

Introducción a la Astrofísica 2025

# Clase 2: ¿Qué es la astrofísica? ¿a qué se dedica, y cómo se hace?

Departamento de Física USACH



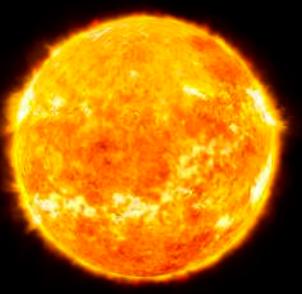
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

¿Por qué el cielo nocturno es oscuro?



La pregunta sobre por qué el cielo nocturno es oscuro se traduce en  
¿Por qué es oscuro el espacio?

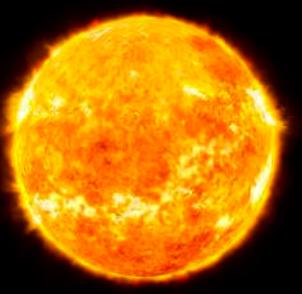




(el día y la noche tienen más que ver con nuestra atmósfera )

La pregunta sobre por qué el cielo nocturno es oscuro se traduce en  
¿Por qué es oscuro el espacio?





(el día y la noche tienen más que ver con nuestra atmósfera )

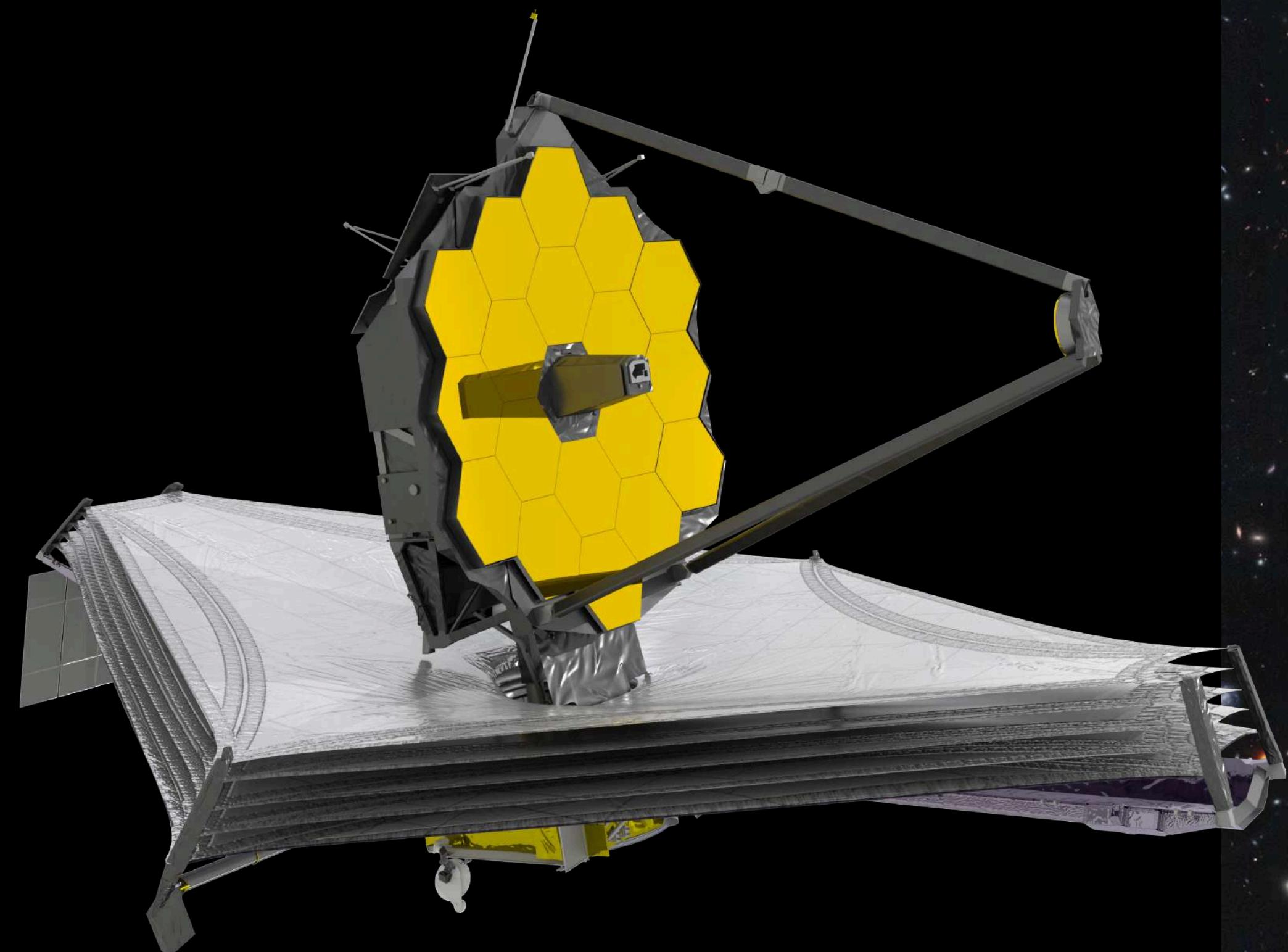
Paradoja de Olbers: ¿Por qué es oscuro el espacio?  
Si el Universo es para efectos prácticos “infinito”,  
¿por qué el espacio no está siempre iluminado por infinitas estrellas?





Pista: ¿en qué longitud de onda está tomada la imagen del Hubble ultra deep field?





# Introducción a la Astrofísica

## Descripción del curso



- Una pincelada completa de lo que es la astrofísica moderna como disciplina; sin olvidar su historia y prehistoria.
- Se describe la gran mayoría de los sistemas astrofísicos conocidos, con una descripción leve (pero relevante) de la física involucrada; se menciona cómo viaja la información a través del universo, más allá de los fotones; y se hace un amplio recorrido sobre los instrumentos que nos permiten detectar esta información.
- Servirá como catapultita motivadora para que lxs alumnxs enfrenten el comienzo de su carrera con la dicha de saber que están en el lugar correcto (o no).

# Método de evaluación

# Creación de un Poster científico Investigación bibliográfica

## THE EVOLUTION OF KAPPA DISTRIBUTION FUNCTIONS AND MAGNETIC FIELD FLUCTUATIONS AND IN THE PLASMA SHEET

Cristóbal Espinoza<sup>1</sup>, Marina Stepanova<sup>1</sup>, Juan A. Valdivia<sup>2</sup>, Elizaveta Antonova<sup>3,4</sup>

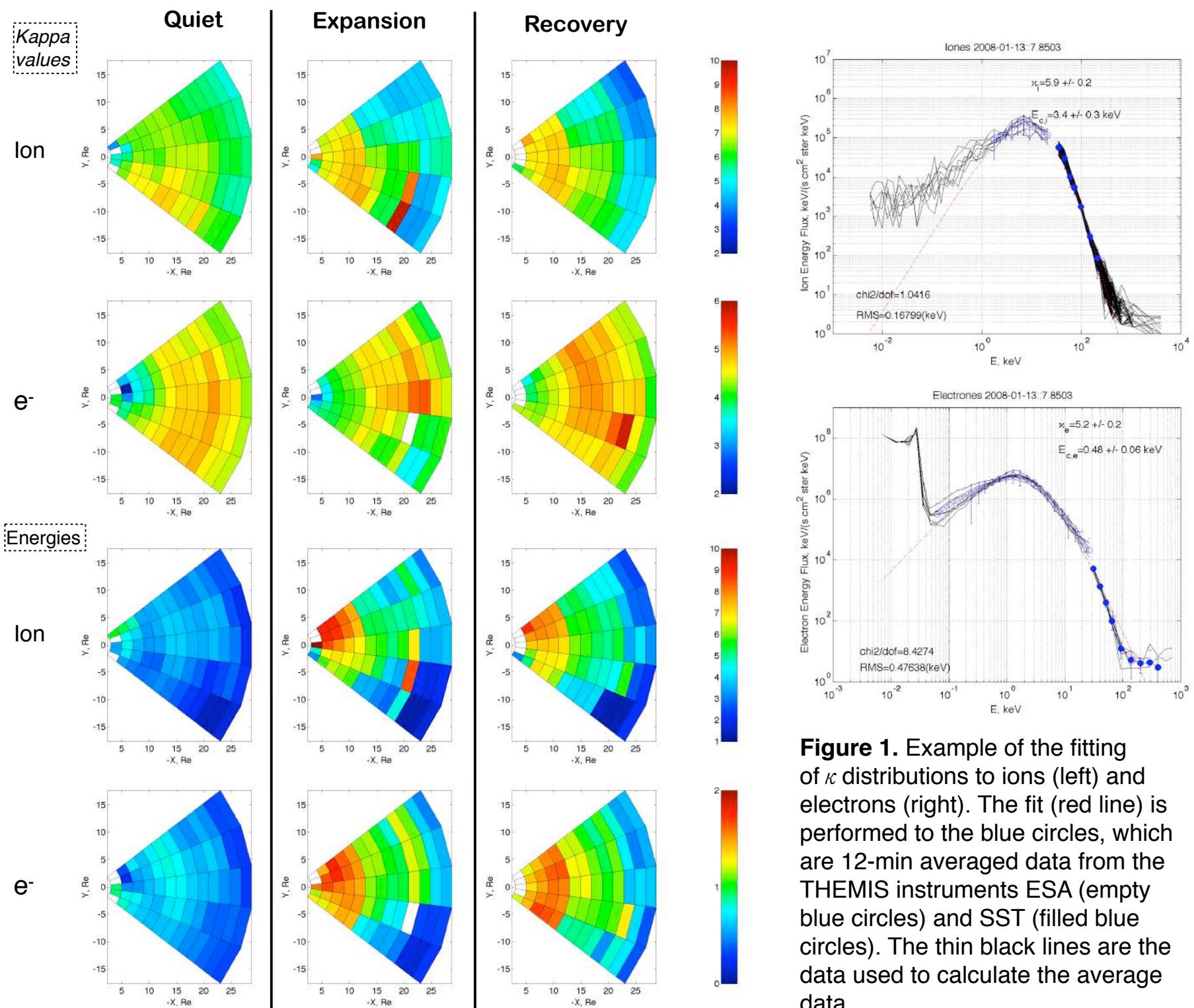
### KAPPA DISTRIBUTIONS

Particle distributions in space plasmas are generally far from thermal equilibrium due to the collisionless nature of the collective interactions between particles and fields. Kappa ( $\kappa$ ) distribution functions are often used instead of Maxwellian distributions to describe plasmas in near-stationary states with time-invariant statistics (e.g Livadiotis & McComas, 2013).

For particle energy fluxes, the kappa distribution can be re-written as:

$$F_{e,i}(E) = \frac{1}{\pi} \frac{n_{e,i}}{\sqrt{2\pi m_{e,i}}} \frac{E^2}{E_{c_{e,i}}^{3/2}} \frac{\Gamma(\kappa_{e,i})}{\Gamma(\kappa_{e,i} - 1/2) \sqrt{\kappa_{e,i}}} \left[ 1 + \frac{E}{\kappa E_{c_{e,i}}} \right]^{-\kappa_{e,i}-1}$$

where  $n$  is the electron (ion) density,  $m$  is the electron (ion) mass,  $E$  is the particle energy,  $E_c$  is the electron (ion) characteristic energy and  $\kappa$  is the spectral index describing the electron (ion) distribution.



**Figure 1.** Example of the fitting of  $\kappa$  distributions to ions (left) and electrons (right). The fit (red line) is performed to the blue circles, which are 12-min averaged data from the THEMIS instruments ESA (empty blue circles) and SST (filled blue circles). The thin black lines are the data used to calculate the average data.

**Figure 2.** Results of the  $\kappa$  distribution fits as a function of the satellite position X, Y and for three sub-storm phases. The  $\kappa$  values are colour coded in the first two rows and the characteristic energies are in the last two rows.

Motivated by the results of Stepanova et al. (2015), we are using thousands of passages of the THEMIS satellites through the plasma sheet to study the dependance of the  $\kappa$  distribution parameters with distance to Earth..

## Ejemplos de temas de investigación

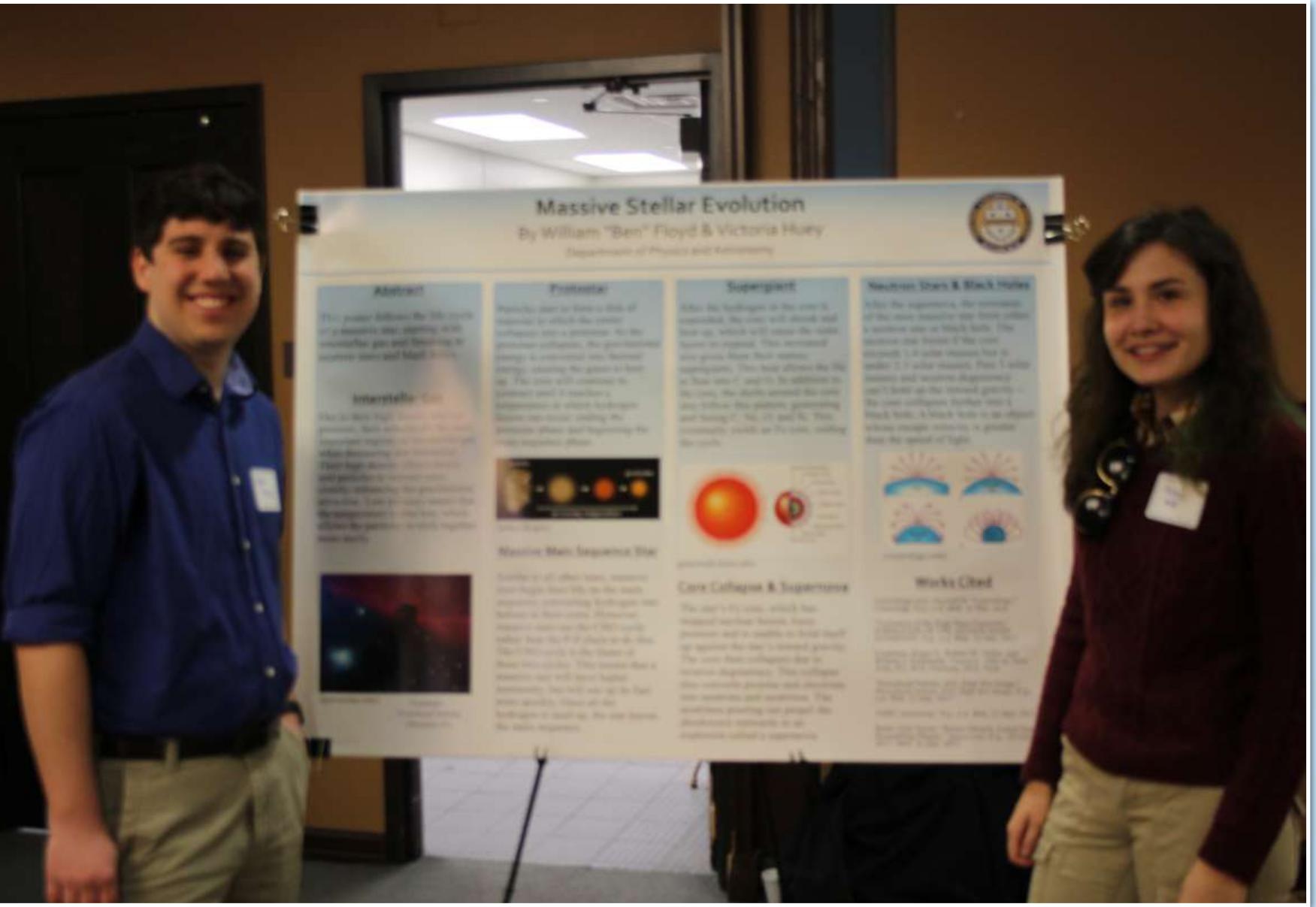
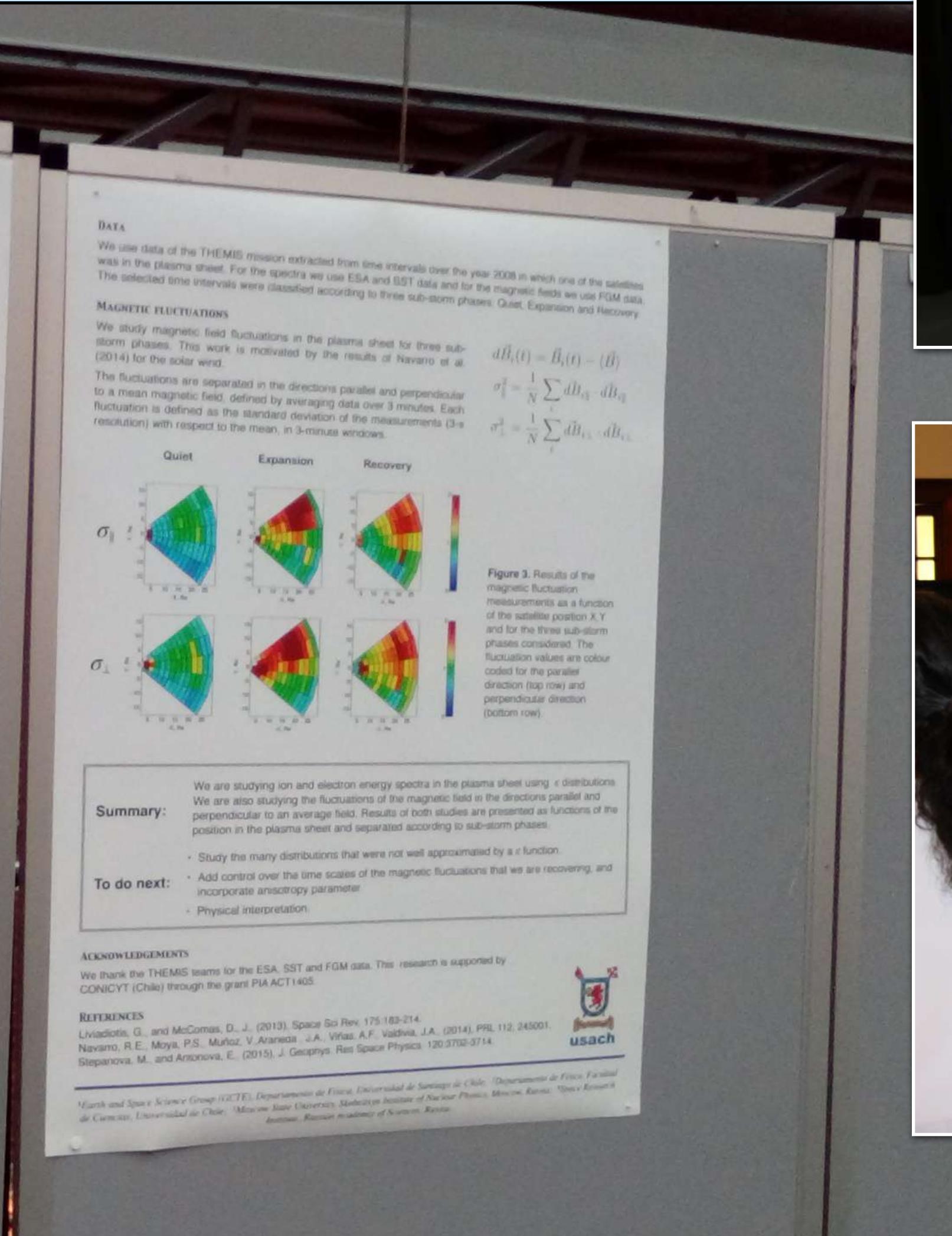
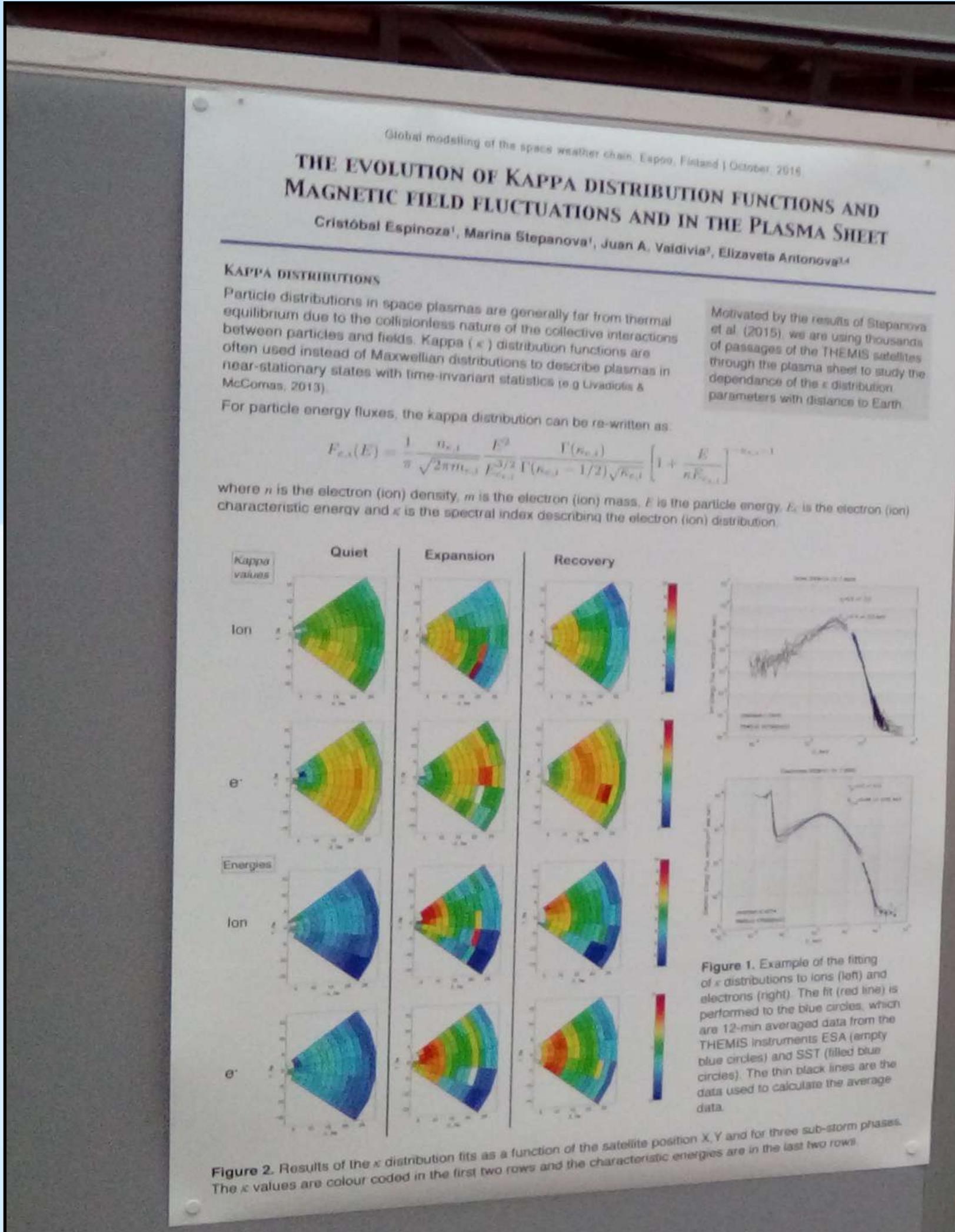
Un poster científico es una presentación visual de los resultados de una investigación científica. Se hace en forma de cartel (o poster) y se imprime en gran tamaño, normalmente en orientación vertical y de tamaño aproximado 90x120 cm. El objetivo de esta actividad es la creación de un poster científico basado en una investigación bibliográfica.

