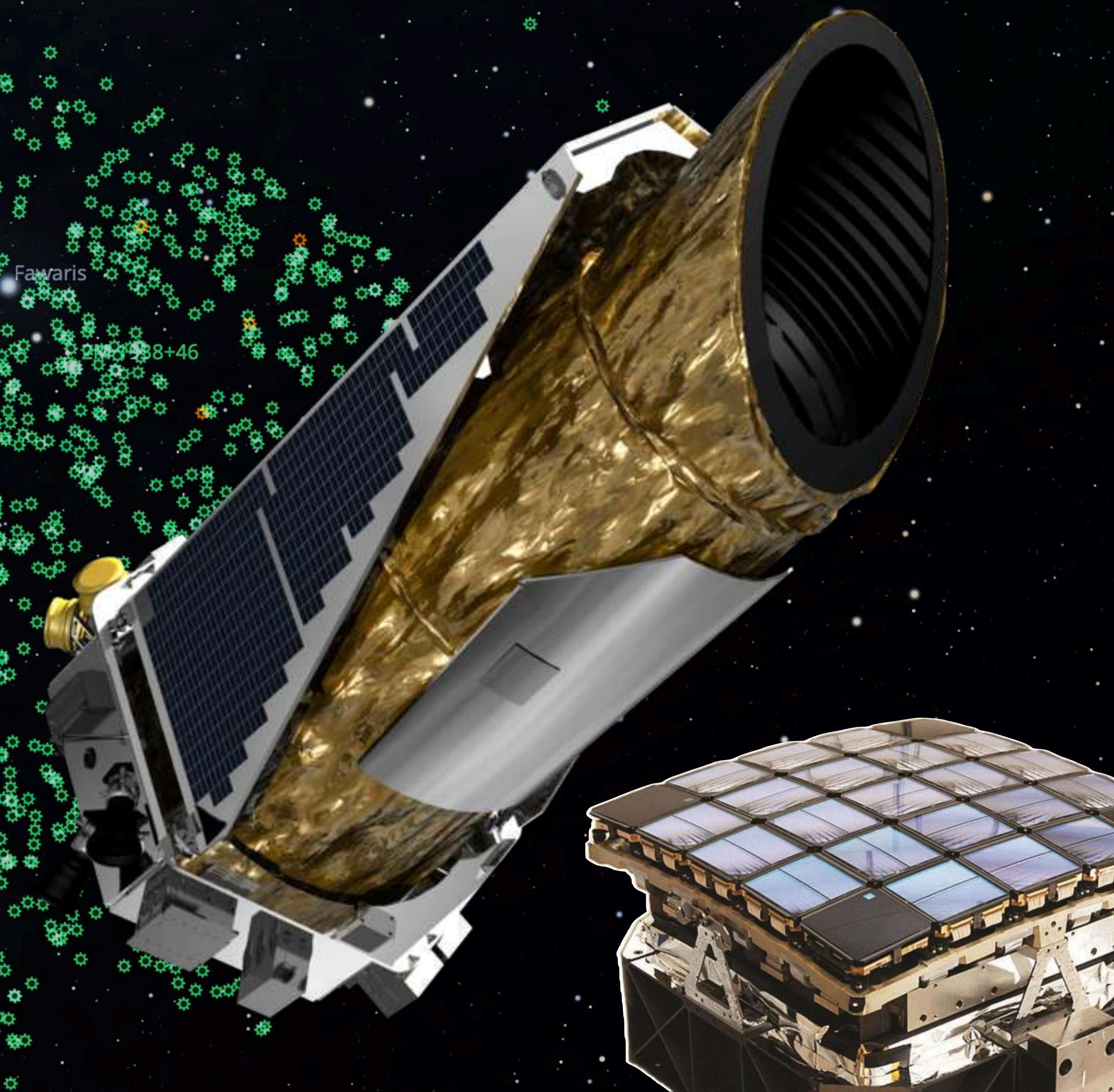
Tránsitos

Métodos de detección

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

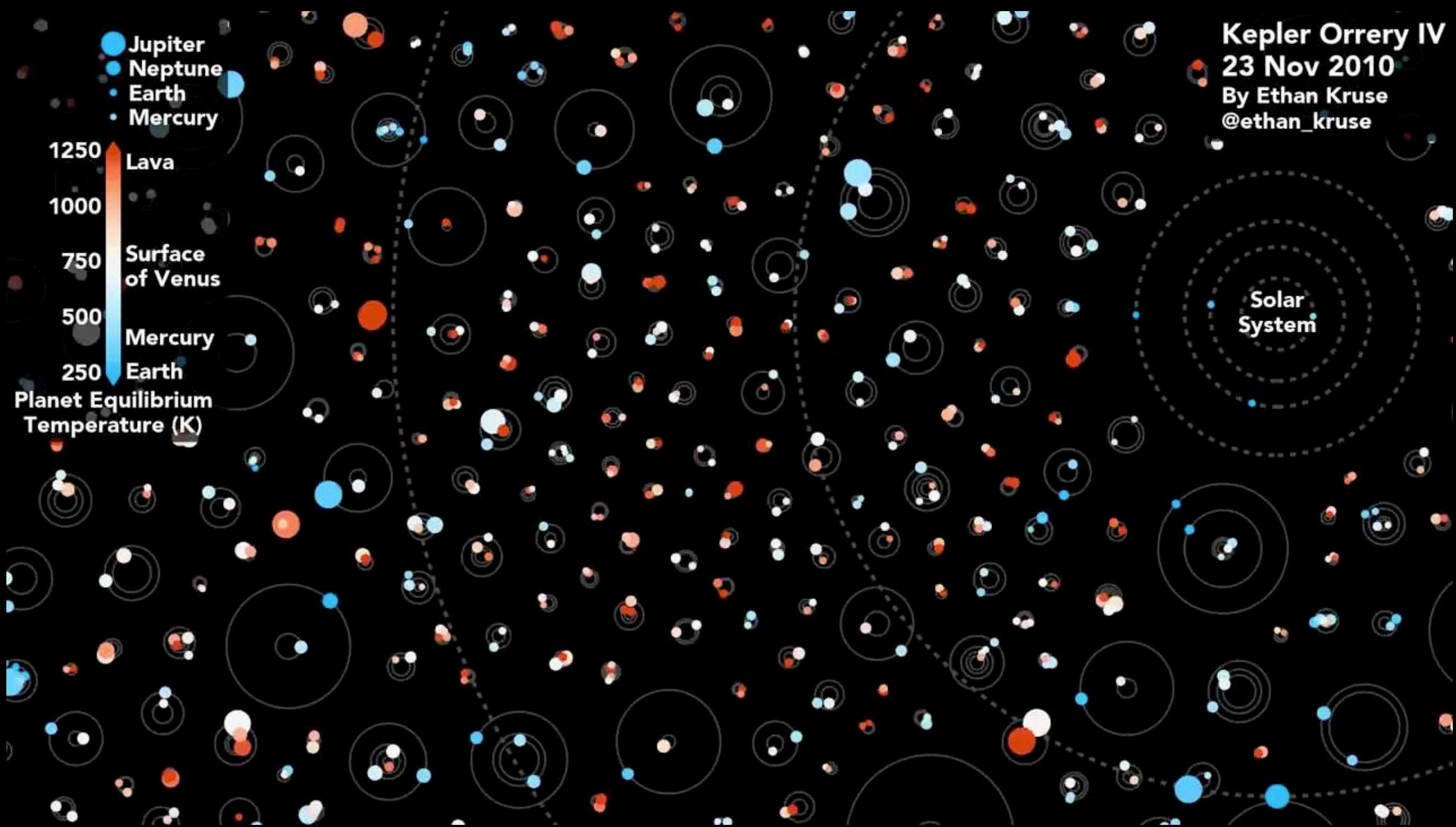
Sulafat
HD 176051

Sheliak



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