Ver también:

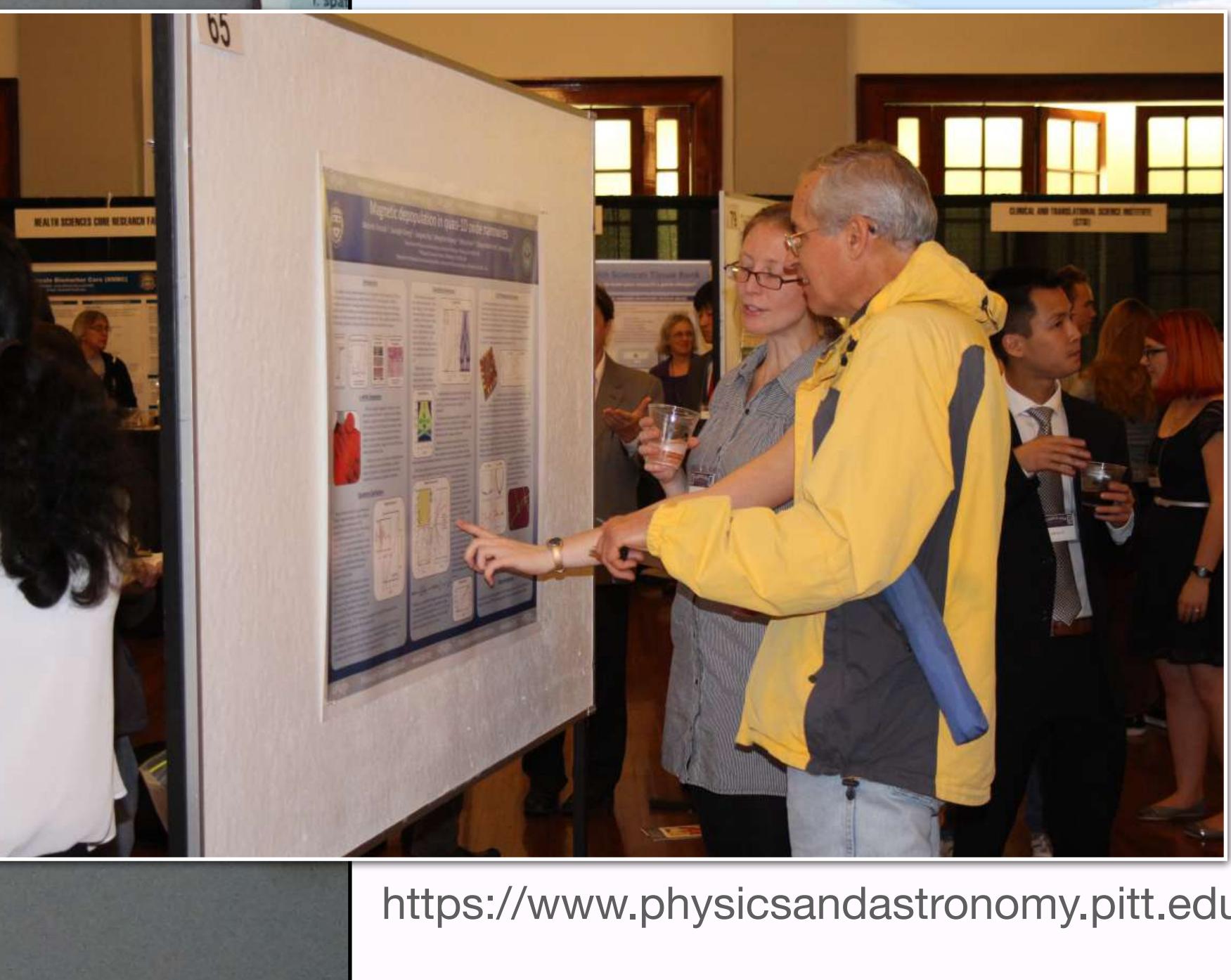
[https://es.wikipedia.org/wiki/Poster\\_científico](https://es.wikipedia.org/wiki/Poster_científico)

- *Sagitario A\**
- *Nebulosas de viento de pulsares (PWN)*
- *El Magnetar PSR J1745-2900 cerca del centro galáctico*
- *El objeto Oumuamua*
- *El experimento IceCUBE*
- *Sistema pulsar-estrella Be de rayos gamma*
- *Nuevas tecnologías en el ELT*
- *Pulsar timing*
- *Heliosfera / Voyager*
- *La existencia del cinturón de Gould*
- *Métodos de detección de exoplanetas*
- *La tensión de Hubble*
- *Subestructuras en discos protoplanetarios*
- *El microquasar SS433*

# Sesión de posters. Ejemplos



<https://www.physicsandastronomy.pitt.edu>



<https://www.physicsandastronomy.pitt.edu>

## Exoring Candidate?

- The first circumplanetary disk systems that we observe are likely to be large, or extended in radius, due to their stronger transit signals
- The J1407 system is one such example – Kenworthy+2015<sup>[1]</sup> found a best-fitting exoring model that extends 0.8 AU from the planet:

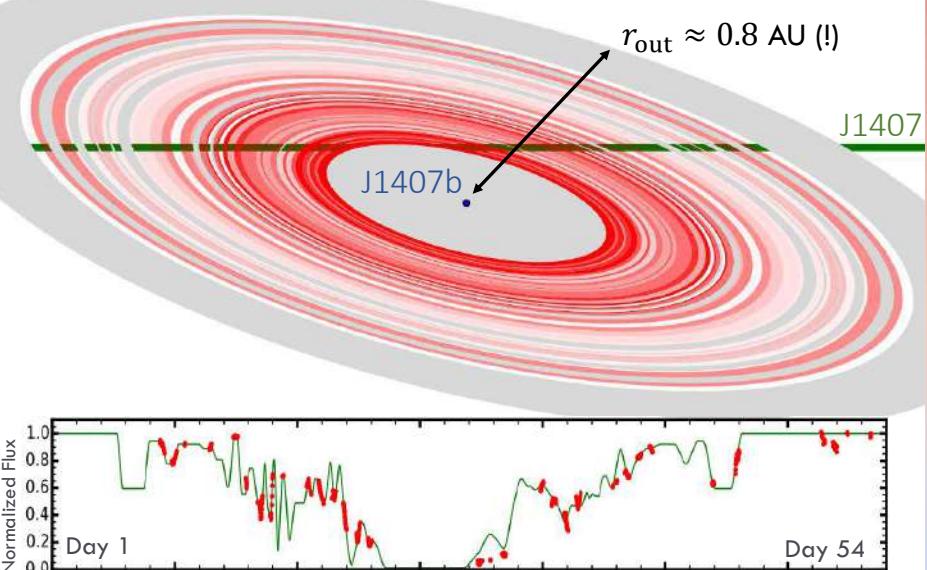


Figure 1 (from Kenworthy+2015): (Above) The best fitting exoring model around J1407b. It is flat, inclined with respect to the planet's orbital plane, and extends 0.8 AU in radius. (Below) The observed stellar light curve of J1407 that was interpreted as a transiting exoring signal. See also [6].

Problem: The proposed<sup>[1]</sup> ring model for J1407b is not dynamically stable

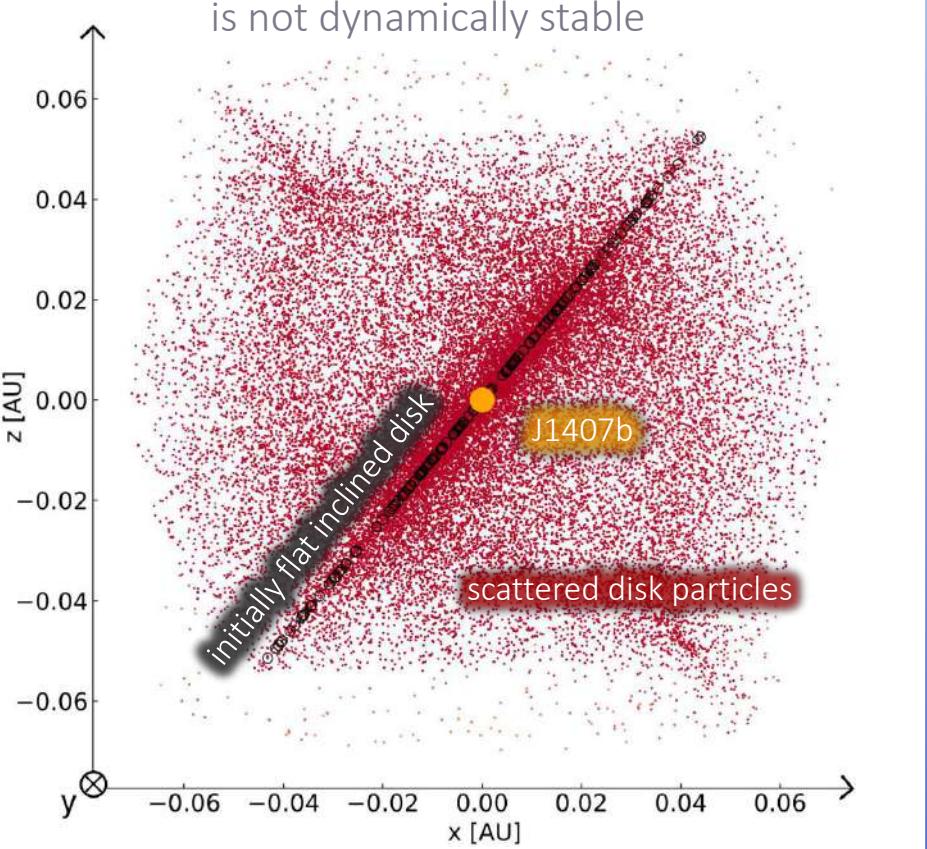


Figure 2: A 1000-year long N-body simulation of the Kenworthy+2015 exoring model for J1407b (Figure 1). Disks that are flat, inclined and extended are unstable. The tidal torque from the host star (J1407) would disrupt J1407b's circumplanetary disk on very short timescales.

## Warped circumplanetary disk model

- To produce a transit signal (assuming the planet itself does not transit), J1407b's disk needs to be inclined out of the planet's orbital plane
- For the disk to be stable in the presence of a tidal torque from the star, the planet needs to exert its own tidal torque on the disk
  - If the planet is spinning and tilted, its equatorial bulge can produce a tidal torque, creating a warped surface of stable orbits (the Laplace surface)<sup>[2]</sup>

### The Laplace Surface:

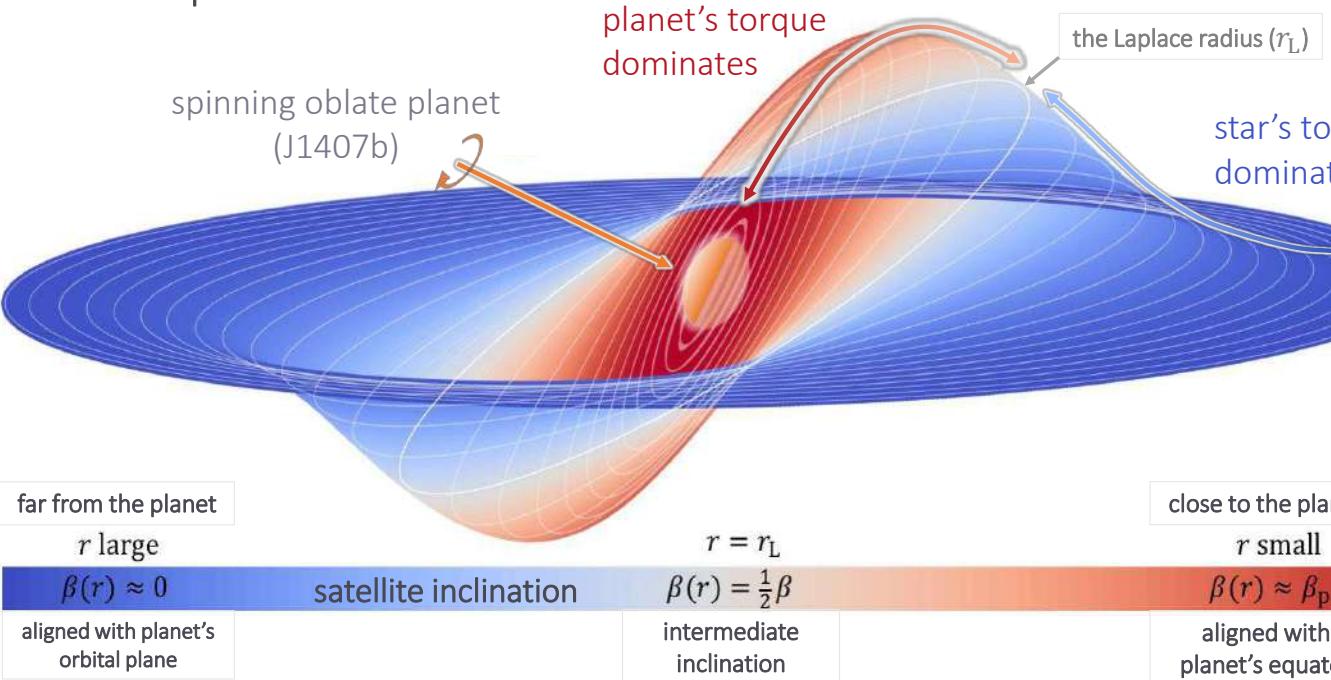
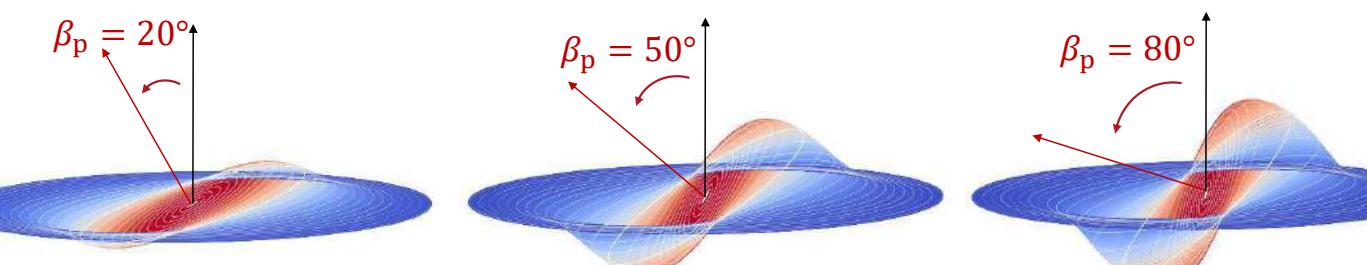


Figure 3: The Laplace equilibrium surface is the locus of all stable circumplanetary orbits in the presence of two tidal torques: (1) from the spinning oblate planet and (2) from the distant host star.

An extended and inclined circumplanetary disk can be stable if it is warped to the geometry of the Laplace surface.

## Probing the stability of a warped disk

- We probe the stability of a warped circumplanetary disk by performing N-body integrations of 1000 massless test particles with REBOUND<sup>[3]</sup>
- Test particles' initial orbital parameters are slightly offset from the Laplace equilibrium surface values to create a "thick" disk
- We perform the integrations for a range of possible planetary obliquities:



Total integration time: 16 million years\* (age of the J1407 system)

\*We simulate the inner ~200 particles for only 3-15 Myr due to computational constraints (but still equates to 10^7 particle orbits)

## Results and Implications

- We categorize particles as "stable" if their inclination remains close to the Laplace surface ( $\beta(t) - \beta(0) < 0.1$  rad) and if their orbit remains close to circular ( $e(t) < 0.1$ )
- For all planet obliquities ( $\beta_p = 20^\circ, 50^\circ, 80^\circ$ ), much of the warped circumplanetary disk remains stable of the course of our integrations
- Two dynamical resonances<sup>[4]</sup> or instabilities<sup>[5]</sup> can carve gaps in the disk, which could be detectable if the disk transits its host star, and would not necessarily imply the existence of exomoons.

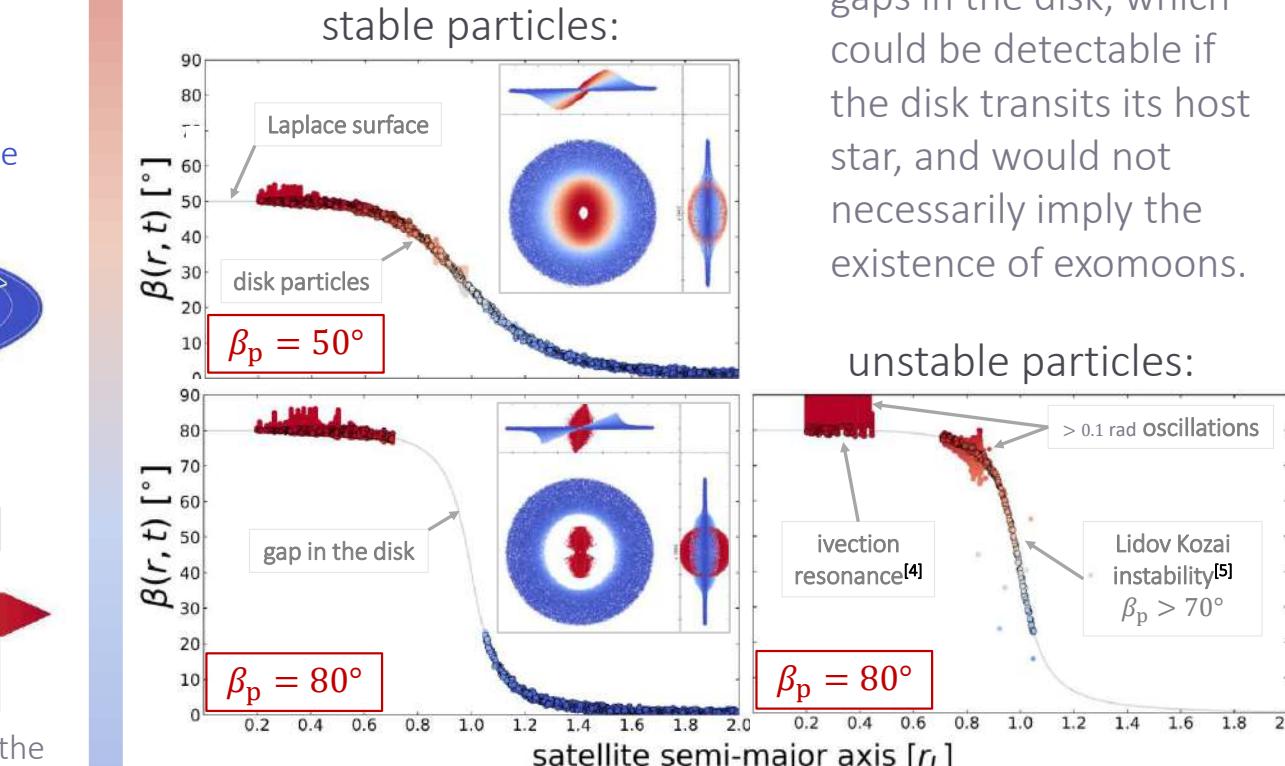


Figure 5: Selected results of our N-body integrations. Test particle inclination as a function of distance from the planet over  $\sim 16$  Myr. (Embedded) A 3D view of the resulting stable circumplanetary disk.

## Implications for the J1407 system

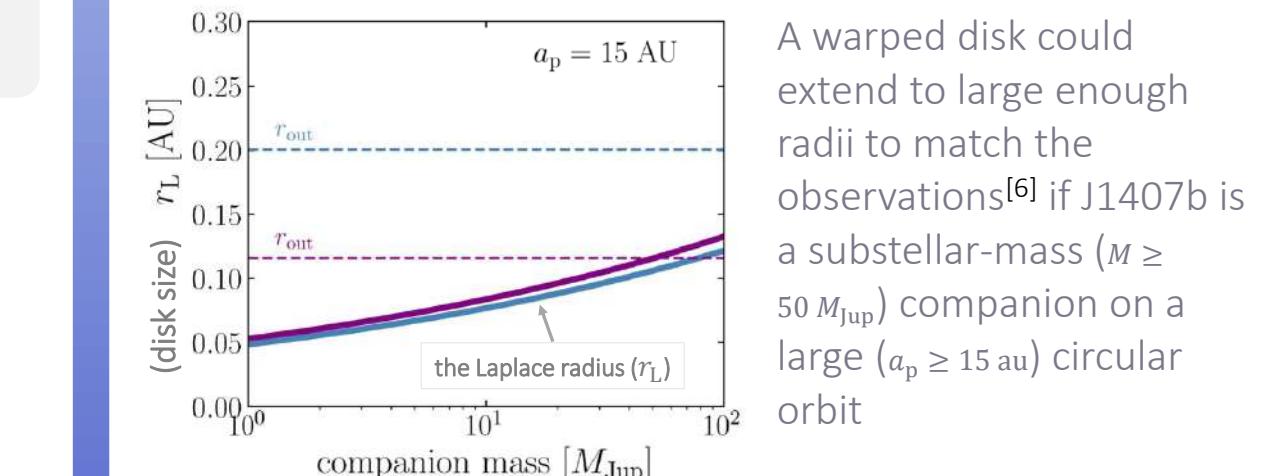


Figure 6: The Laplace radius (proxy for the size of J1407b's warped disk) as a function of J1407b's mass, compared to the observationally constrained<sup>[6]</sup> value ( $r_{\text{out}}$ ), for a circular (blue lines) or eccentric (purple lines) J1407b orbit.