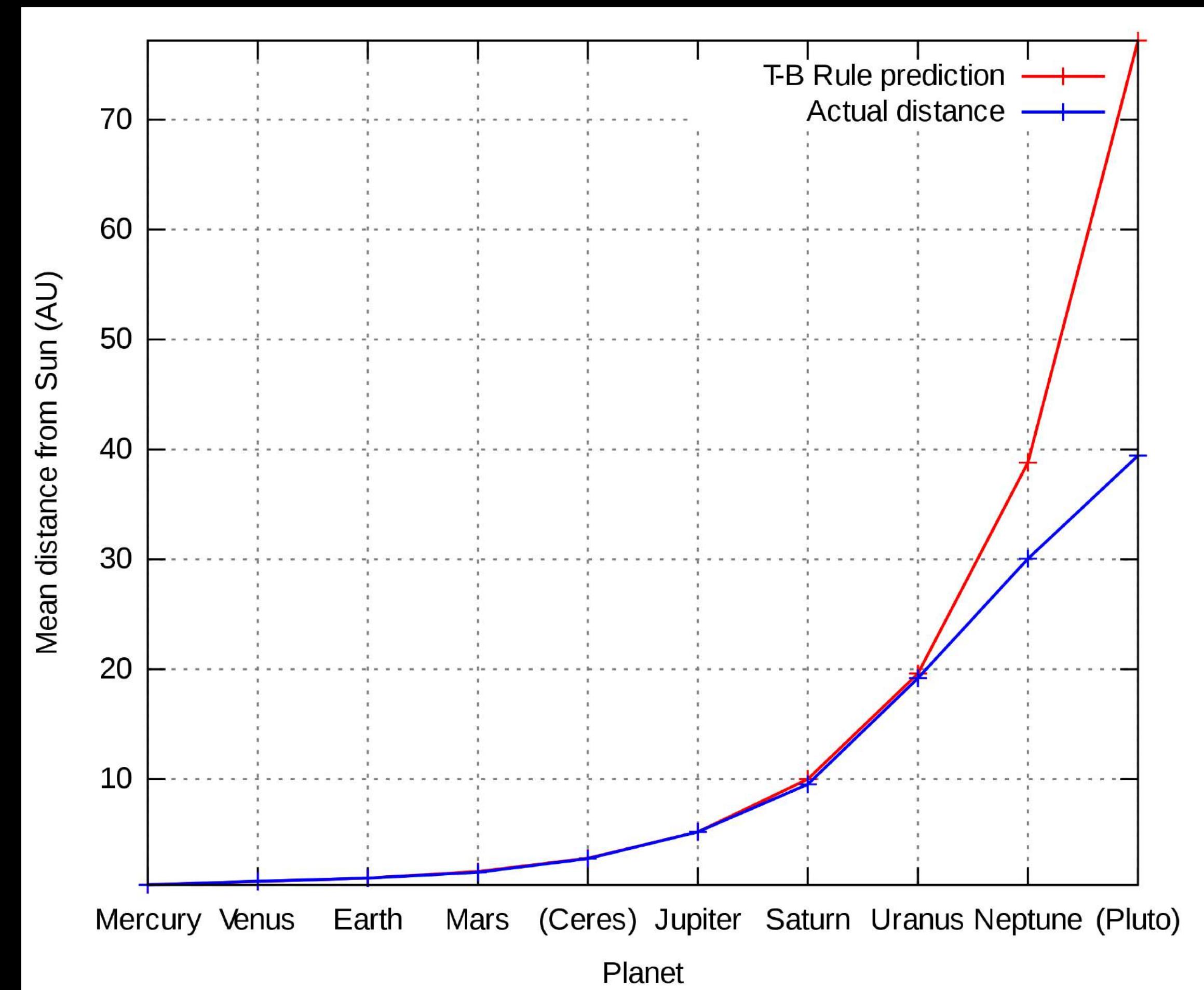
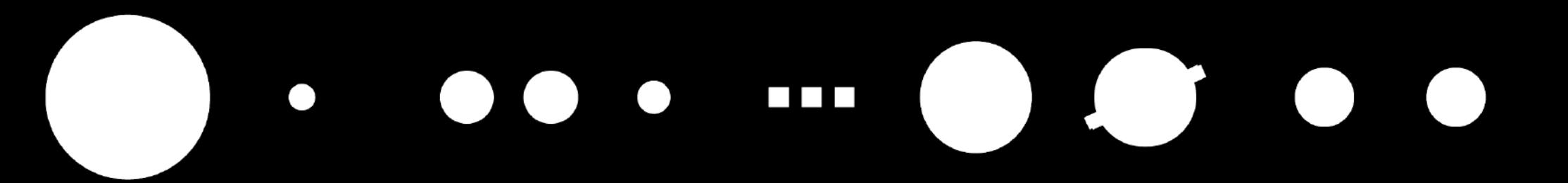


Titus-Bode

(1766 y 1772)

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

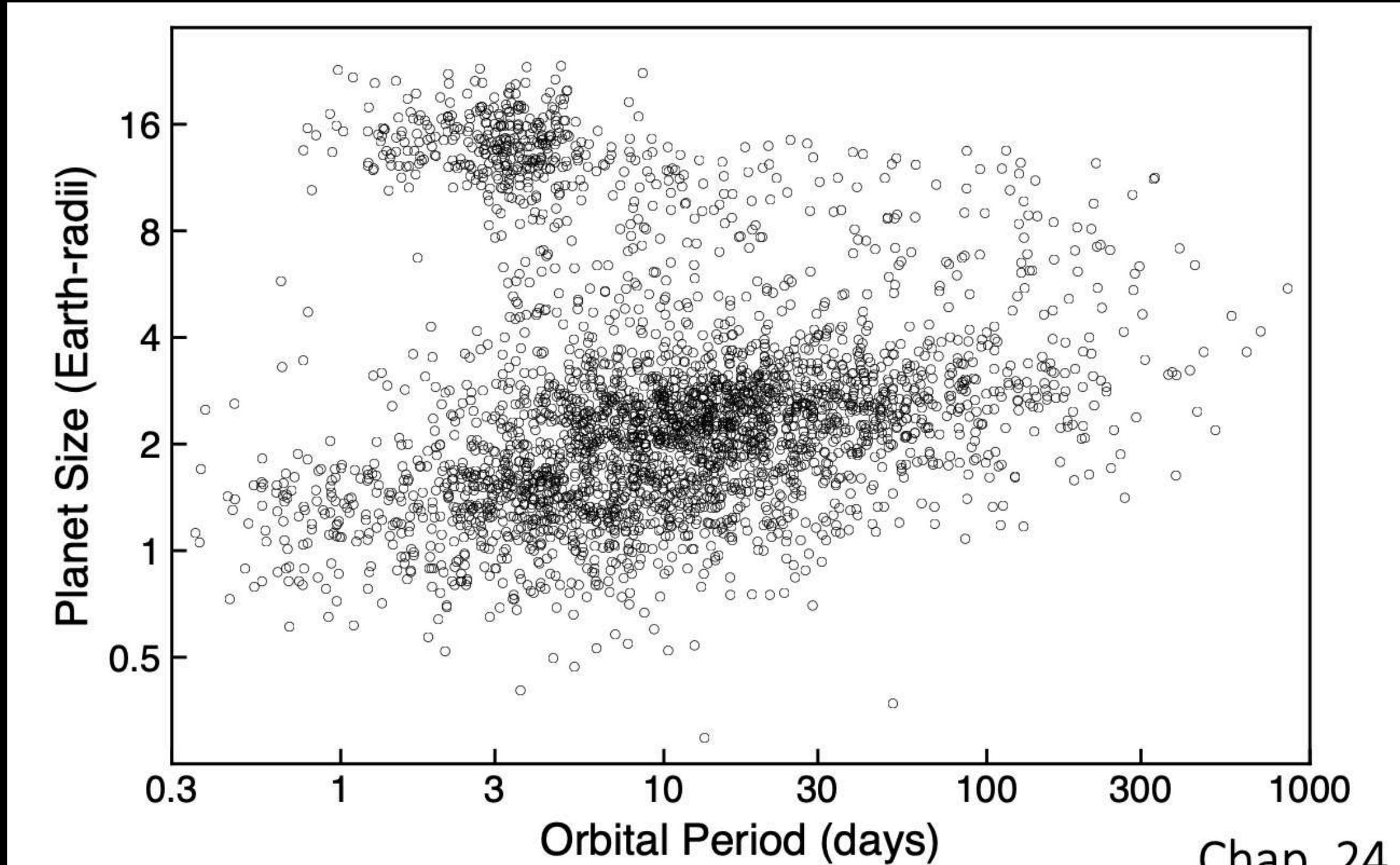
- Fórmula empírica que describe la disposición semirregular de los planetas en el sistema solar.
- “n” comienza en -inf para Mercurio y se utiliza 0, 1, 2, 3, etc. para los planetas siguientes.
- No tiene fundamento teórico.
- No es muy precisa para Neptuno y Plutón.
- Sigue siendo considerada más bien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



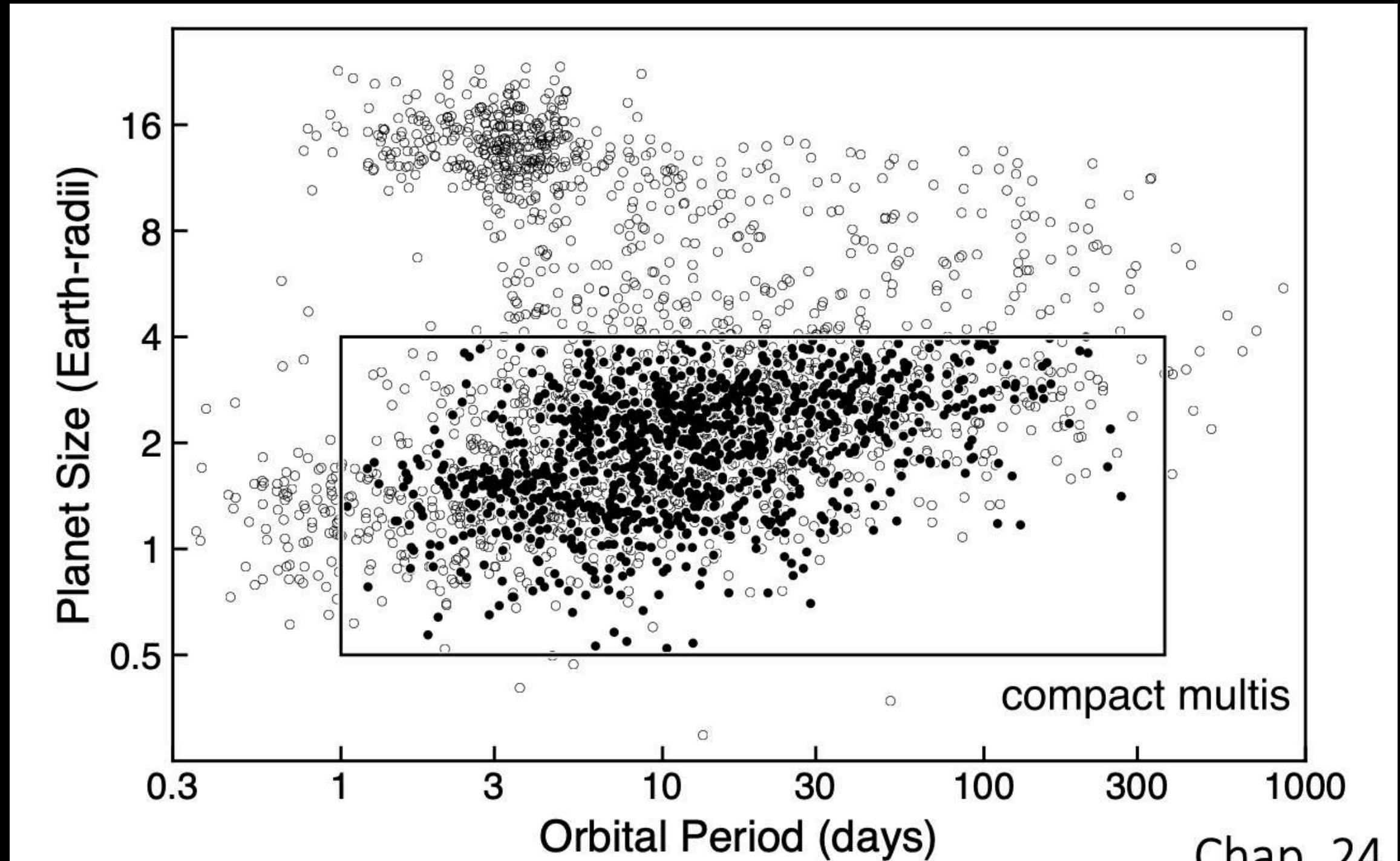
Chap. 24

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”.