## References

- [1] Kenworthy M. A., Mamajek E. E., 2015, The Astrophysical Journal, 800, 126  
 [2] Laplace P.-S., Celeste M., 1805, Courcier, Paris  
 [3] Rein H., Tamayo D., 2015, MNRAS, 452, 376  
 [4] Xu W., Fabrycky D., 2019, arXiv preprint arXiv:1904.02290  
 [5] Tremaine S., Touma J., Namouni F., 2009, The Astronomical Journal, 137, 3706  
 [6] Mamajek E. E., Quillen A. C., Pecaut M. J., Moolekamp F., Scott E. L., Kenworthy M. A., Cameron A. C., Parley N. R., 2012, AJ, 143, 72

# Chemical signatures of a planet-induced warp in a protoplanetary disc

Alison Young, Richard Alexander, Catherine Walsh, Rebecca Nealon, Alice Booth

alison.young@leicester.ac.uk

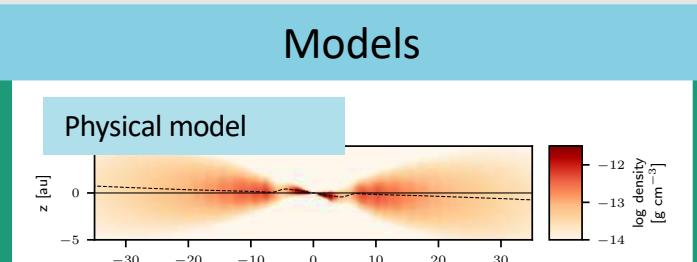


Fig. 1. Density cross-section of the hydrodynamical snapshot. The planet at 5 au breaks the disc into a misaligned inner disc and warped outer disc.

- 3D Phantom SPH simulation of  $6.5 M_{Jup}$  planet misaligned  $12^\circ$  relative to the disc, at 5 au (see Nealon+2019). Aligned planet modelled for comparison.

- $1 M_\odot$  star at 1 Myr,  $5 \times 10^{-3} M_\odot$  disc initially  $r_{in} = 0.1$  au and  $r_{out} = 50$  au, viscosity  $\alpha = 10^{-3}$ ,  $H/R = 0.05(R/R_0)^{1/4}$
- Gas phase and gas-grain chemistry including photoionization (Walsh+ 2015).
- Chemistry evolved in snapshot (Fig.1) for  $10^6$  yrs- equilibrium reached.
- MCFOST ray-tracing line radiative transfer.

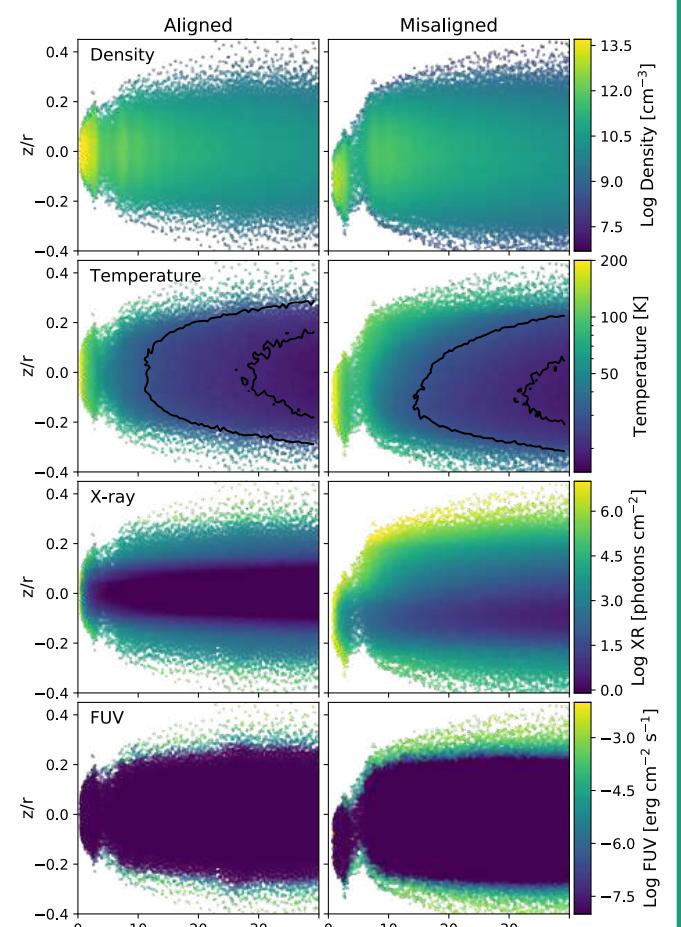


Fig. 2. Cross-sections of the disc along the y-axis, showing the physical properties for the aligned & misaligned cases.

The temperature of the upper side of the warped disc is higher than the unperturbed disc. The X-ray and FUV fields are also greater on upper side of the warp.

## Introduction

- Planet-hosting discs can be warped by a misaligned embedded planet.
- High resolution observations of protoplanetary discs have revealed asymmetric structures and non-Keplerian motion, some consistent with a warped disc.
- **A warped disc surface leads to azimuthal temperature variation → how does this affect the chemistry?**
- Could molecular lines provide a diagnostic of protoplanetary disc warps?

## Summary

**Chemical abundances in warped protoplanetary vary azimuthally.**  
Line emission from warped discs is asymmetric, though the exact morphology will depend on the relative orientations of the inner disc, outer disc and planet, and the molecular species.  
**A planet at ~au radii may cause measurable asymmetries in line emission at much greater radii.**

## Chemical abundance

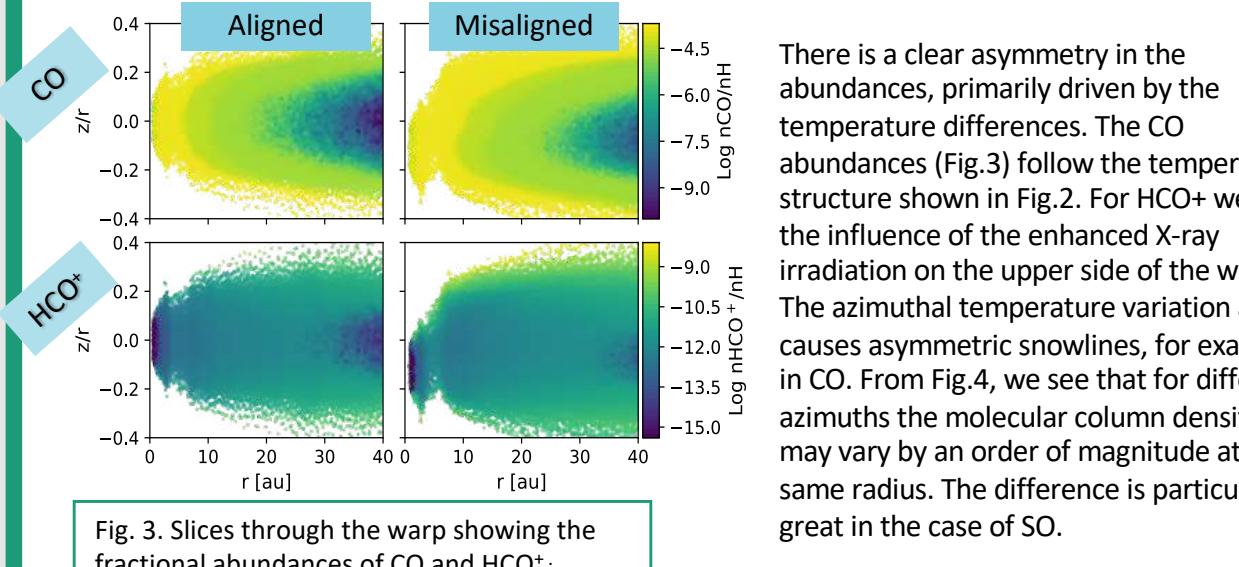


Fig. 3. Slices through the warp showing the fractional abundances of CO and HCO<sup>+</sup>.

There is a clear asymmetry in the abundances, primarily driven by the temperature differences. The CO abundances (Fig.3) follow the temperature structure shown in Fig.2. For HCO<sup>+</sup> we see the influence of the enhanced X-ray irradiation on the upper side of the warp. The azimuthal temperature variation also causes asymmetric snowlines, for example in CO. From Fig.4, we see that for different azimuths the molecular column densities may vary by an order of magnitude at the same radius. The difference is particularly great in the case of SO.

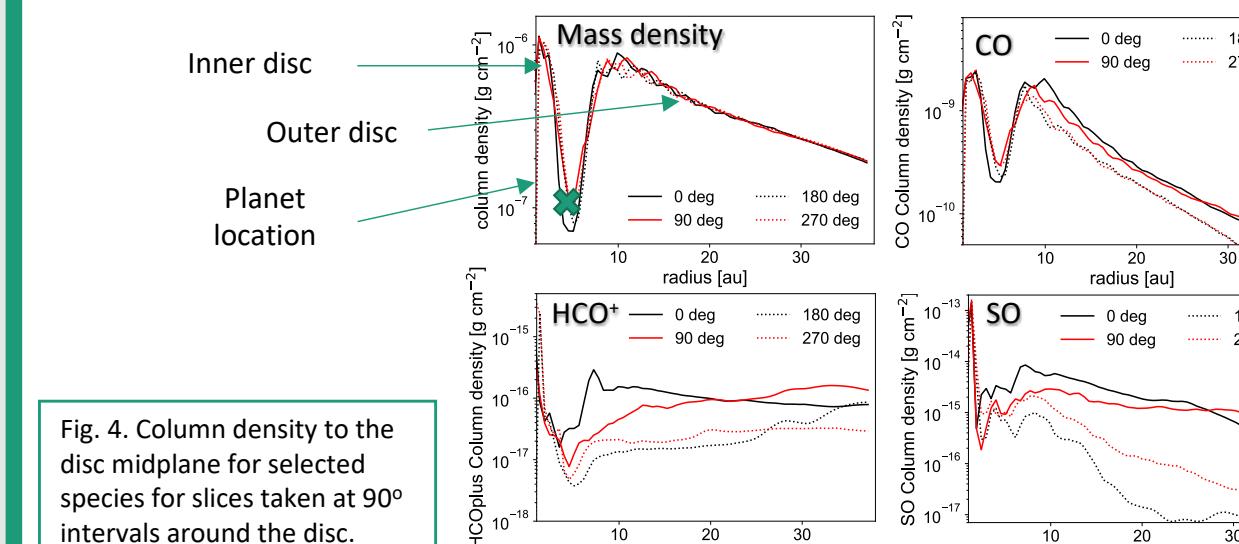


Fig. 4. Column density to the disc midplane for selected species for slices taken at  $90^\circ$  intervals around the disc.

## Simulated line emission maps

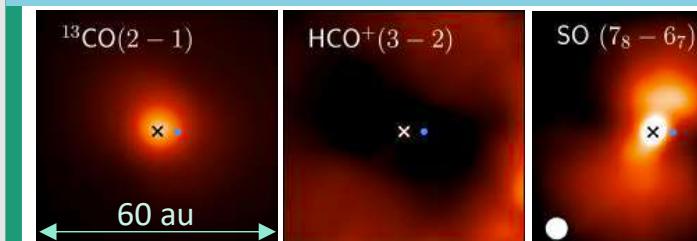


Fig. 5. Moment 0 (integrated intensity) maps smoothed with a 0.1 arcsec Gaussian beam. 'x' marks the star position, blue circle marks the planet position, white circle shows beam size.

We model line emission maps for a distance of 60 pc and smooth with a 0.1 arcsec Gaussian beam. The selected lines trace different disc regions and present different asymmetries.  $^{13}\text{CO}$  emission shows a shift in the emission peak towards the upper side of the warp. Remarkably, a planet at 5 au causes asymmetries in  $\text{HCO}^+$  emission on the scale of  $\sim 30$  au.

# The Ophiuchus Disc Survey Employing ALMA (ODISEA)–III: the evolution of substructures in massive discs at 3–5 au resolution (submitted to MNRAS)

Lucas A. Cieza<sup>1</sup>, Camilo González-Ruiz<sup>1</sup>, Antonio S. Hales<sup>2,3</sup>, Paola Pinilla<sup>4</sup>, Dary Ruiz-Rodríguez<sup>3</sup>, Alice Zurlo<sup>1,5</sup>, Carla Arce-Tord<sup>6</sup>, Hector Cánovas<sup>7</sup>, Simón Casassus<sup>8</sup>, Mario Flock<sup>9</sup>, Nicolas Kurovic<sup>9</sup>, Sebastian Marino<sup>8</sup>, Pedro H. Nogueira<sup>1</sup>, Laura Pérez<sup>6</sup>, Sebastián Pérez<sup>9</sup>, Daniel J. Price<sup>10</sup>, David A. Principe<sup>11</sup>, Jonathan P. Williams<sup>12</sup>

<sup>1</sup> Núcleo de Astronomía, Universidad Diego Portales, Chile; <sup>2</sup> lucas.cieza@mail.udp.cl; <sup>3</sup> Joint ALMA Observatory, Chile; <sup>4</sup> National Radio Astronomy Observatory, USA; <sup>5</sup> Max Planck Institute for Astronomy, Germany; <sup>6</sup> Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad Diego Portales, Chile; <sup>7</sup> European Space Astronomy Centre (ESAC), Spain; <sup>8</sup> Instituto de Astronomía, University of Cambridge, UK; <sup>9</sup> Universidad de Santiago de Chile; <sup>10</sup> Monash University, Australia; <sup>11</sup> MIT Kavli Institute for Astrophysics and Space Research, USA; <sup>12</sup> University of Hawaii at Manoa, USA.

**ABSTRACT:** We present 1.3 mm continuum ALMA long-baseline observations at 3–5 au resolution of 10 of the brightest discs from the ODISEA project. We identify a total of 26 narrow rings and gaps distributed in 8 sources and 3 discs with small dust cavities ( $r < 10$  au). We find that two discs around embedded protostars lack the clear gaps and rings that are ubiquitous in more evolved sources with Class II SEDs. Our sample includes 5 objects with previously known large dust cavities ( $r > 20$  au). Our long-baseline observations resulted in the largest sample of discs observed at 3–5 au resolution in any given star-forming region (15 objects when combined with Ophiuchus objects in the DSHARP Large Program) and allow for a demographic study of the brightest 5% of the discs in Ophiuchus (i.e. the most likely formation sites of giant planets in the cloud). We use this unique sample to propose an evolutionary sequence and discuss a scenario in which the substructures observed in massive protoplanetary discs are mainly the result of planet formation and dust evolution. If this scenario is correct, the detailed study of disc substructures might provide a window to investigate a population of planets that remains mostly undetectable by other techniques.

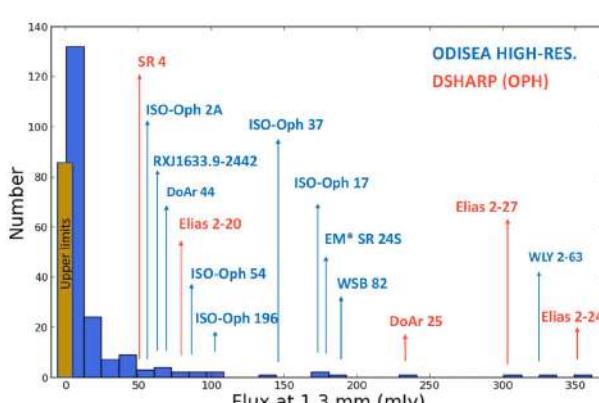


Figure 1. Histogram of 1.3mm fluxes of the 289 objects in the full ODISEA sample (Cieza et al. 2019; Williams et al. 2019), which corresponds to all YSO candidates identified by Spitzer in the Ophiuchus molecular cloud (Evans et al. 2009). The 10 “ODISEA long-baseline targets” observed at  $0.02''$  (3 au) to  $0.035''$  (5 au) resolution are at the upper end of the flux distribution. We combine our long-baseline sample with the 5 Ophiuchus objects brighter than 70 mJy that were observed by DSHARP at 5 au resolution (Andrews et al. 2018) to create a flux-limited sample containing the 5% brightest discs in the cloud.

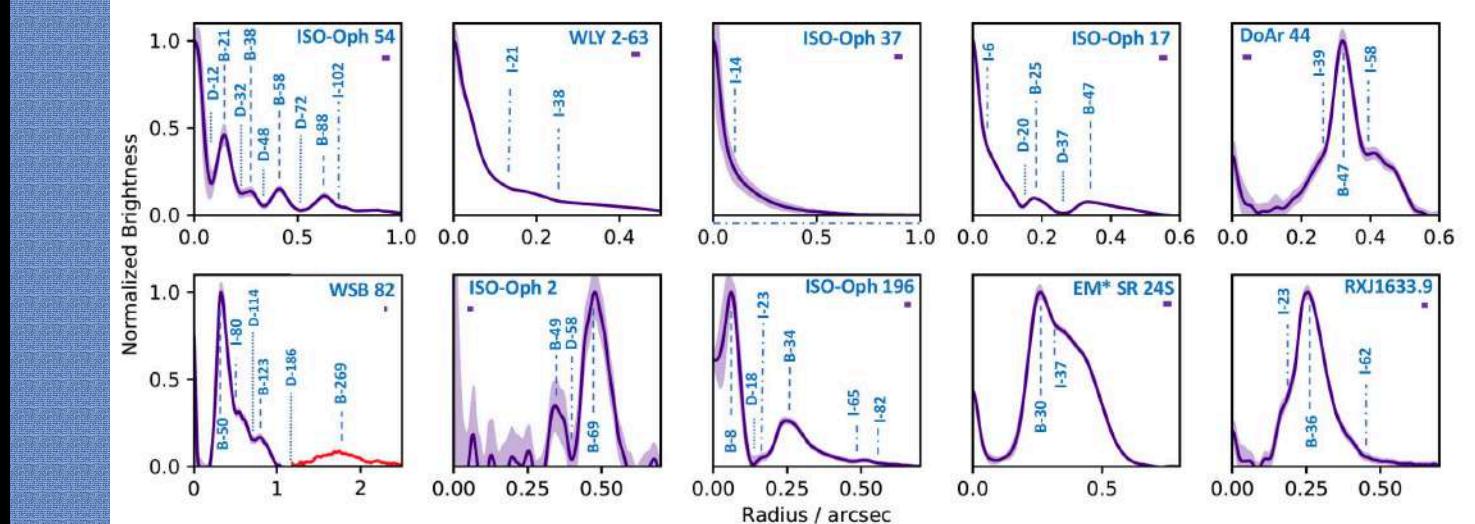


Figure 2. Deprojected radial profiles of the “ODISEA long-baseline sample” normalized to the peak flux. The small bar below the name of each source indicates the size of the beam. Substructures are labeled with a prefix (“D” for gaps, “B” for rings, “I” for inflection points), and a number indicating their location in au. The blue profile corresponds to the long-baseline data alone, while the red profile in WSB 82 includes observations at  $0.2''$  resolution. The shaded regions indicate the 3- error around the mean of the profiles.