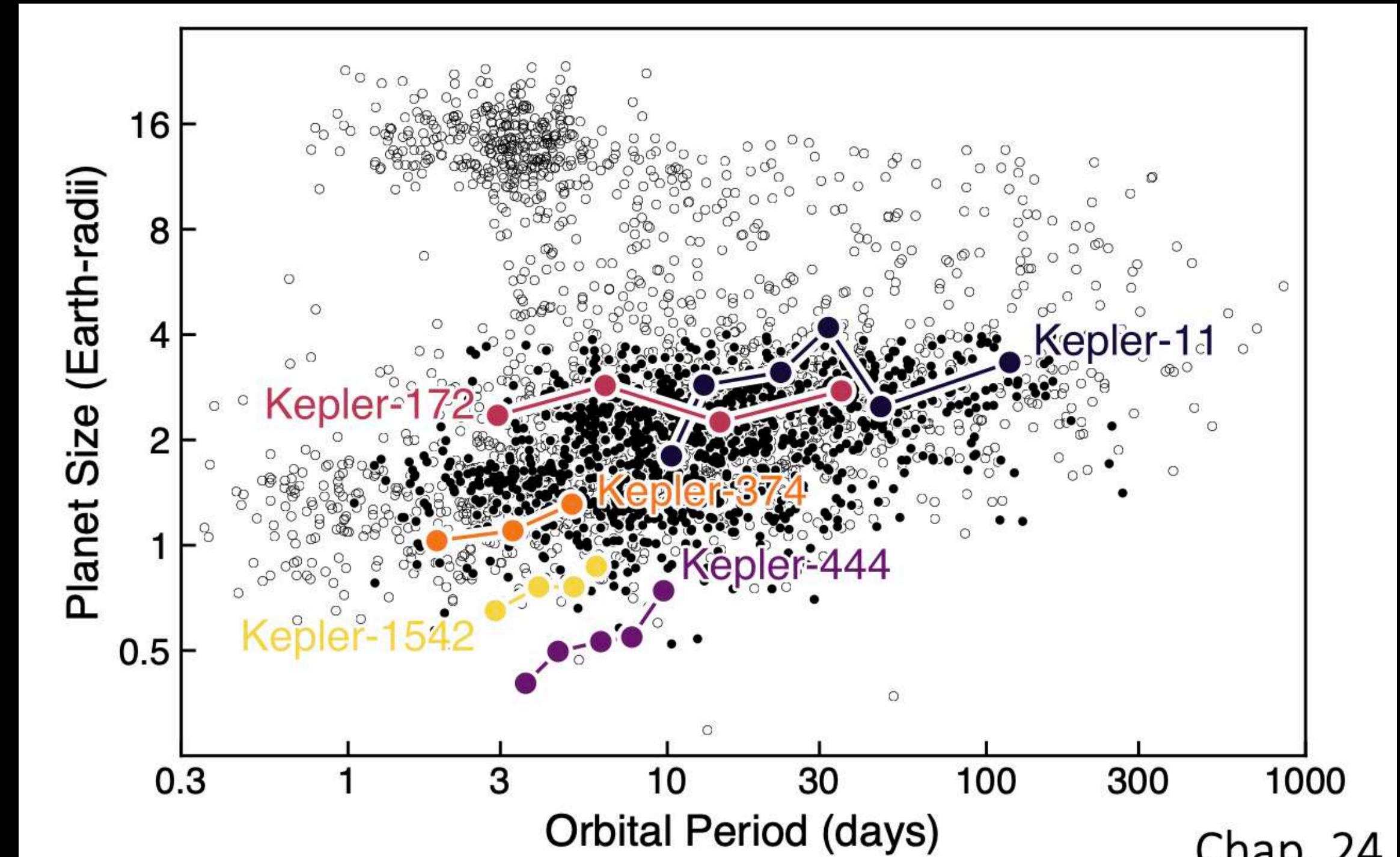
Chap. 24

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”.

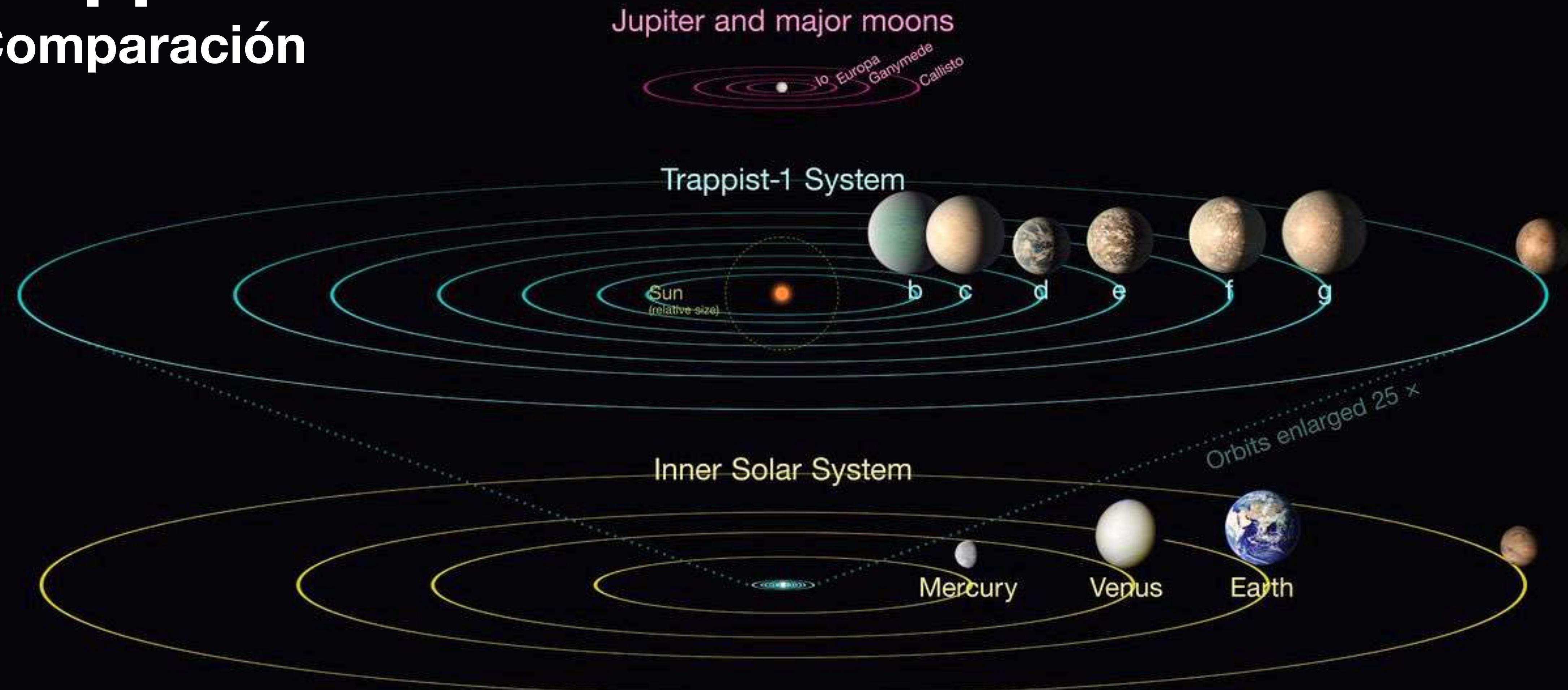


Chap. 24

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”.