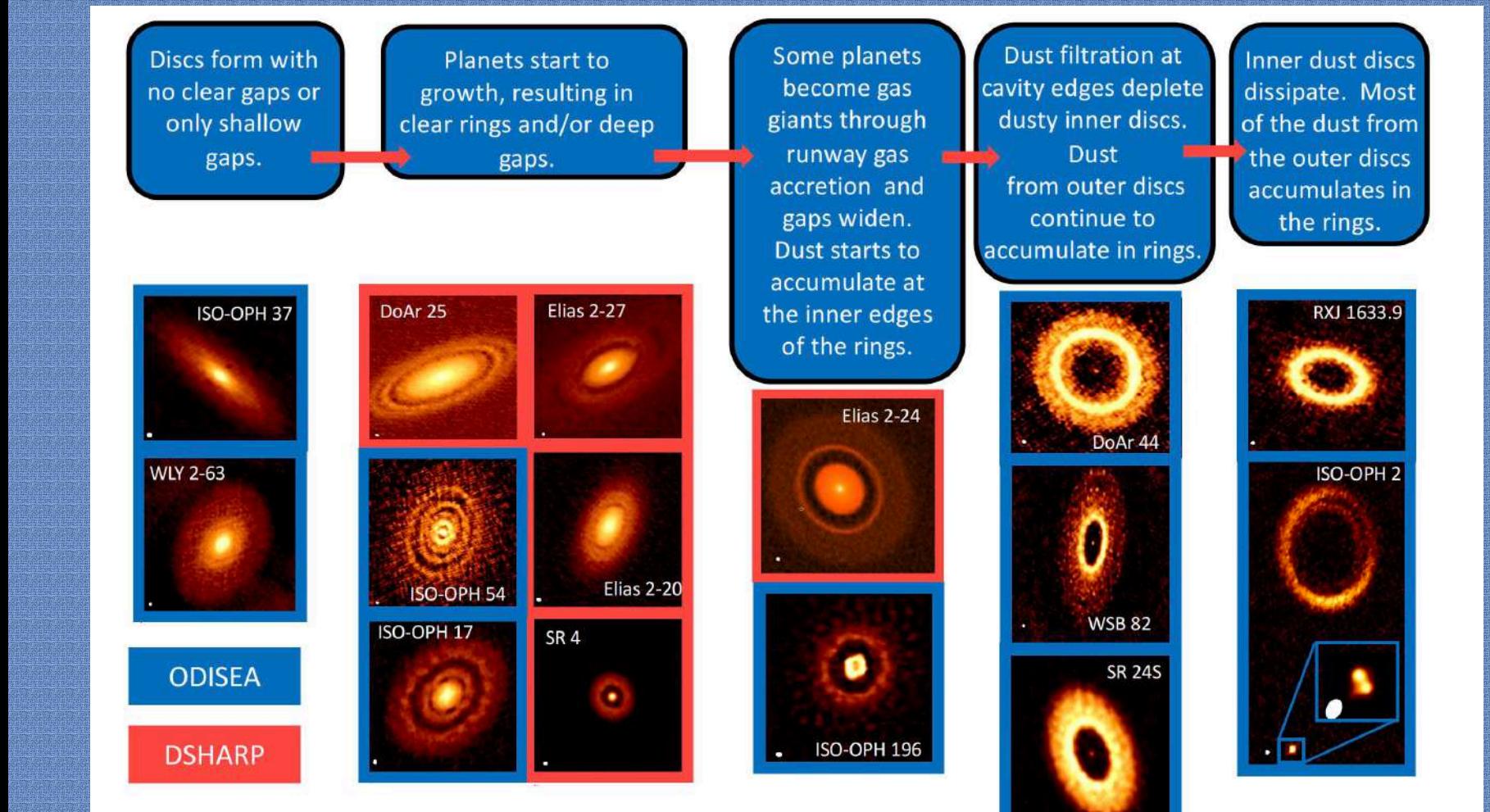


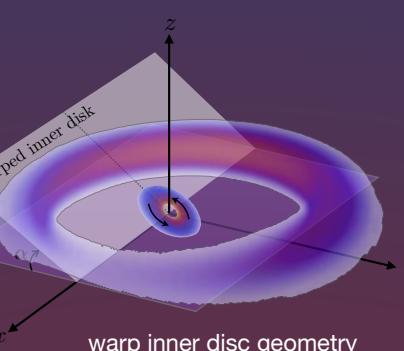
Figure 3. Schematic figure of the possible evolution of substructures in massive discs ( $M_{DUST} > 40 M_{JUP}$ ) using the objects in the Ophiuchus long-baseline sample to illustrate different stages. In the proposed scenario, the progression of the features observed in 1.3 mm continuum at 3–5 au resolution is driven the formation of giant planets through core accretion and dust evolution. By construction, the scenario only applies to systems massive enough to form giant planets.

### Tilted inner discs cast shadows. What do shadows do?

Shadows due to warped inner discs have been found in a number of protoplanetary discs such as HD142527 (Marino et al 2015), HD100453 (Benisty et al 2017), DoAr44 (Casassus et al. 2018), manifested via dips in the azimuthal brightness of outer discs. These are mainly found in scattered light and polarization images, but can also be seen as temperature drops in optically thick sub-mm continuum (as in HD142527). **What are the hydrodynamical consequences of such illumination effects?**

In Montesinos et al. (2016), we found that periodic forcing of shadows in a passive disc indeed results in shallow spiral arms. These 2D adiabatic simulations mainly trace the disc mid plane and consider an arbitrary blockage of stellar radiation as shadow model. Here we present the 3D picture of the shadow-spiral launch mechanism, with a shadow profile inspired by RT calculations of observed dips.

Here we perform 3D radiation hydrodynamics (using FARGO3D-RT, Benítez-Llambay & Masset 2016) to study the hydrodynamical imprint of shadows cast on an outer disc.



### Method: 3D radiation hydrodynamics

Our simulations consider an outer disc being irradiated by a central star (whose luminosity we vary), where two point symmetric shadows, with a certain depth and shape (which we also vary), are cast.

Shadows are applied in the stellar irradiation field. The shadows have a square-ish profile (see gray line in temperature gradient, fig. 2 below) inspired by RT modeling of the shadows in DoAr44 (Casassus et al. 2018).

Our radiation module is based on a gray approximation and flux-limited diffusion, and a two-temperature approach (Benítez-Llambay & Masset 2016). Viscous heating is incorporated but it is negligible next to stellar irradiation.

## 3D radiation hydrodynamics of discs with shadows

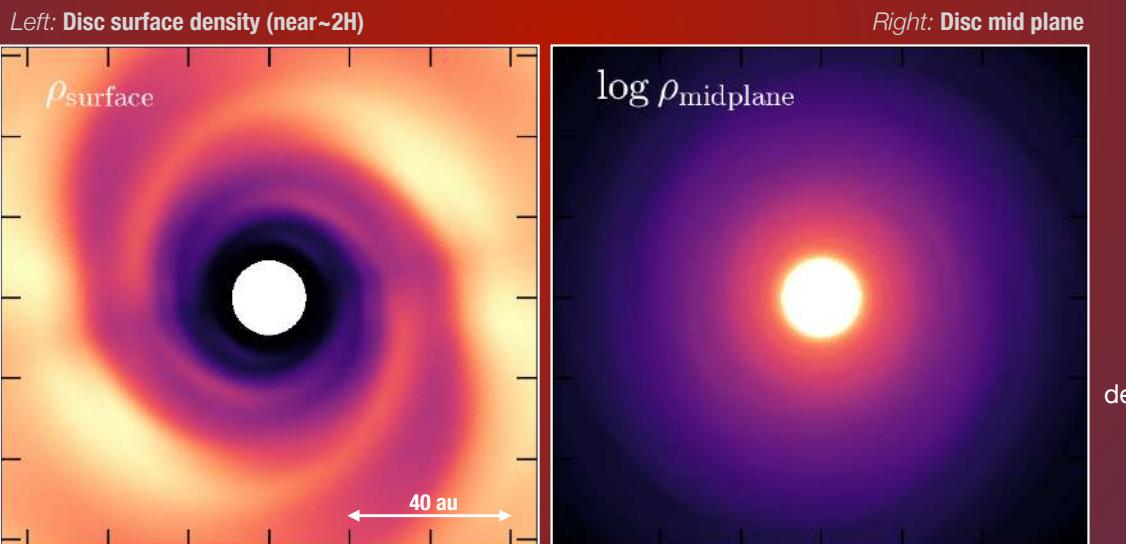
### Spiral arms launched by illumination effects

Sebastián Pérez (MAD/DAS U. Chile), Simon Casassus (MAD/DAS U. Chile),  
Pablo Benítez-Llambay (NBIA, Copenhagen), Sebastián Marino (Cambridge, UK), Frédéric Masset (UNAM, México).

Prominent spirals are launched at the disc surface (above one scaleheight).

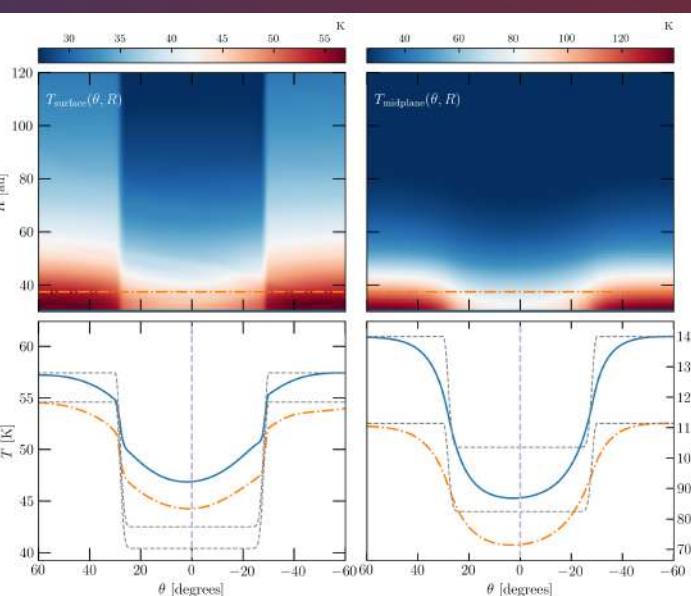
The spirals at the surface have an  $m=2$  morphology, and are stable and sustained over the whole time span of our simulations (100 orbits at 20 au).

#### Result 1: spirals are launched at the surface



Key parameters for the spiral-shadow connection are the luminosity of the central and the depth of the shadows. Here we show rather deep shadows, with a depth (blockage of stellar light) of 90%. The opacities are also relevant. Here using Lin & Bell (1984).

#### Results 2: significant temperature gradient under the shadow



The crossing under the shadow affects the disc temperature azimuthal profile. This could produce an observable temperature signature, which translates into shadows being found at slightly different azimuthal locations at different frequencies. The blue line is the profile cut at 30 au, orange is at 38 au. Gray line is the model's shadow profile.

#### Implications for observability

Our work finds that spirals are indeed launched by the periodic passing under a shadowed region. But these are *surface* features rather than an underlying mid plane structure. This means that, if present, they would be observable in scattered light and not dust continuum. This is promising as a plausible mechanism to explain spirals seen in scattered light images of HD100453, which seem to stem from the shadows (Casassus et al. 2016, PASA, Benisty et al. 2017). These spirals launched by shadows would not be able to explain the spirals in Elias 2-27 (L. Pérez et al. 2016) which are seen in the continuum tracing the mid plane.

#### References:

- Benisty et al. 2017, A&A, 597A, 42B
- Benítez-Llambay & Masset 2016, ApJS, 223, 11
- Casassus et al. 2016, PASA review
- Casassus et al. 2018, submitted
- Marino et al. 2015, ApJL, 798, L44
- Montesinos et al. 2016, ApJ, 823, L8
- L. Pérez et al. 2016, Science, 353, 6307

## **En qué plataforma/app hacer el poster?**

Recomendaciones:

LaTeX (mirar templates en Overleaf).

También se puede usar Keynote, Google Slides o Canva



# OUMUAMUA

Un viajero inesperado

USACH  
DEPARTAMENTO DE  
FÍSICA  
ASTROFÍSICA  
MENCION  
EN CIENCIA DE DATOS

Amanda Achterberg - Catalina González - Jorge Luis Guzmán  
4 de Agosto, 2023

## El primer explorador de un lugar lejano

El año 2017, el proyecto Pan-STARRS detectó un fugaz objeto de notable velocidad que capturó la atención de los científicos debido a que no se ajustaba a las características de un objeto perteneciente a nuestro sistema solar. Este cuerpo fue nombrado como "Oumuamua". Al ser un objeto pasajero, su estudio ha sido complejo, pero se estima que su tamaño es de **400 metros de largo**, siendo a su vez 10 veces más largo que ancho [Figura 2]. Respecto a su composición, esta sería principalmente de roca. Además, destaca que no deja rastros de materia en su trayectoria, lo que indicaría la presencia de hidrógeno y nitrógeno molecular en sus componentes.

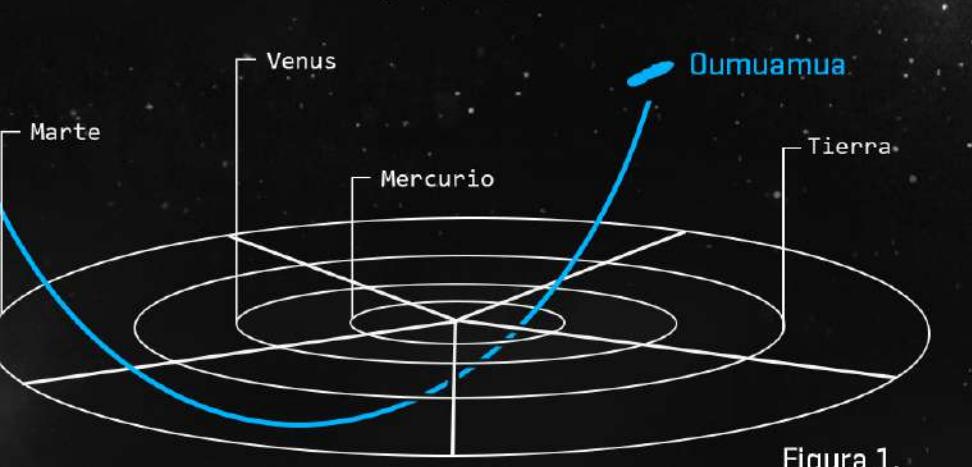


Figura 1.

## ¿Qué lo hace tan interesante?

Se estima que ha estado en curso durante aproximadamente un millón de años y se considera que una pequeña estrella roja llamada "HIP3757" podría ser su **origen**. A pesar de todos los misterios de este objeto, lo que más ha llamado la atención es su trayectoria debido a su irregular velocidad de **38,3 kilómetros por segundo**, en la cual se acercó por sobre nuestro sistema solar, cruzó bajo el plano de la eclíptica, fue atraído por la gravedad del sol y luego de pasar bajo la órbita de la Tierra volvió a subir por sobre el plano [Figura 1]. Su variación de brillo también llamó la atención siendo este en un factor de diez mientras gira sobre su eje cada **7.3 horas** [Figura 4].



Figura 2.

## La tecnología responsable de este descubrimiento

El gran descubridor de este objeto es el observatorio PAN-STARRS [Figura 3], que cuenta con **dos telescopios de 1,8 m de diámetro** y cada uno con una cámara de aproximadamente 1,5 millones de píxeles. Observa panorámicamente 1.000 grados cuadrados de cielo nocturno, realizando el sondeo multicolor [luz visible e infrarroja] cada una hora. Al comparar estas secuencias, se logran identificar elementos que se mueven cercanos a la tierra en 60 minutos y se registran para revisión objetos **inusuales o potencialmente peligrosos**, tales como Oumuamua.

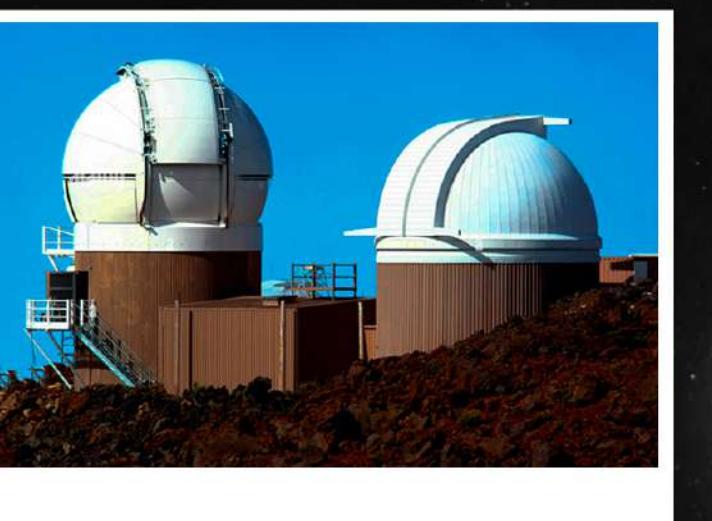


Figura 3.

## Los aportes que nos entrega su estudio

Como este cuerpo proviene de **fuera de nuestro sistema solar**, ha sido objeto de investigación con el fin de obtener información sobre posibles trayectorias e interacciones con **futuros objetos interestelares**. Además, su estudio ha sido crucial para ampliar nuestro conocimiento sobre la **formación de planetas** en otros lugares del universo, ya que su composición es similar a la de los **planetesimales** formados en otros sistemas solares.

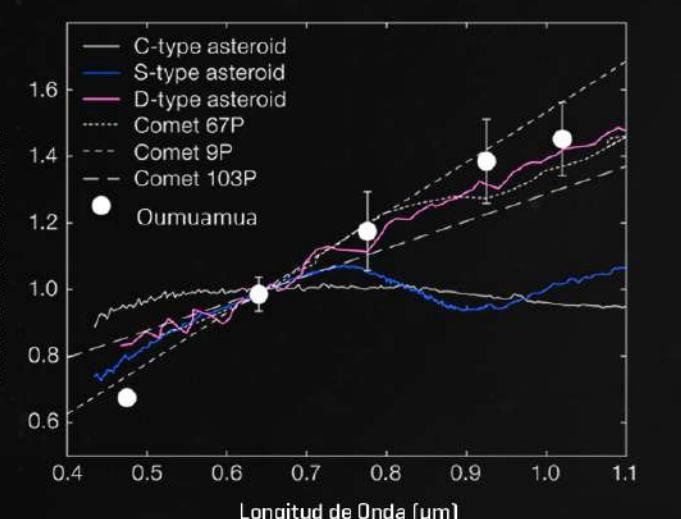


Figura 4. Gráfico comparativo de la reflectividad de Oumuamua con cuerpos similares a este

BBC News Mundo. (2018-06-28), NBC News. (2019-01-30), Martinez, M. R. (2021-01-12).

NASA Solar System Exploration. (2019-12-19), ESO/M.Kornmesser. (2019-02-18), Karen Meech e tal. (2017).

# UN VIAJE A LOS IMPONENTES ANILLOS SATURNIANOS

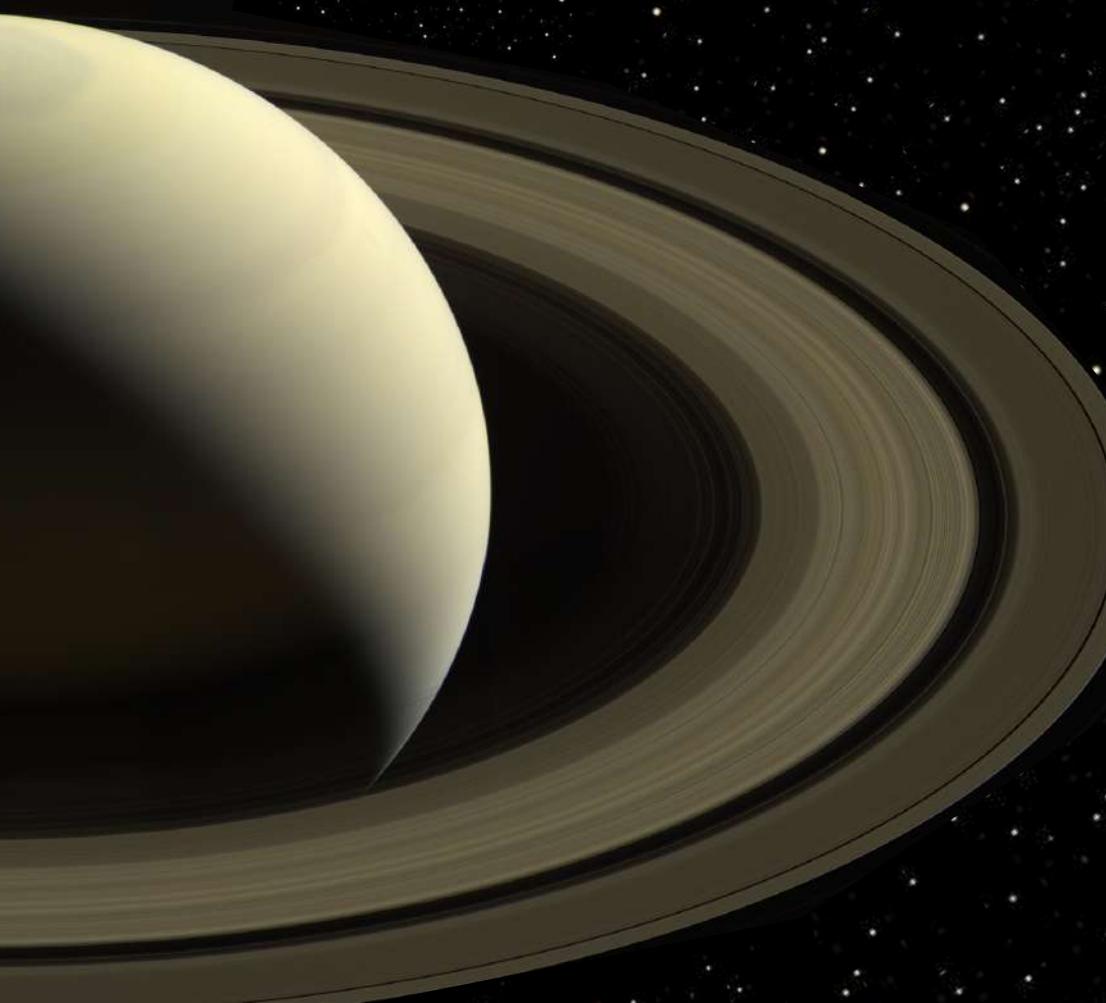
FABIÁN DESTEFANO, HARRY GONZÁLEZ, FABIAN PEÑA

## ORIGEN

El origen de los anillos es una incógnita hasta el día de hoy. Existen varias teorías, pero dos de todas son:

La primera estima que poco antes de tener sus anillos, un satélite natural que orbitaba a Saturno se acercó demasiado, chocó contra este, debido a tal suceso la luna se fragmentó y los restos comenzaron a orbitar al planeta, convirtiéndose en sus anillos.

Y la segunda es que estos se formaron junto a la creación de Saturno.



## LA VELOCIDAD DE LOS ANILLOS

Los anillos de Saturno están orbitando al planeta y rotando a una velocidad de 17.5 km/s aproximadamente, esto se explica gracias a la fuerza centrípeta. Cada sección de los anillos posee una velocidad diferente, que se detecta mediante fotografías del espectro lumínoso del planeta, debido a que la luz que nos llega la podemos plasmar en imágenes y analizarlas, se utiliza el "efecto Doppler-Fizeau". Gracias a esta información es como podemos conocer la velocidad de rotación de los anillos de forma precisa.



Imagen de los Anillos de Saturno con varios filtros aplicados. Tomada por el Voyager-2 publicada el 16 de diciembre del 2004. Tomada de Color-Enhanced Rings | NASA Solar System Exploration. (s. f.) NASA Solar System Exploration.

## ¿CÓMO SE OBTIENE ESTA INFORMACIÓN?

La gran mayoría de la información e imágenes que tenemos sobre Saturno y sus anillos se la debemos gracias a la sonda espacial Cassini-Huygens, la cual posee entre varios instrumentos que trabajan en infrarrojo, luz visible, ondas de radio y microondas. Además poseía antenas para comunicarse con la Tierra y enviar la información para el posterior análisis.

## Fuentes de información

In Depth | Saturn - NASA Solar System Exploration. (17 de Octubre del 2022). NASA Solar System Exploration.

Rodríguez, H. (30 de abril del 2023). Saturno (planeta). Todo lo que sabemos en 2023 sobre Saturno.

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE,



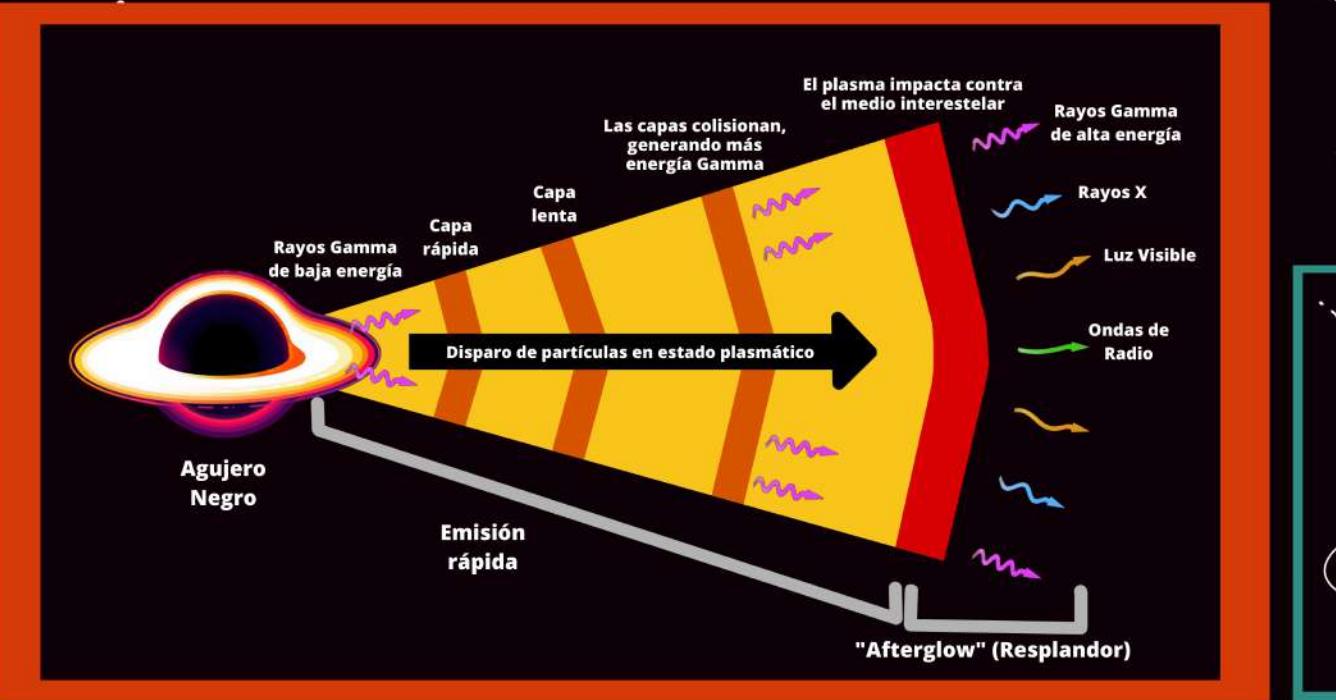
# GRBs ¿UNA AMENAZA PARA LA VIDA?



DEPARTAMENTO DE  
FÍSICA

Si tomas toda la energía de las estrellas que ves en el cielo y la conviertes en un arma, obtendrías algo semejante a un Brote de Rayos Gamma (GRB). Los rayos Gamma son una onda que transporta energía a través de fotones, tal y como la luz visible que ven nuestros ojos, pero siendo un millón de veces más energéticos. Tal energía podría perturbar el sistema bioquímico que nos permite vivir.

Proceden de la génesis de agujeros negros, un cataclismo cósmico que dispara densos flujos Gamma llenos de energía al vacío. Si provienen de muy lejos, perderán energía y la atmósfera terrestre los absorberá fácilmente. Sin embargo, si nacen a una distancia relativamente corta y apuntan directo hacia nosotros, sería catastrófico. A pesar de que un GRB tan energético solo se espera que ocurra una vez cada 10000 años, no es imposible que amenacen a la Tierra.



**Figura 1:** Estructura de un GRB. A la izquierda, se ve el agujero negro que originó el brote Gamma. Mientras la explosión avanza, impulsa las partículas energizadas al exterior. Se emiten fotones de todo el espectro electromagnético, pero concentra mayores cantidades de la clase Gamma altamente energizadas.

## ¿Qué escenario nos espera si un GRB logra impactar a nuestro planeta?

Si el GRB proviene del exterior de nuestra galaxia, gran parte de su energía se dispararía en el trayecto y la atmósfera podrá absorber la radiación. Podría tener un efecto temporal en algunos satélites y dispositivos electrónicos de nuestro planeta.

Si el GRB se genera a unos 400 años luz de distancia, destruiría la capa de Ozono, lo que nos dejaría a merced de la radiación ultravioleta del Sol. La vida terrestre tendría que adaptarse a los altos niveles de radiación UV, y muchos seres vivos, entre ellos los humanos, verían comprometida su supervivencia a largo plazo.

Si el GRB se encuentra a cualquier distancia menor a 400 años luz, los rayos Gamma podrían generar una ionización en cadena [ver figura 2], liberando altas cantidades de radiación a la superficie y destruyendo casi por completo a la atmósfera. Mientras esperamos a que nuestra barrera planetaria se regenere de forma natural, el Sol tendría tiempo de sobra para dañar la superficie terrestre lo suficiente para impedir que la vida en nuestro hogar cósmico prevalezca.

A esta distancia, también sería posible que la longitud de los rayos Gamma sea tan corta que atraviese la materia sin consecuencias, pero esto requeriría un GRB con la energía de un octillón de bombas atómicas.

## ¿De qué depende la frecuencia de los Brotes de Rayos Gamma de una galaxia?

Los GRB son causados por la muerte de estrellas masivas o colisión de estrellas de neutrones. Ambos producen el mismo resultado: un agujero negro que dispara radiación al espacio, como se ve en el esquema (figura 1). Dado que la cantidad de estrellas de cada magnitud siguen un patrón, lo más intuitivo es pensar que las galaxias con más estrellas tienen más probabilidades de producir GRB, ya que poseen más candidatas a generar un agujero negro.

Las galaxias con más estrellas son aquellas que poseen mayor tamaño, ya que tienen más recursos disponibles para crear astros que eventualmente generen lo que buscamos.

El tamaño de una galaxia varía con la cantidad de materia que han logrado recoger del cosmos. Incluso, si un par de galaxias se atraen gravitacionalmente entre sí, pueden colapsar una con la otra en un período de millones de años, sumando sus masas y volviéndose una galaxia mucho más masiva que sus predecesoras.

Junto con el tamaño, un factor igual de importante es la densidad gaseosa que tienen las galaxias. Si una galaxia posee muchos cúmulos de gas y polvo, tiene más herramientas con las que puede crear estrellas. Si bien no se sabe con exactitud cómo es que varía la cantidad de zonas densas de una galaxia, hay algunas cuantas hipótesis que se han planteado, pero ninguna es suficientemente precisa.

En síntesis, las galaxias con más estrellas pueden producir GRBs con más frecuencia, y más de alguno de estos brotes puede haber extinguido grandes poblaciones de vida extraterrestre sin dejar rastro. Sin embargo, esta idea está construida bajo conceptos que aún están bajo investigación. Además, atribuirle a los GRB el mérito de borrar del mapa a la vida como la nuestra sería una simplificación excesiva, pues hay muchos otros factores a considerar.

**Bibliografía:**  
 1. NASA. (2023, Junio). NASA Missions Study What May Be a 1-in-10,000 Year Gamma-Ray Burst.  
 2. Gill, R., & Granot, J. (2022). Gamma-Ray Bursts at TeV Energies: Theoretical Considerations.  
 3. Thomas, B.C. (2009, Mayo). Gamma-ray bursts as a threat to life on Earth. International Journal of Astrobiology

**Autores:**  
 Cristian Muñoz  
 Ariel Rodríguez  
 Sebastián Padilla  
**Agosto del 2023**

# Sistemas Black Widow



DEPARTAMENTO DE  
FÍSICA

ASTROFÍSICA  
CON MENCIÓN EN  
CIENCIA DE DATOS

Tomás Inzulza, Juan Pablo Peralta, Amelia Díaz  
Dpto. Física, Universidad de Santiago de Chile  
21/07/2023



Bibliografía

En el espacio podemos encontrar muchos fenómenos interesantes. Uno de ellos, son los "Sistemas Viuda Negra", Los cuales se caracterizan por ser sistemas binarios de estrellas, en los que una estrella de neutrones (púlsar) golpea a su estrella compañera con sus rayos de luz, extrayendo materia de ella y emitiendo intensa radiación en el proceso. Por esta razón, los astrónomos comparan este tipo de sistemas con la especie de araña "Viuda negra" o "*Latrodectus*" (nombre científico), por mantener un comportamiento parecido de devorar a su pareja durante el apareamiento.

En 1988 los astrónomos, Joseph H. Taylor, A. Wolszczan y D. Lyne, descubrieron el primer Sistema Viuda Negra (PSR B1957+20), utilizando el radiotelescopio de Arecibo en Puerto Rico.

Una estrella de neutrones o púlsar, se forma cuando una estrella de entre 8 y 25 masas solares estalla en una supernova.

Después de la explosión, las capas exteriores de la estrella salen despedidas al espacio permaneciendo un remanente estelar pero sin volver a producir fusión nuclear. Gracias a esto la estrella se condensa y colapsa, por lo que, a pesar de mantener un tamaño no más grande que una ciudad, puede contener 2 veces la masa del sol lo que las hace uno de los objetos estelares más densos del universo.

## Métodos de observación:

- Los radiotelescopios son el objeto principal utilizado para encontrar púlsares, sin embargo, contar solo con las ondas de radio tiene ciertas limitaciones. Desde la llegada de los telescopios de rayos gamma la observación de púlsares se ha expandido, ya que tienen un rango mucho mayor y pueden observar los rayos γ emitidos por la estrella.
- Observaciones en rayos x: Con este tipo de observaciones se pueden apreciar indirectamente los "Black Widow", ya que el rayo del púlsar golpea el material que lo rodea impulsado por su estrella compañera, lo energiza causando que genere rayos x, haciendo posible su observación con un telescopio de rayos x como Chandra. (Ver Figura n°1)

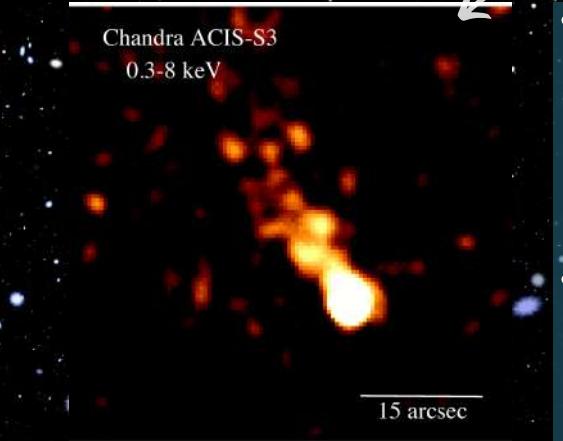


Figura 1.

La estrella que acompaña al púlsar en este tipo de sistemas puede ser de cualquier tipo, se han encontrado principalmente enanas café y enanas blancas, generalmente estrellas de poca masa. La estrella compañera debe estar lo suficientemente cerca del púlsar para poder interactuar con él; además se cree que pueden llegar a evaporarse por completo en algún punto y es por eso que regularmente los púlsares con períodos de rotación muy corto, como los "millisecond pulsar" (MSP) (con períodos de rotación no mas largos de 30 ms), se encuentran solos, ya que llevan tanto tiempo rotando que lograron desvanecer a su estrella compañera por completo.

Un sistema binario es un sistema estelar en el que se formaron dos estrellas hermanas, quienes orbitan entre sí y pueden compartir un sistema planetario. En específico para formar los sistemas "Black Widow" se necesita un púlsar que tenga un período orbital corto (entre 3 y 5 horas), para que ambas estrellas puedan interactuar. Además el campo magnético del Púlsar debe estar descentrado de sus ejes de rotación y apuntando a algún punto de la órbita de la estrella compañera. (Ver Figura n°2)

## Período orbital:

El período orbital de un sistema binario, depende de la masa total del sistema, para calcular eso es necesaria la distancia entre los centros de ambas estrellas, la constante de gravedad y el valor de las masas involucradas.

En el caso de las Viudas negras, también afecta la transferencia de masa y la variabilidad de energía entre los cuerpos.



Figura 2.

Figura n°1: Imagen captada por el telescopio de rayos x Chandra, de la nebulosa formada por la interacción entre el púlsar y su estrella compañera, las partículas de viento irradian emisiones de rayos x con forma de cola de cometa.

Figura n°2: Se observa en el centro de la simulación, un púlsar, el cual presenta dos haces de luz apuntados hacia la órbita de la estrella compañera. La anterior, se puede observar con una estela de material que se desprende a medida que revoluciona al rededor del púlsar.

Esta imagen es una simulación.

## The Pulsar Period-Period derivative diagram

Will Young Radio Pulsars become Magnetars?

Cristóbal Espinoza\*, Andrew Lyne

As pulsars slow down, their rotational period increases and they cross this diagram from left to right, with a not well known slope. We have measured this slope for four Young Radio Pulsars and, hitherto believed to be separate populations, show how their spin parameters seem to be evolving toward Magnetar values.

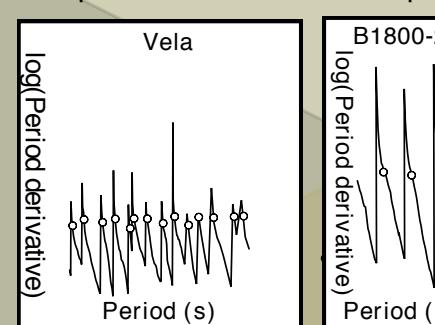
**Magnetars** are located at the top right of the diagram. They exhibit luminous X-ray emission accompanied by X-ray bursts and energetic gamma-ray flare episodes. This exclusive behaviour is thought to be powered by the decay of a very strong magnetic field, larger than 100 Tera Gauss, which would have been acquired at the time the magnetar was formed.

**Young Pulsars** are located above the general population, being many of them associated to a Supernova Remnant. They slow down gradually due to Magnetic Braking arising from surface magnetic fields of about 1 Tera Gauss.

**The problem**  
According to a popular hypothesis (the dipolar model) young pulsars evolve towards the general population, following a path determined by the direction of this yellow arrow:

However, our results (black arrows on the diagram) show that some young radio pulsars are moving with a bigger slope

These are the path, for more than 20 years, of two pulsars in this P-Pdot space:



Circles on the plots are used to determine the long term underlying movement, like in Lyne et al. 1996

Arrows in the diagram show the direction of movement, measured from the data, pointing the position of the pulsar after 10,000 yr. Gray arrows correspond to published values, whether the black ones were gotten in the course of this work.

Period (s)

The data for the plot were taken from the ATNF pulsar catalog and the McGill magnetar catalog

## The Pulsar Period-Period derivative diagram

Will Young Radio Pulsars become Magnetars?

Cristóbal Espinoza\*, Andrew Lyne

As pulsars slow down, their rotational period increases and they cross this diagram from left to right, with a not well known slope. We have measured this slope for four Young Radio Pulsars and, hitherto believed to be separate populations, show how their spin parameters seem to be evolving toward Magnetar values.

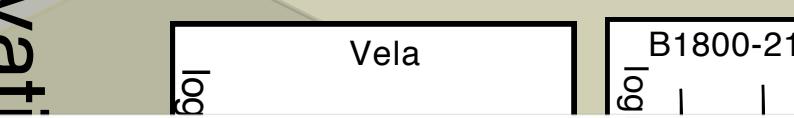
**Magnetars** are located at the top right of the diagram. They exhibit luminous X-ray emission accompanied by X-ray bursts and energetic gamma-ray flare episodes. This exclusive behaviour is thought to be powered by the decay of a very strong magnetic field, larger than 100 Tera Gauss, which would have been acquired at the time the magnetar was formed.

**Young Pulsars** are located above the general population, being many of them associated to a Supernova Remnant. They slow down gradually due to Magnetic Braking arising from surface magnetic fields of about 1 Tera Gauss.

**The problem**  
According to a popular hypothesis (the dipolar model) young pulsars evolve towards the general population, following a path determined by the direction of this yellow arrow:

However, our results (black arrows on the diagram) show that some young radio pulsars are moving with a bigger slope

These are the path, for more than 20 years, of two pulsars in this P-Pdot space:



log

Vela

B1800-21

1 Kyr

100 Kyr

100 TG

10 Myr

1 Gyr

1 TG

0.01 TG

# **Poster científico**

## **Desarrollo en etapas**

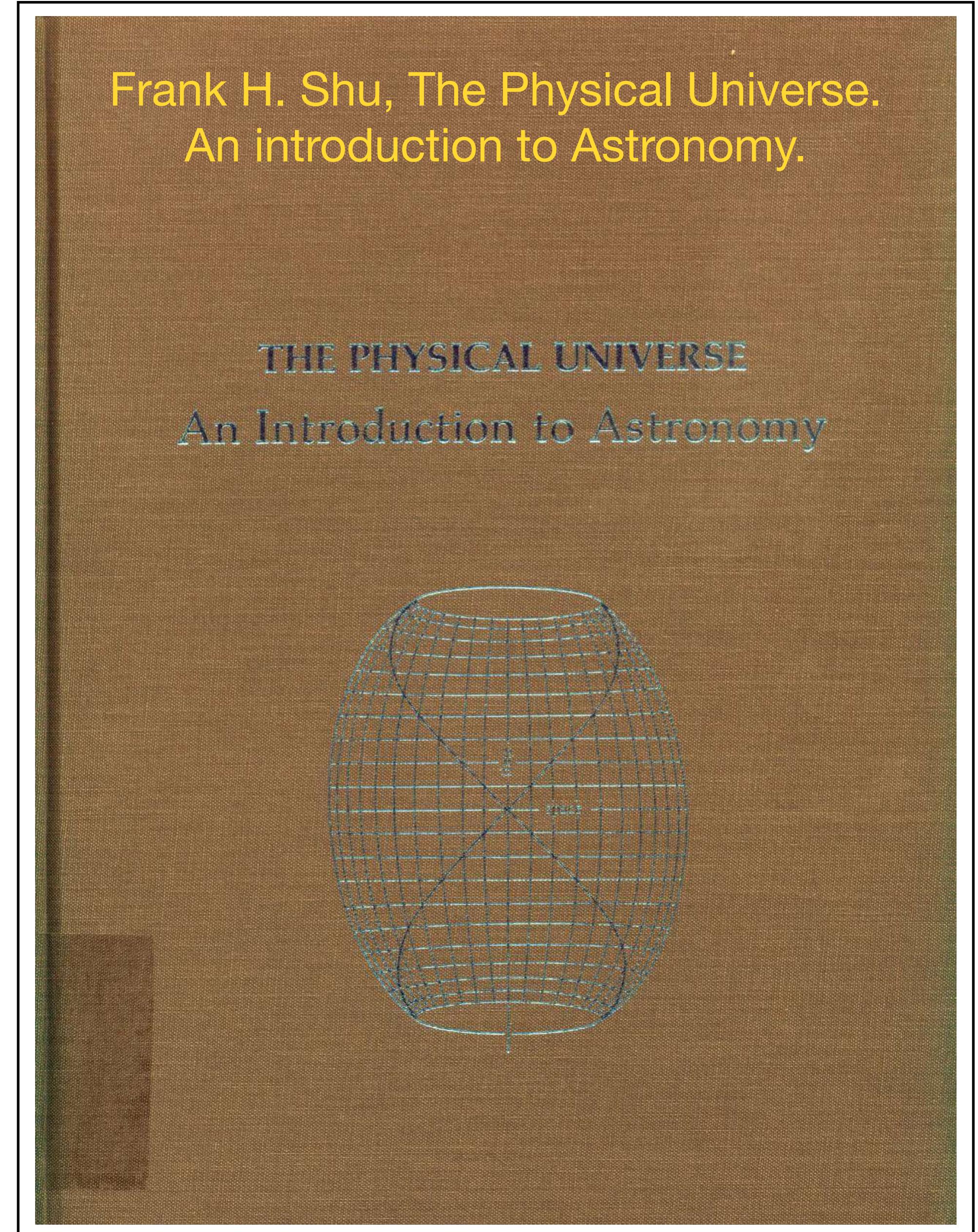
- 1. Propuesta [30%]**
- 2. Avance 1 [30%]**
- 3. Avance 2 [10%]**
- 4. Presentación final [30%]**

# Bibliografía (opcional)

# Bibliografía

## Opcional

- Frank H. Shu, The physical universe. An introduction to Astronomy.
  - James Binney & Michael Merrifield, Galactic Astronomy.
  - B. W. Carroll & D. A.Ostlie, An introduction to modern astrophysics.
  - Bennett, Donahue, Schneider, Voit, The Cosmic Perspective
  - Andrew Liddle, An Introduction to Modern Cosmology
  - Linda S. S. Sparke, Galaxies in the Universe: An Introduction
- OpenStax, Astronomy. <http://cnx.org/content/col11992/latest/> , <https://openstax.org/details/books/astronomy>