Weiss et al. 2023

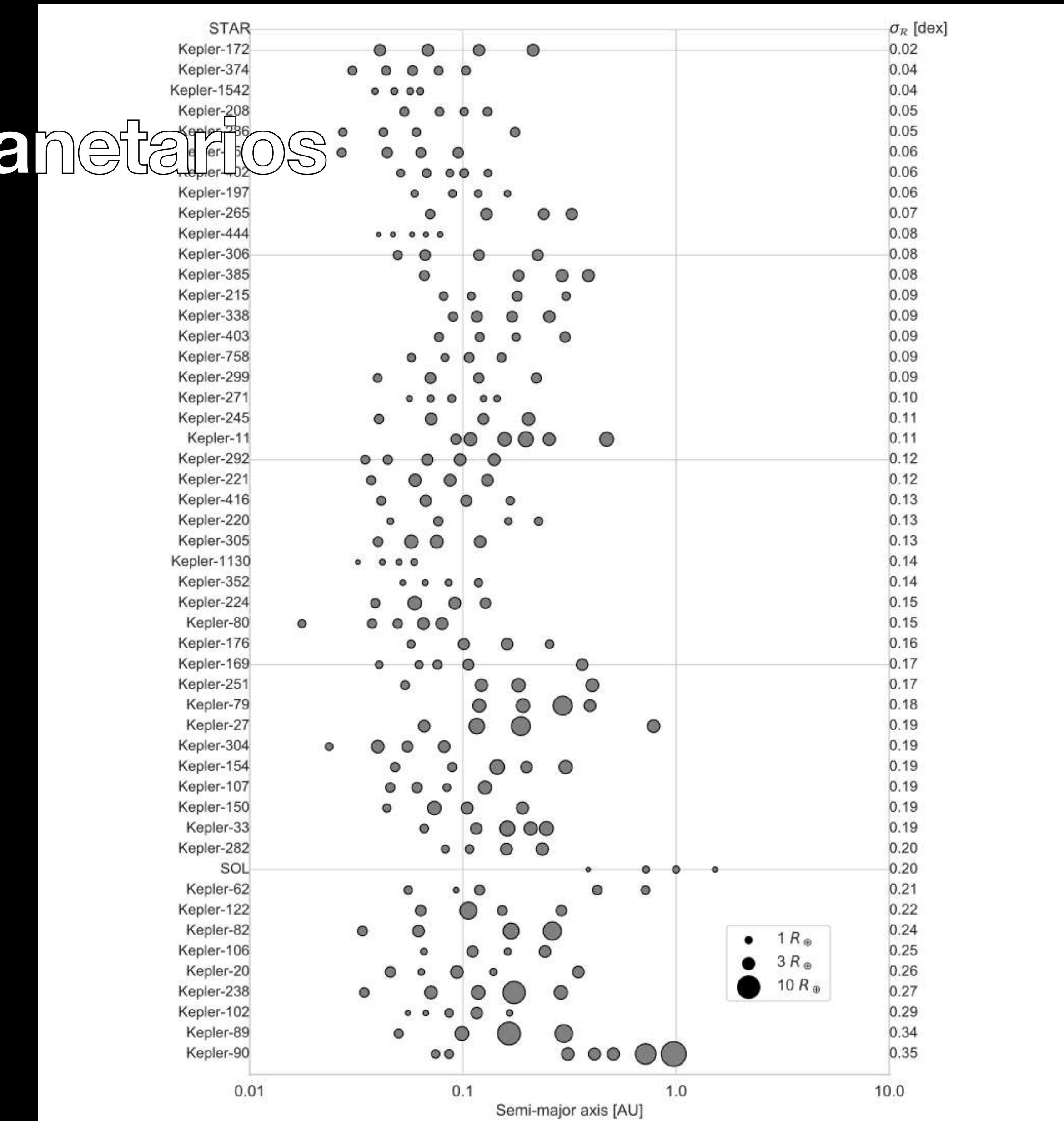
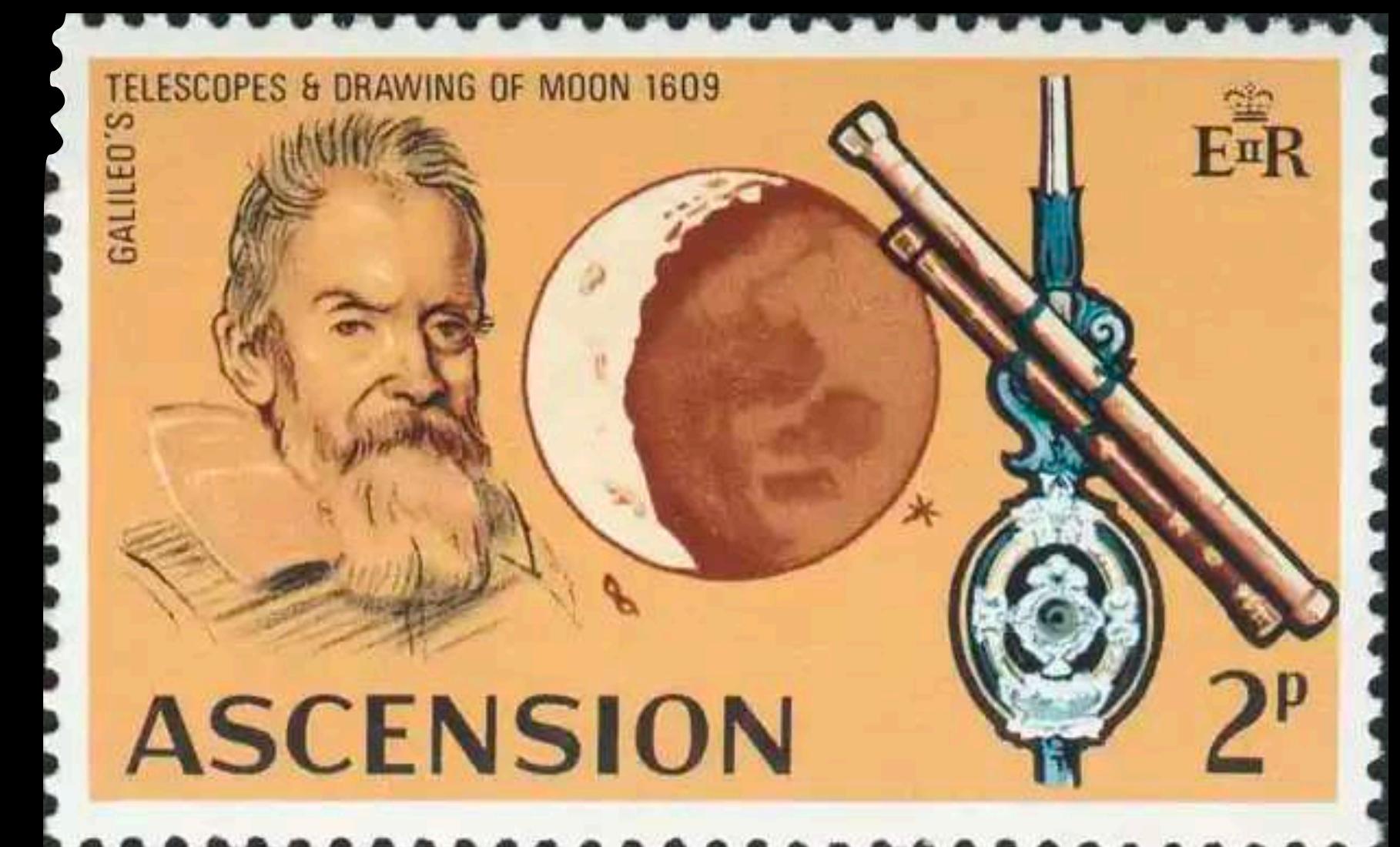