James Binney and Michael Merrifield

# GALACTIC ASTRONOMY

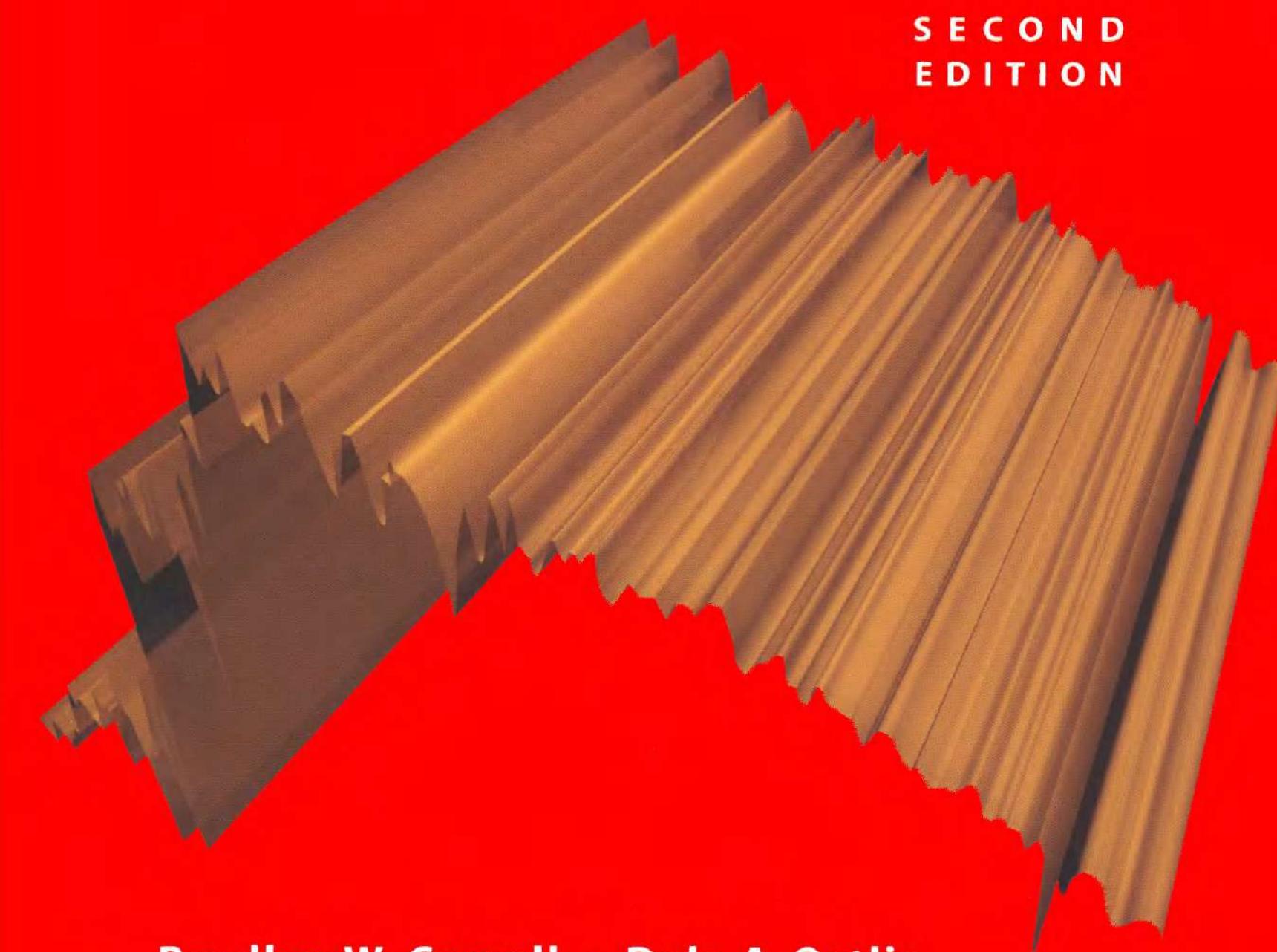


Princeton Series in Astrophysics

Pearson International Edition

## An Introduction to Modern Astrophysics

SECOND  
EDITION



Bradley W. Carroll • Dale A. Ostlie

[sebastian.perez.ma@usach.cl](mailto:sebastian.perez.ma@usach.cl)

## Primera unidad: ¿Qué es la astrofísica? ¿a qué se dedica, y cómo se hace?

Discutir los distintos sistemas astrofísicos que dan forma al universo conocido, con foco en la noción de que el universo no es estático sino que es un proceso en curso.

# Qué es la astrofísica?



Qué es la **astrofísica**?  
**astronomía**?



Qué es la **astrofísica**?  
**astronomía**?  
ciencia?



Qué es la **astrofísica**?  
**astronomía**?  
ciencia?

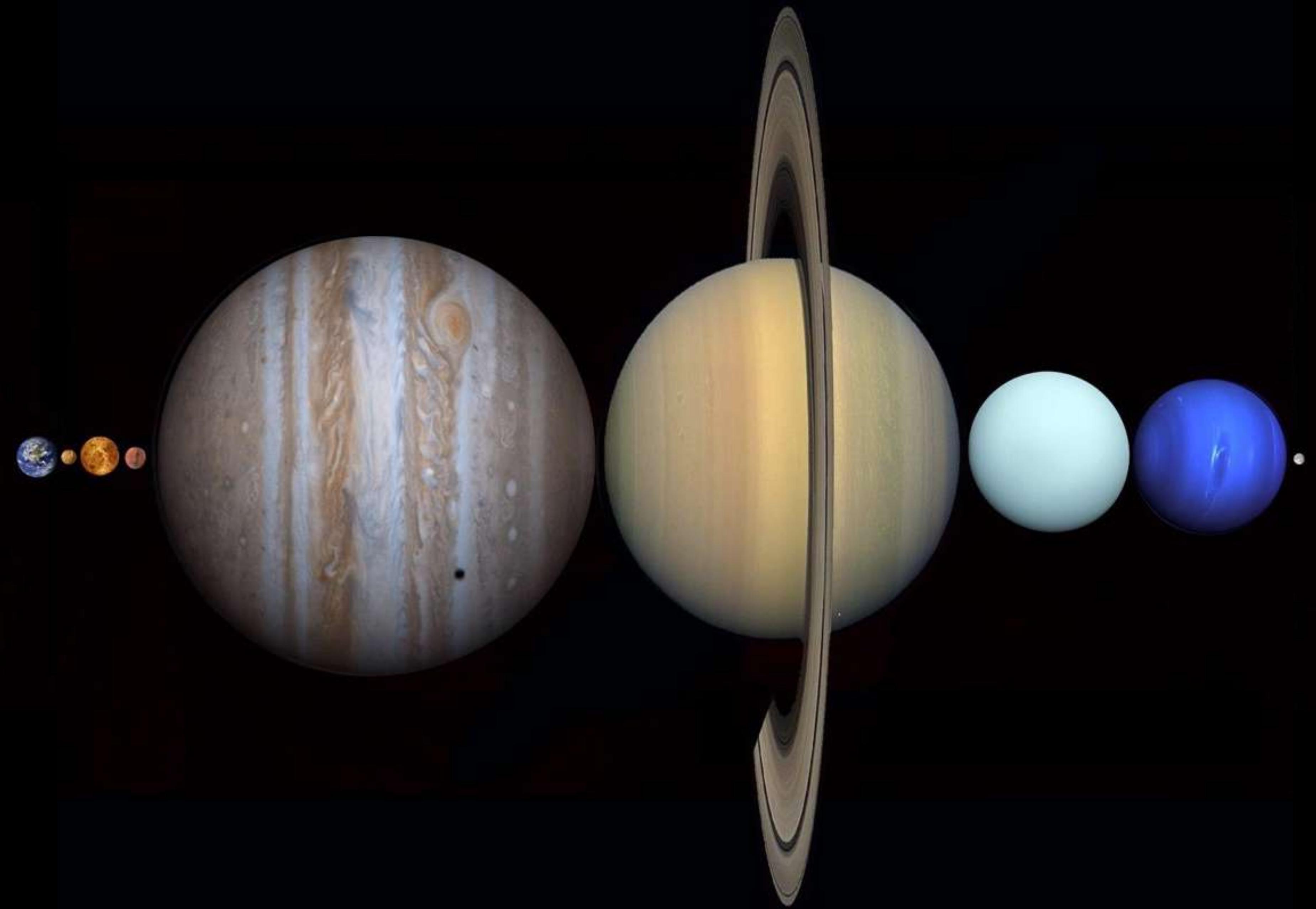


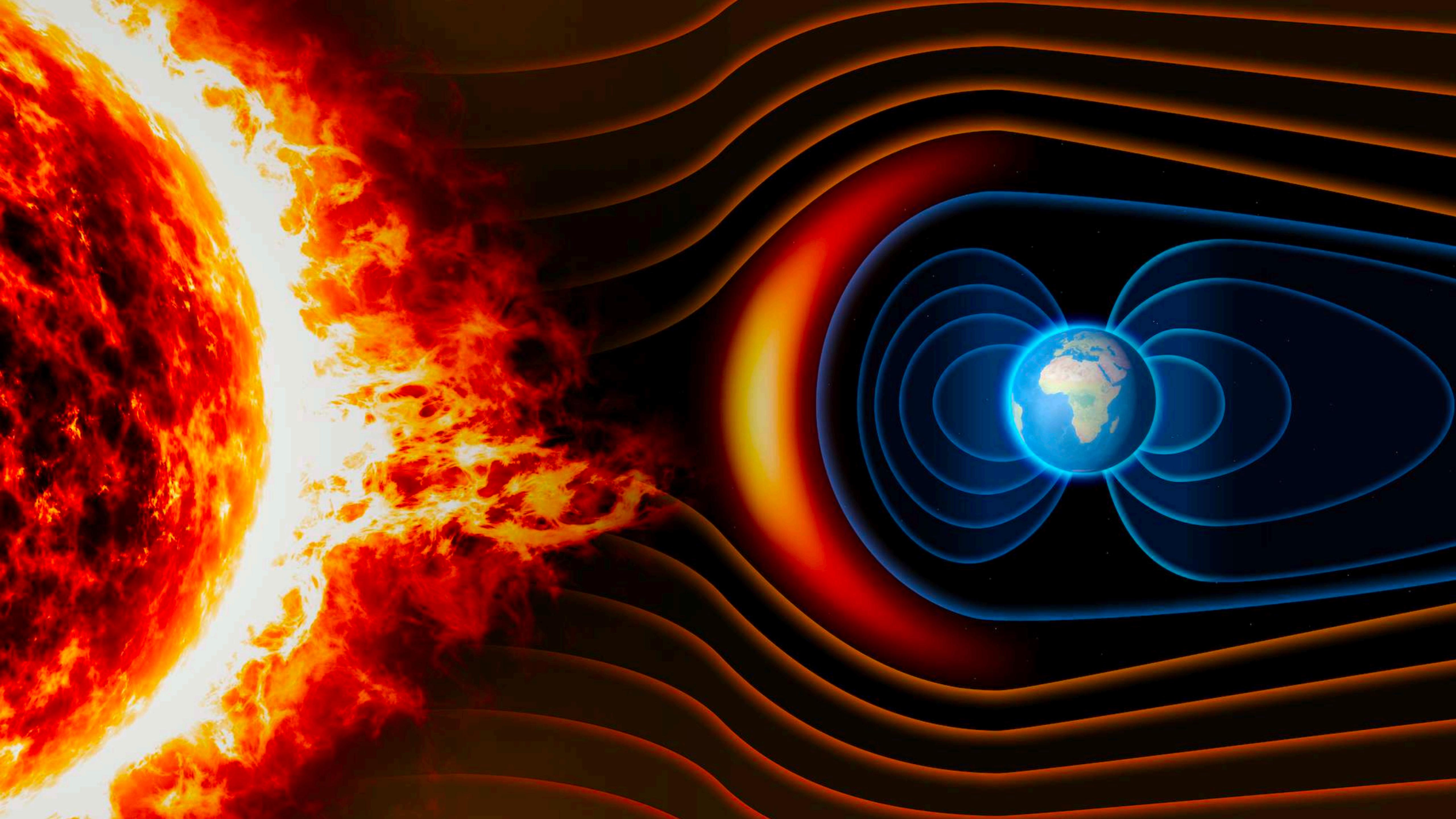
Sistema de producción de conocimiento, y un método de cómo aprender ese conocimiento.  
Pero, qué escapa a esta definición?

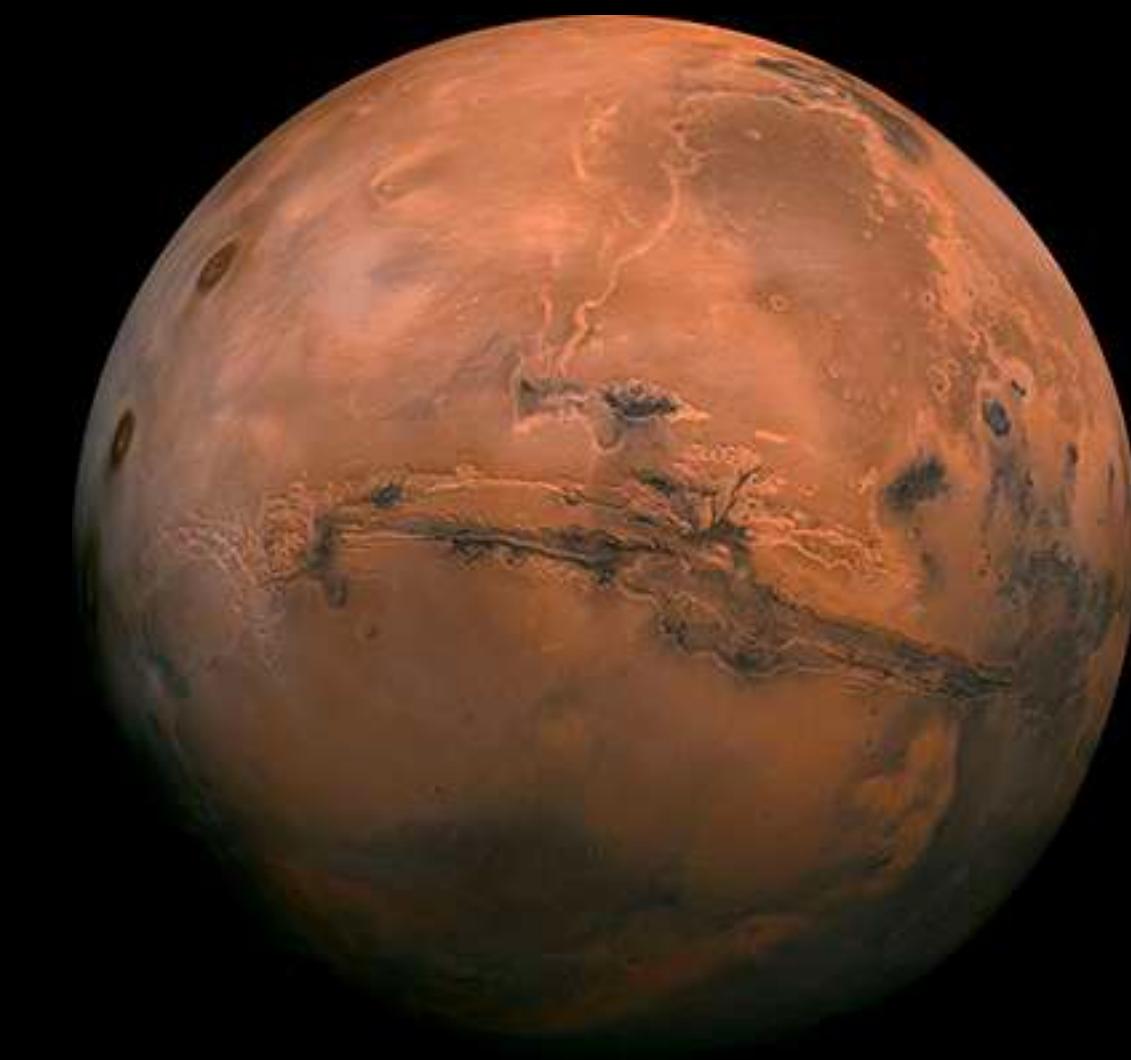
# La astronomía nos posiciona



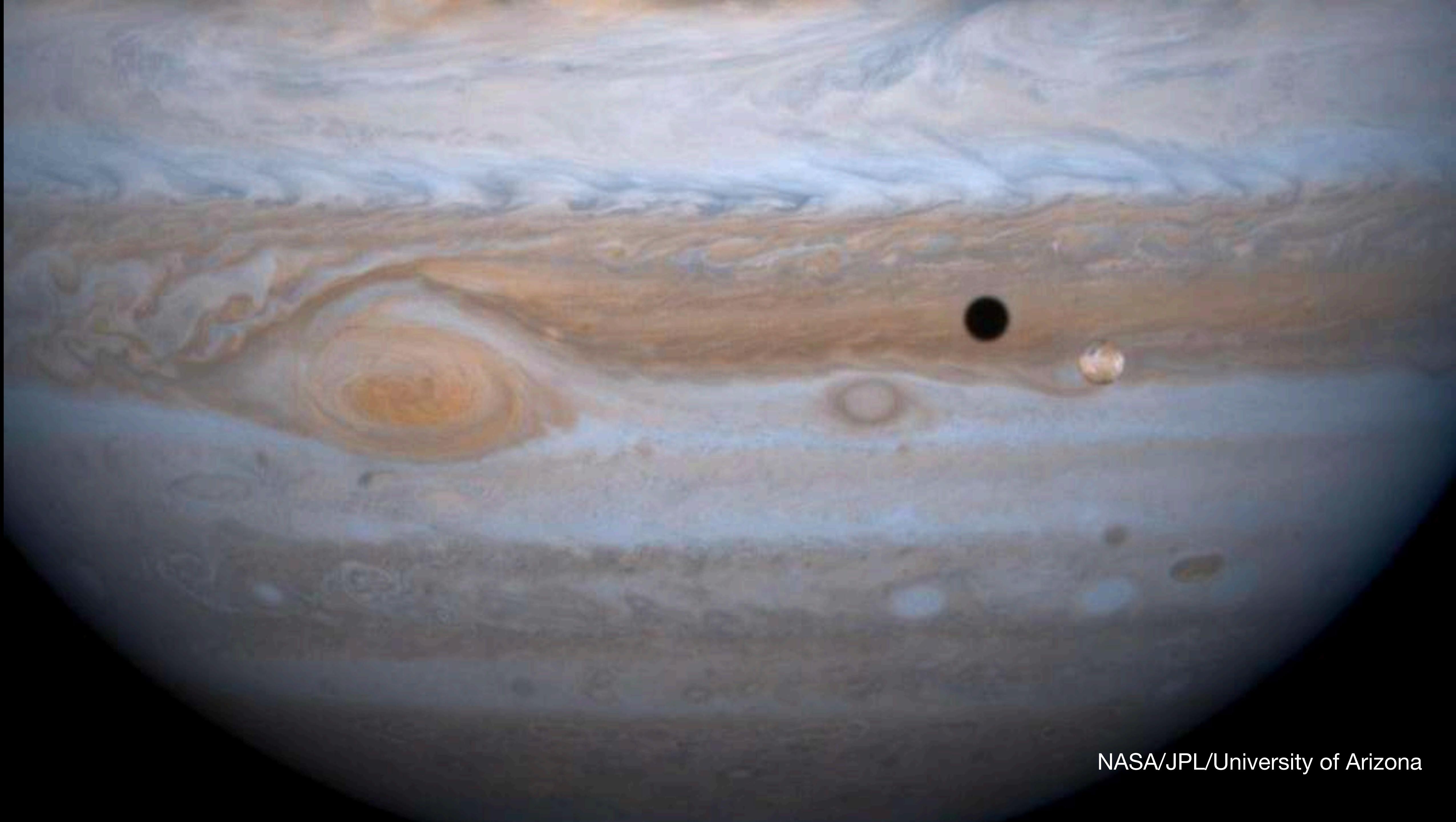








NASA/JPL



NASA/JPL/University of Arizona

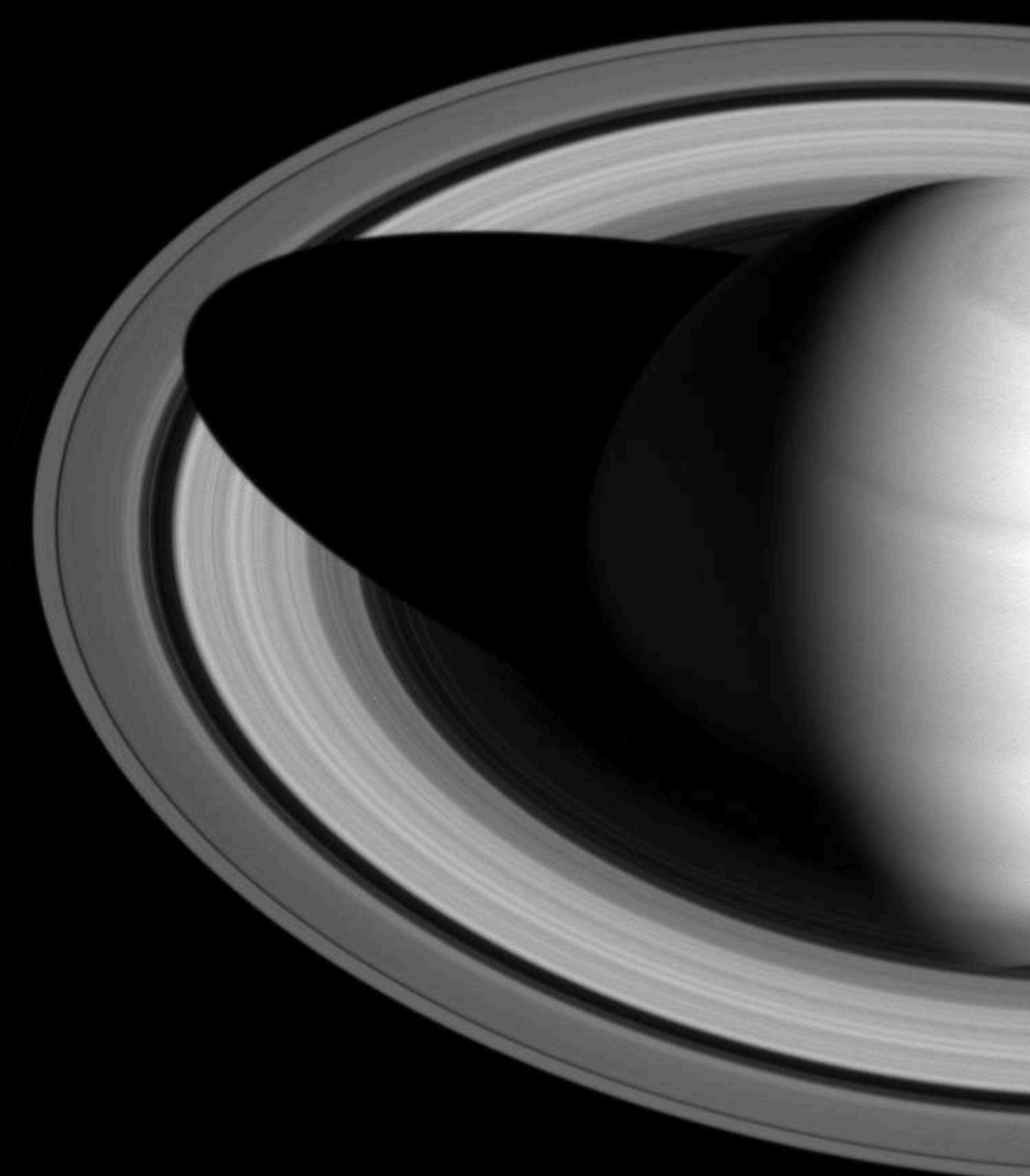


Imagen: Cassini Imaging Team, SSI, JPL, ESA, NASA



New Horizons / NASA JPL

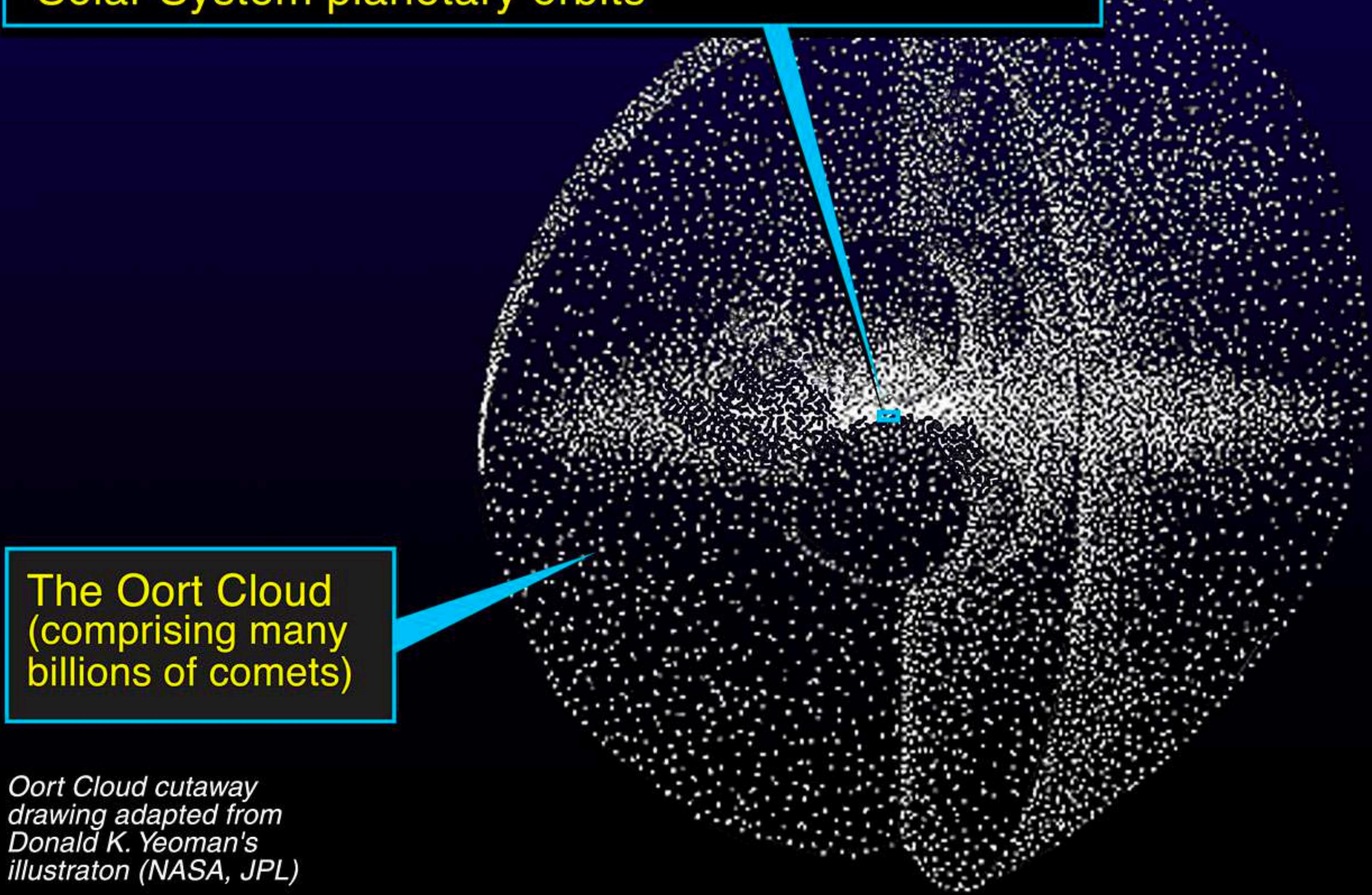
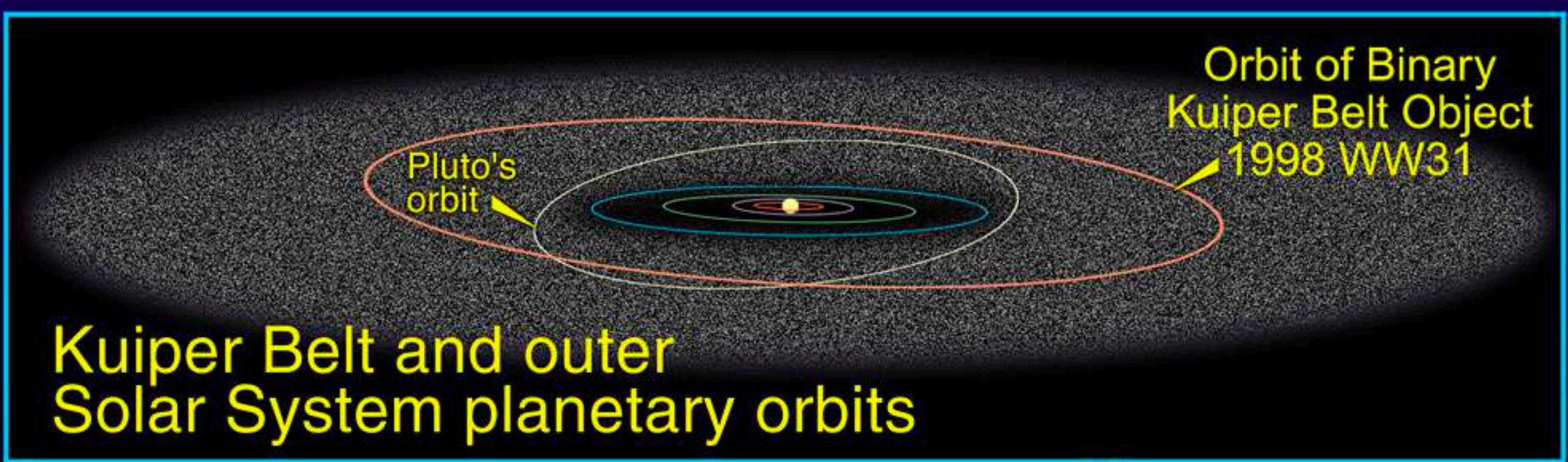
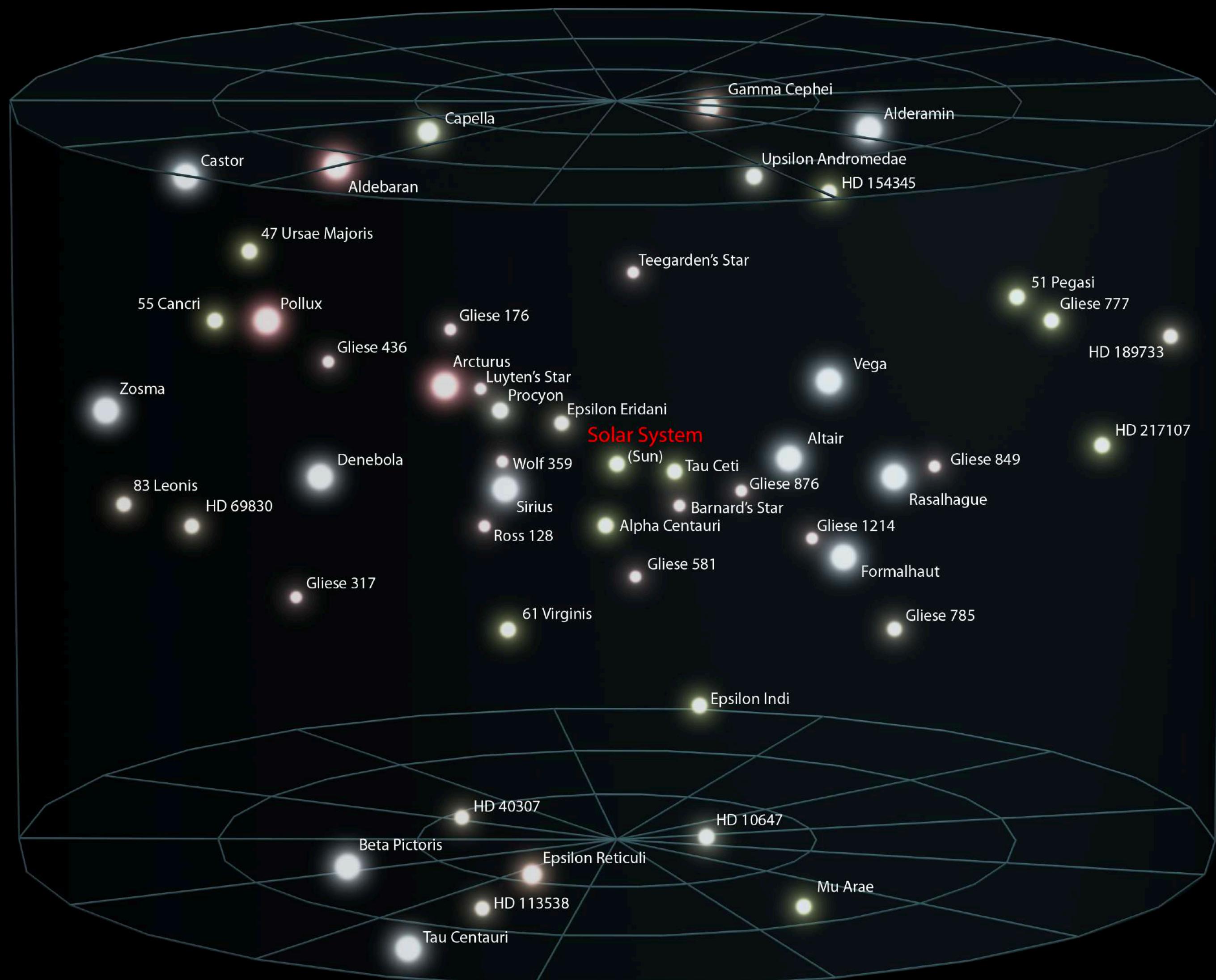




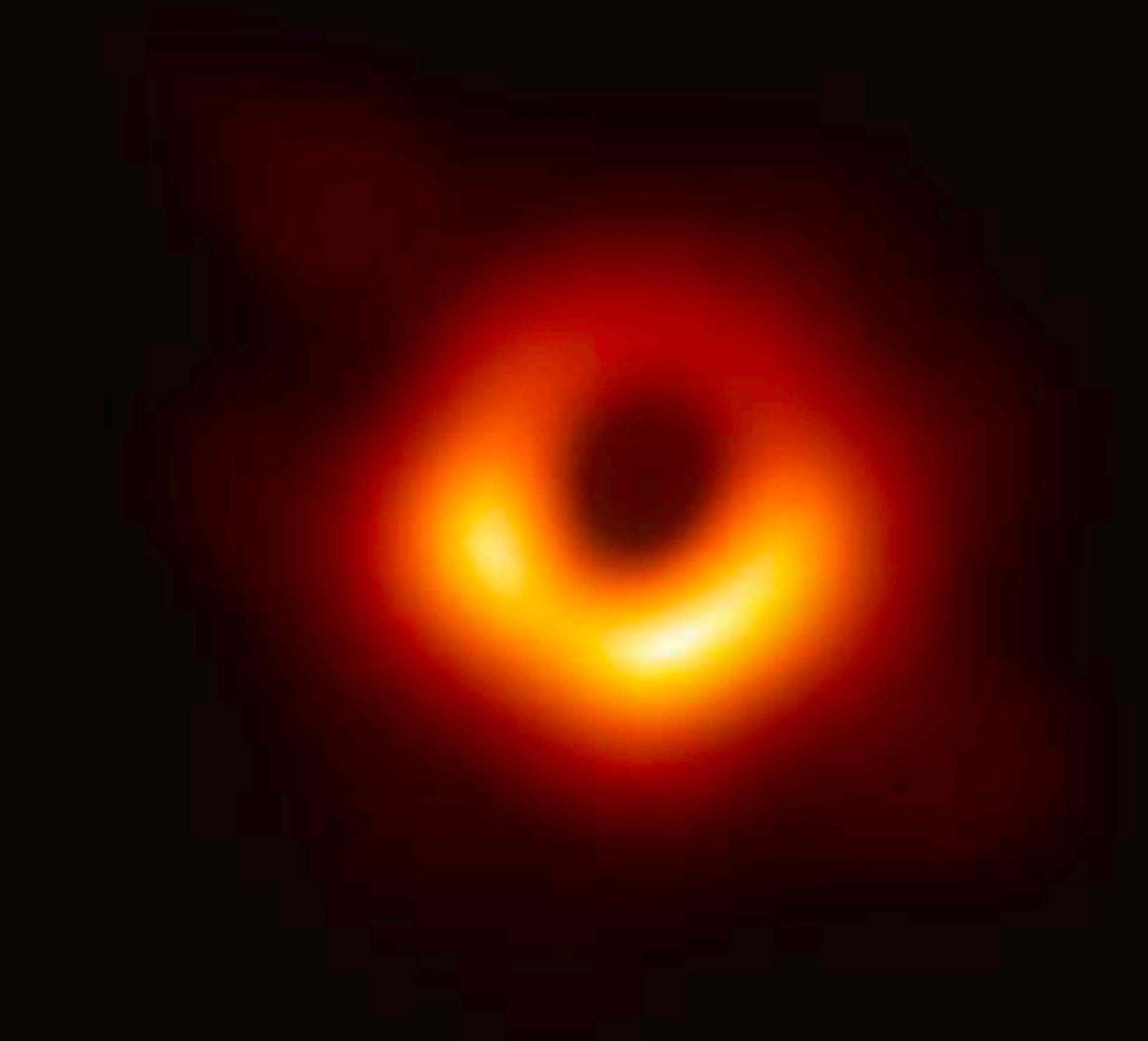
Ilustración Valentina Pérez  
*Cazadores de Eclipses*