Fig. 3.— Compact multi-planet systems with four or more transiting planets interior to 1.52 au (data from the California Kepler Survey, Weiss et al. 2018a). The systems are ranked by their planet radius dispersions σ_R , with the most uniform sizes at the top and the greatest size diversity at the bottom. 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.

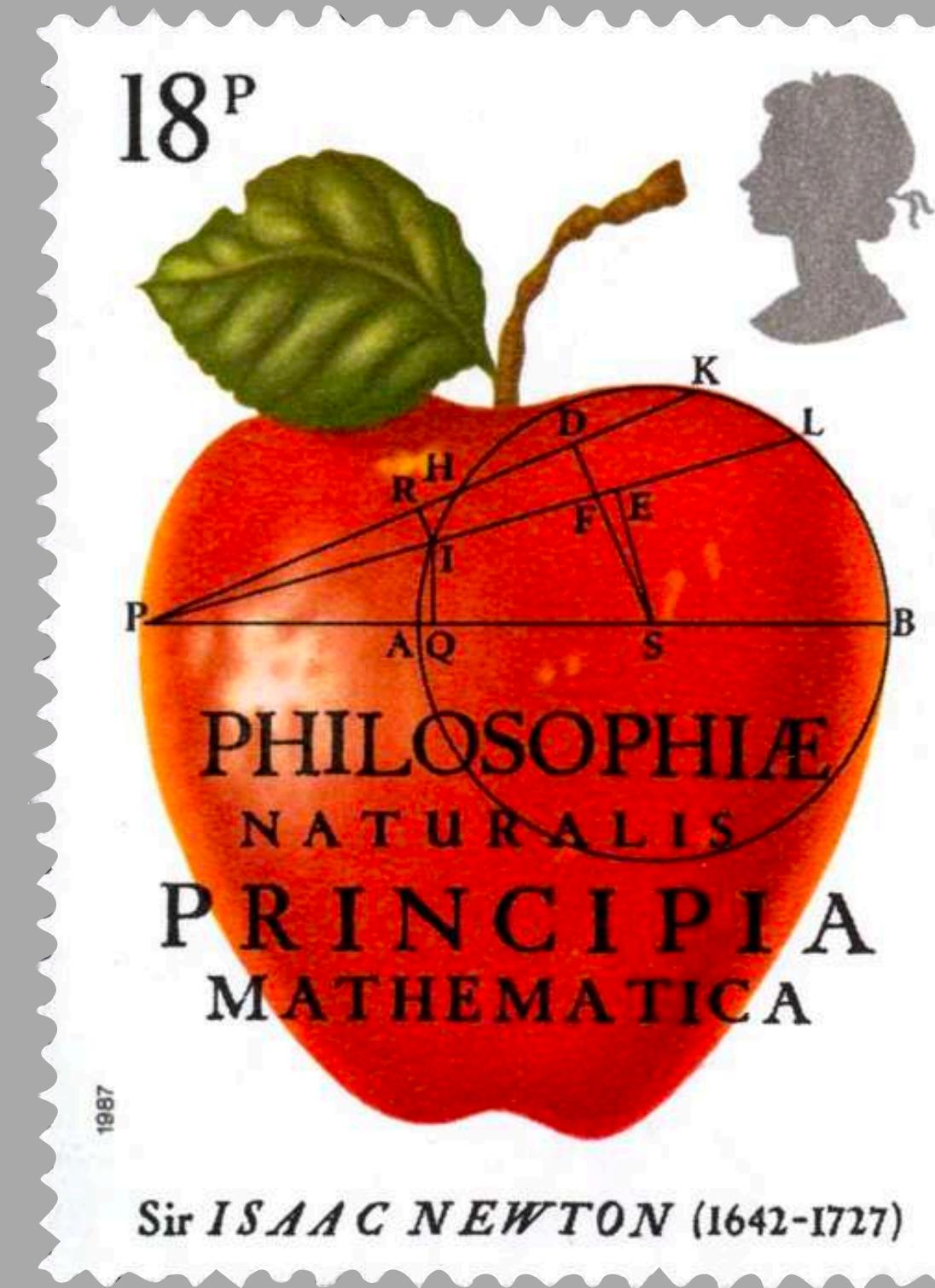


Galileo Galilei: precursor de la astronomía observational moderna.
¿Qué descubrió Galileo?

- 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



Las 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)