# INTERSTELLAR NEIGHBORHOOD





Una galaxia espiral, muy como debe verse la Vía Láctea

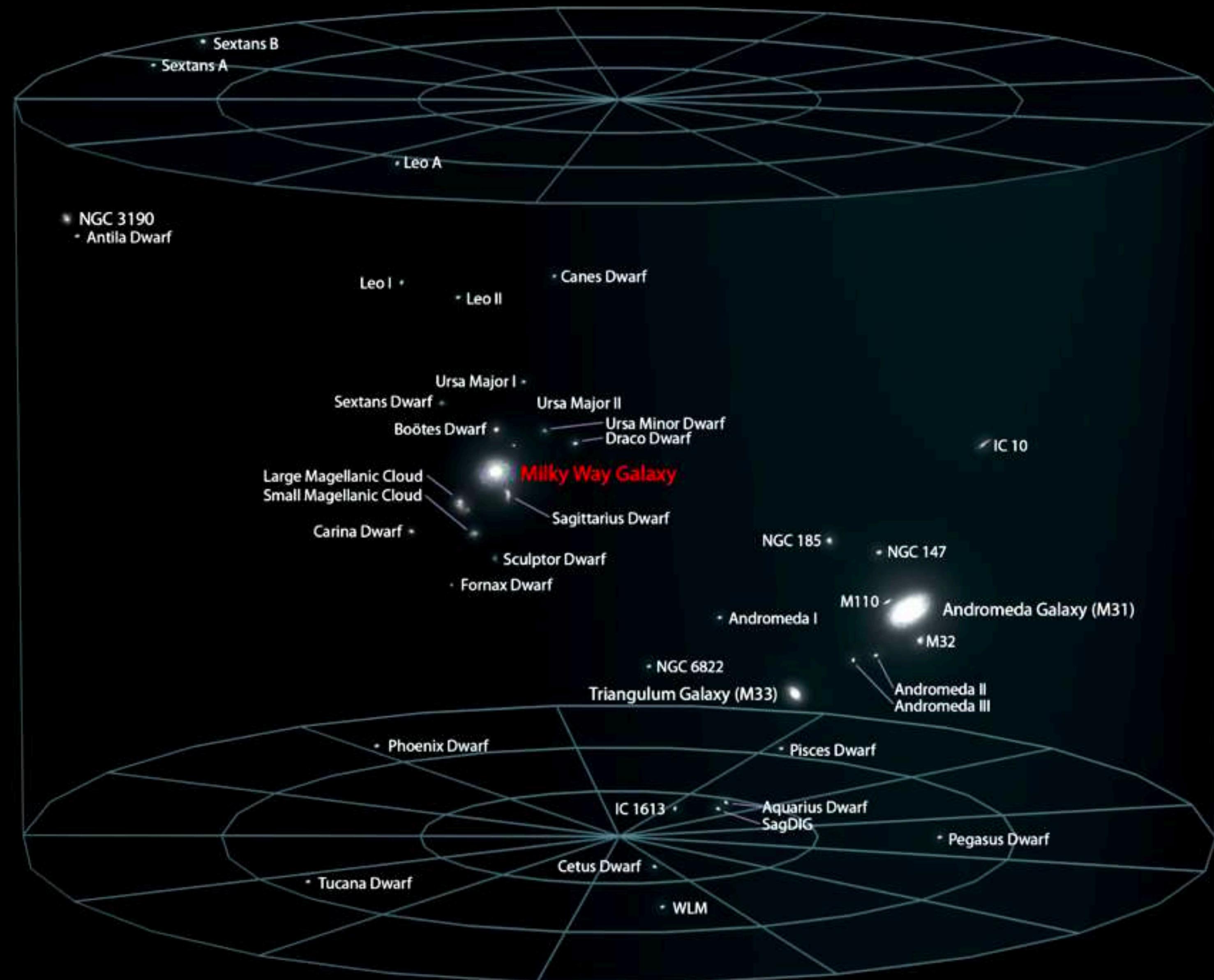


Agujero negro en el centro de M87, EHT



Halo de materia oscura, ESO/L. Calçada

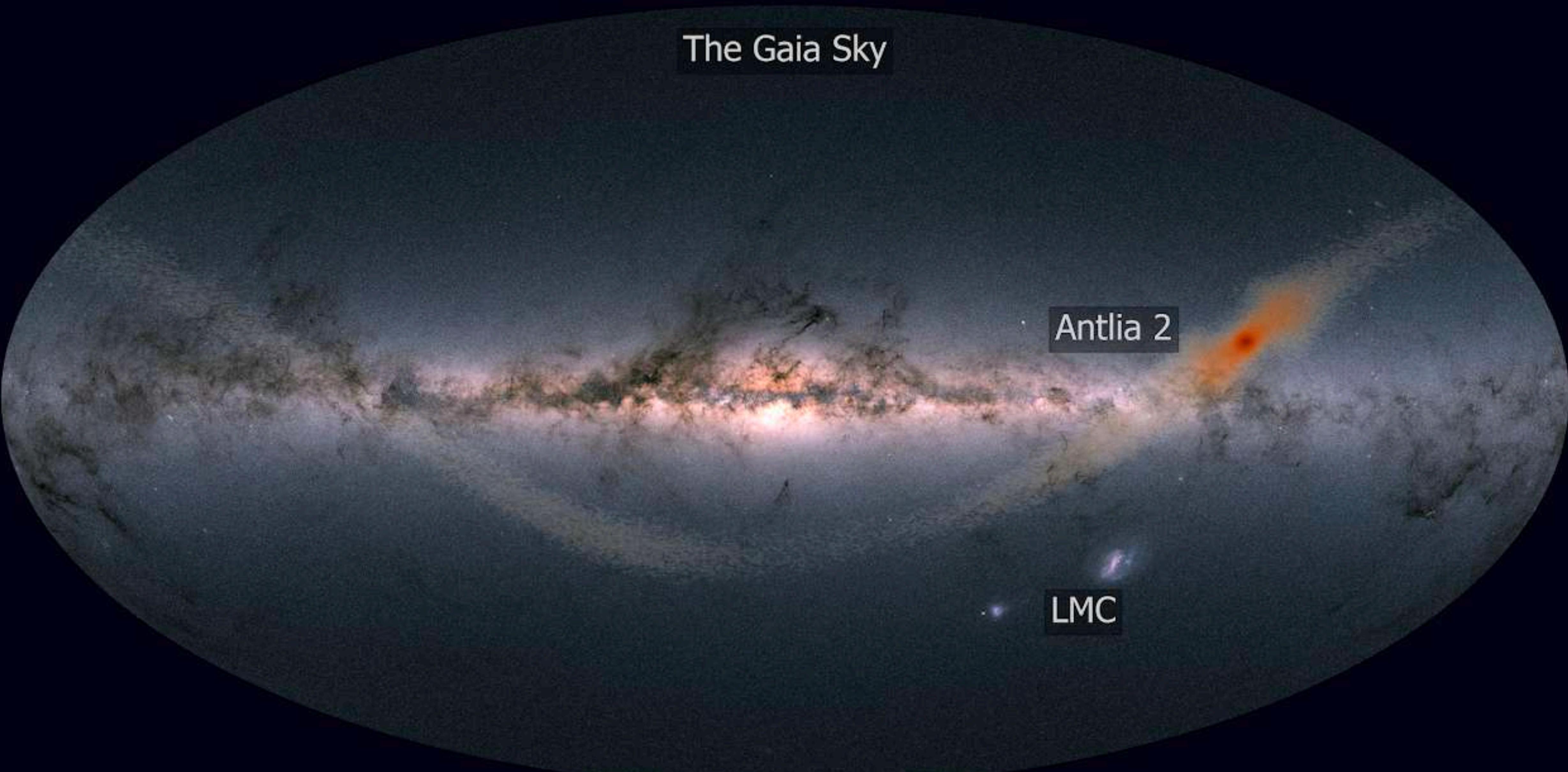
# Local Galactic Group





Galaxias satélite, Torrealba et al. 2019

# The Gaia Sky

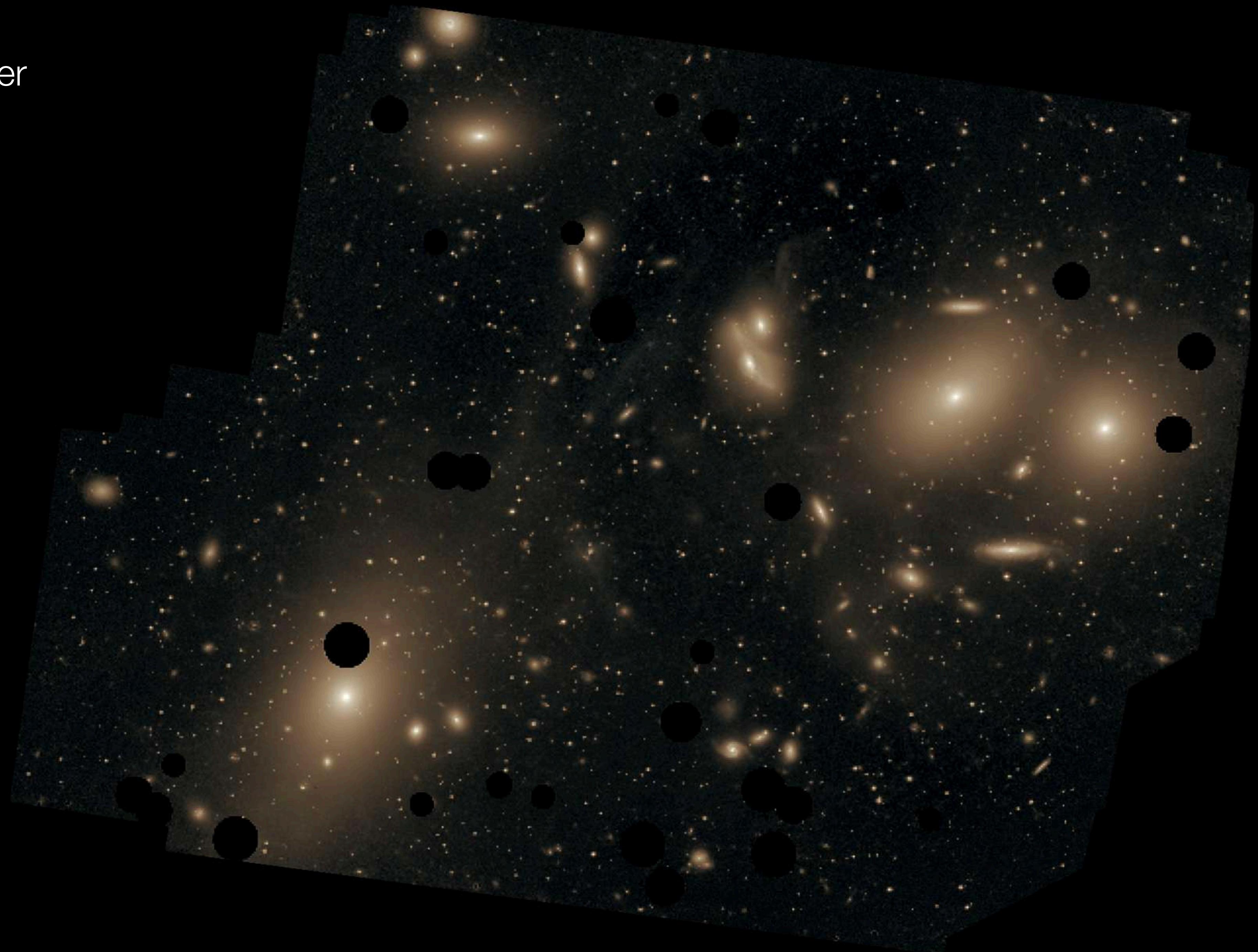


Antlia 2

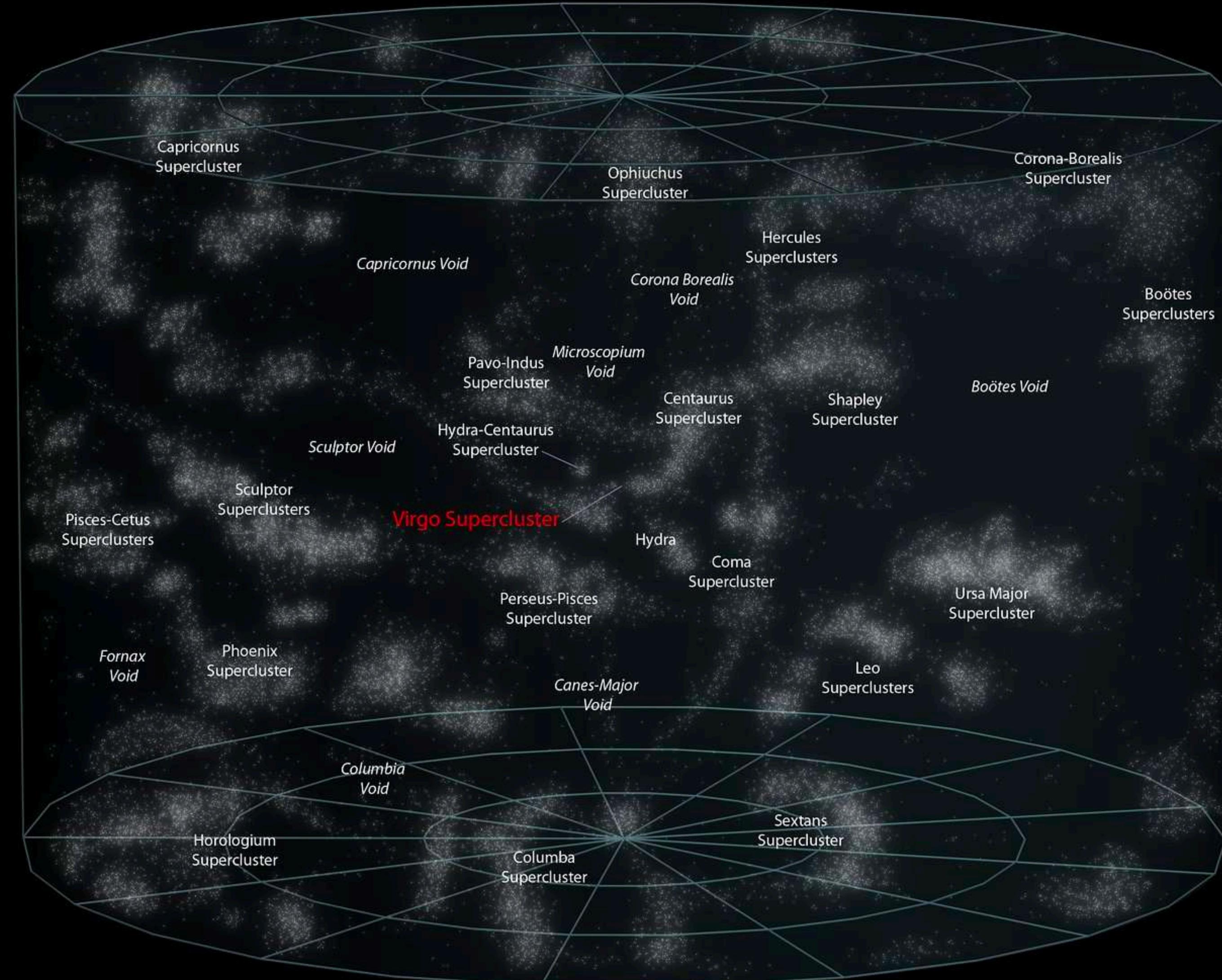
LMC

Visualización de J. Sanders (Cambridge, UK) based on Gaia data

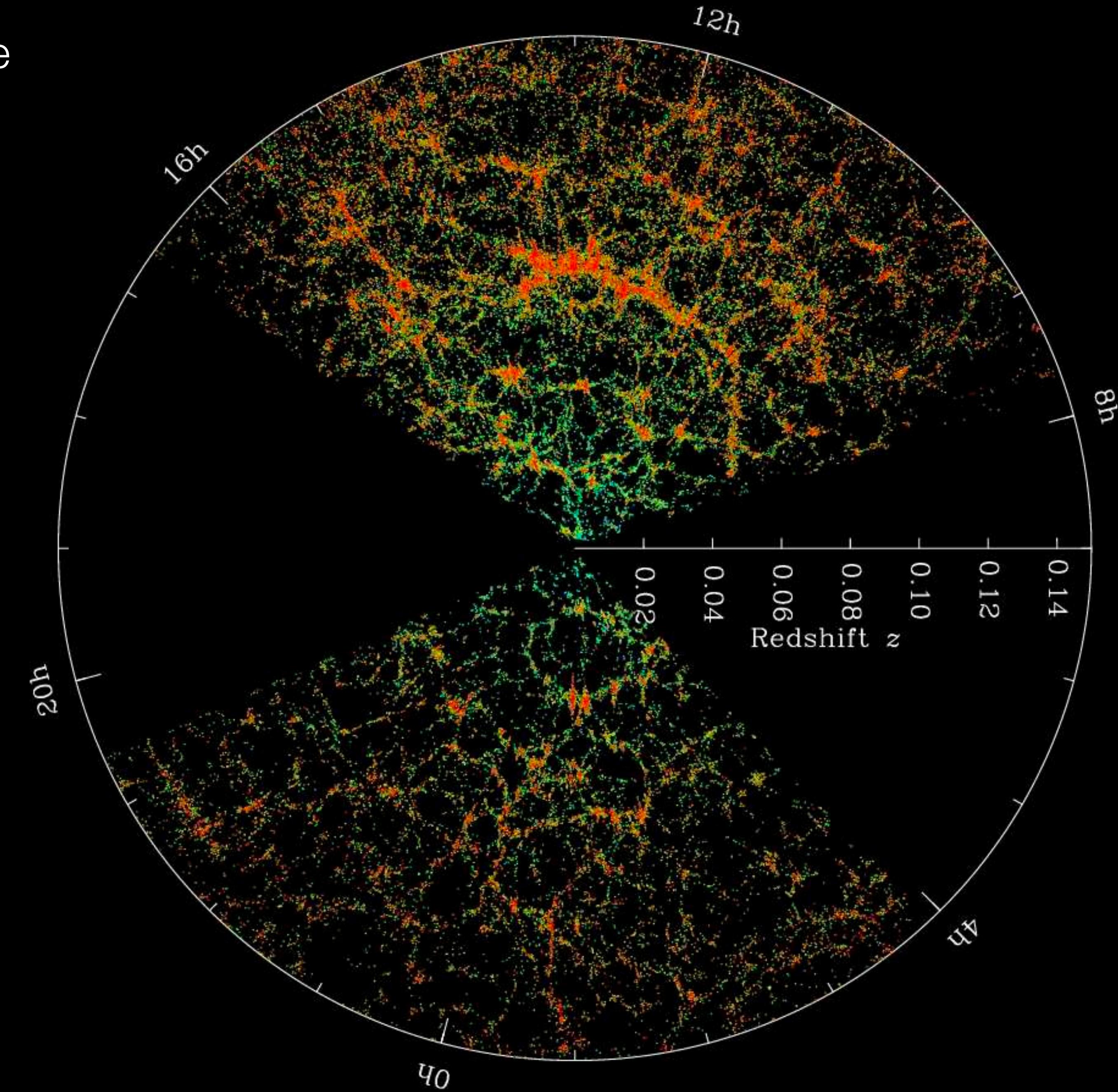
Virgo Cluster

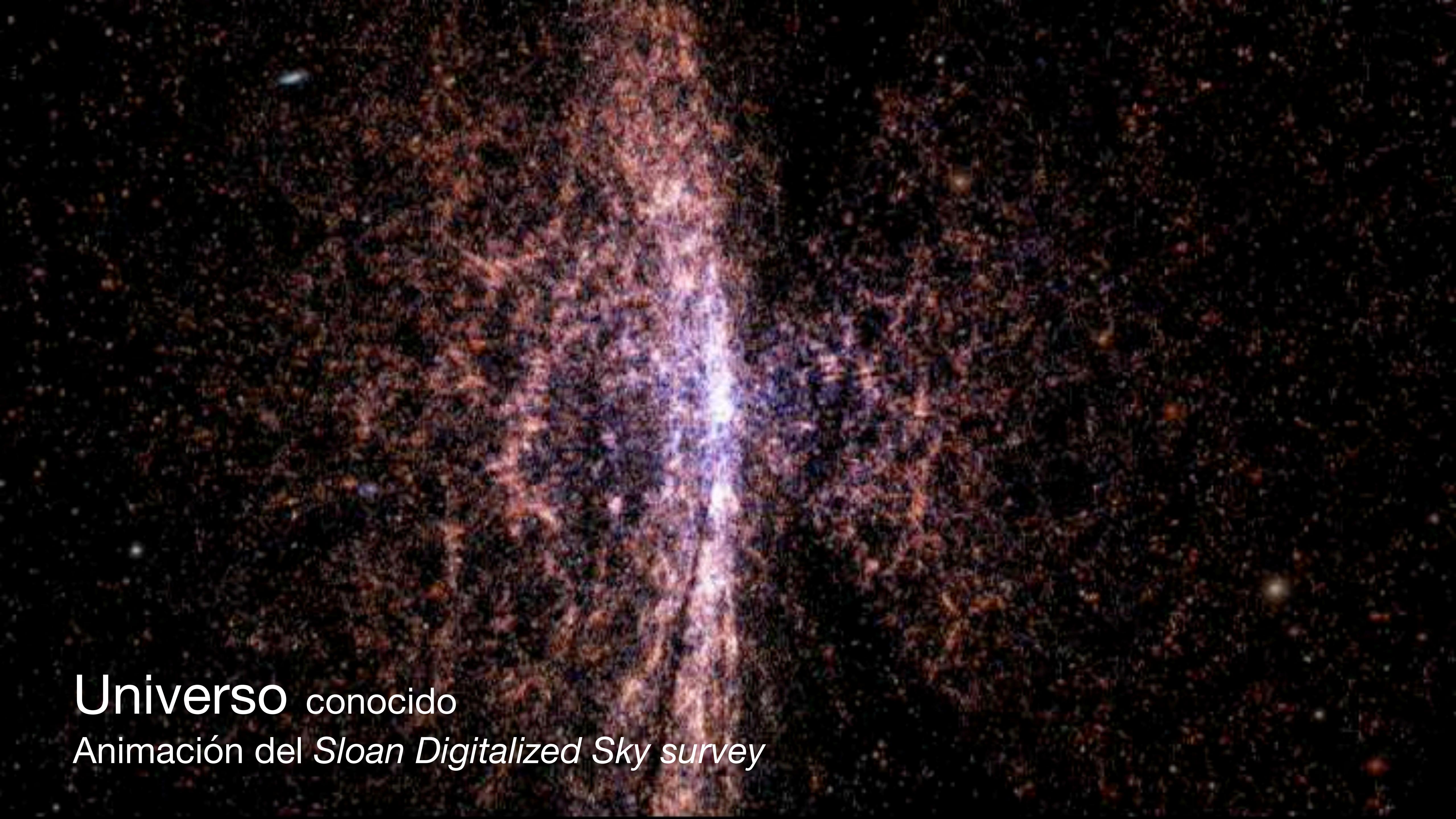


# Virgo Super Cluster



# Large Scale Structure





Universo conocido  
Animación del *Sloan Digitalized Sky survey*

# **Poster científico**

## **Desarrollo en etapas**

1. Propuesta [30%]. 24 abril
2. Avance [30%]. 15 mayo
3. Presentación final [40%]. 19 junio

- *Sagitario A\**  
*El agujero negro supermasivo en el centro de la Vía Láctea*
- *El objeto interestelar ‘Oumuamua*  
*Una visita misteriosa desde fuera del sistema solar.*
- *V960 Mon y la formación de planetas gigantes*
- *La tensión de Hubble*  
*¿Está el universo expandiéndose más rápido de lo que creemos?*
- *La heliosfera y las sondas Voyager*  
*Explorando los límites del sistema solar.*
- *Métodos de detección de exoplanetas*  
*Desde tránsitos hasta velocidades radiales.*
- *Subestructuras en discos protoplanetarios*  
*¿Estamos viendo planetas en formación?*
- *El microquásar SS433: Un laboratorio natural para estudiar jets relativistas.*
- *Tecnologías innovadoras en el Extremely Large Telescope (ELT)*  
*El futuro de la astronomía desde tierra.*
- *Cinturón de Gould: ¿mito o estructura real?*  
*Una misteriosa distribución de estrellas jóvenes cerca del Sol.*
- *Pulsar timing y búsqueda de ondas gravitacionales*  
*Cómo los pulsares nos ayudan a detectar el universo invisible.*
- *Sistema binario de rayos gamma: pulsar + estrella Be*  
*Una pareja estelar con emisiones de altísima energía.*
- *Discos de acreción alrededor de agujeros negros*  
*Estructuras clave para entender cómo crecen estos monstruos cósmicos.*



Introducción a la Astrofísica 2025

# Clase 3: El contexto territorial de la astronomía en Chile



DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

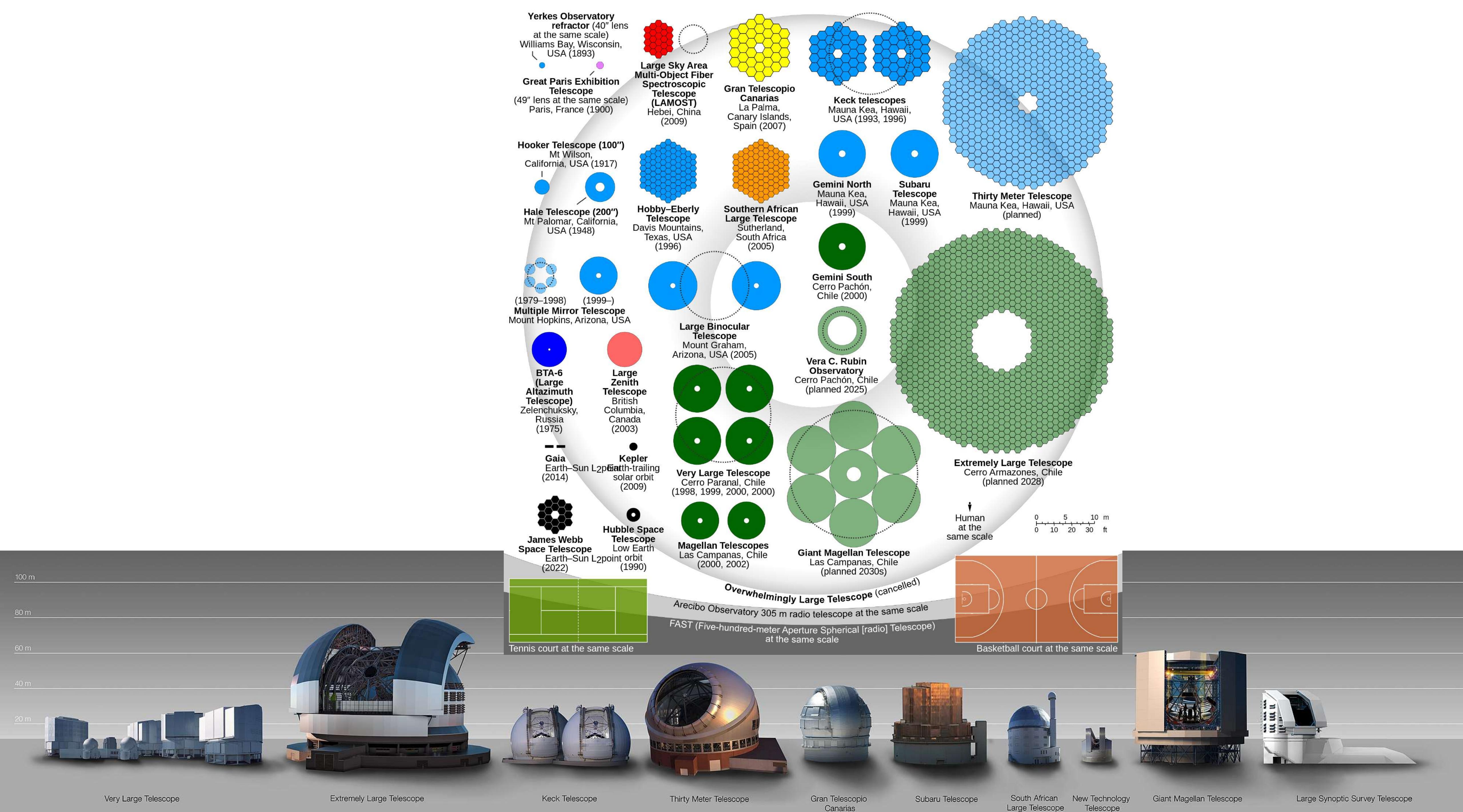
Hoy estamos haciendo astrofísica desde  
un territorio con tradición en  
observación astronómica.

Chawareche  
Combarbalá





Foto: Luca Vanzella



# Chile: a multicultural country with a long tradition of observing the Universe

~10% of the population is indigenous.

>4000 Mapuche communities

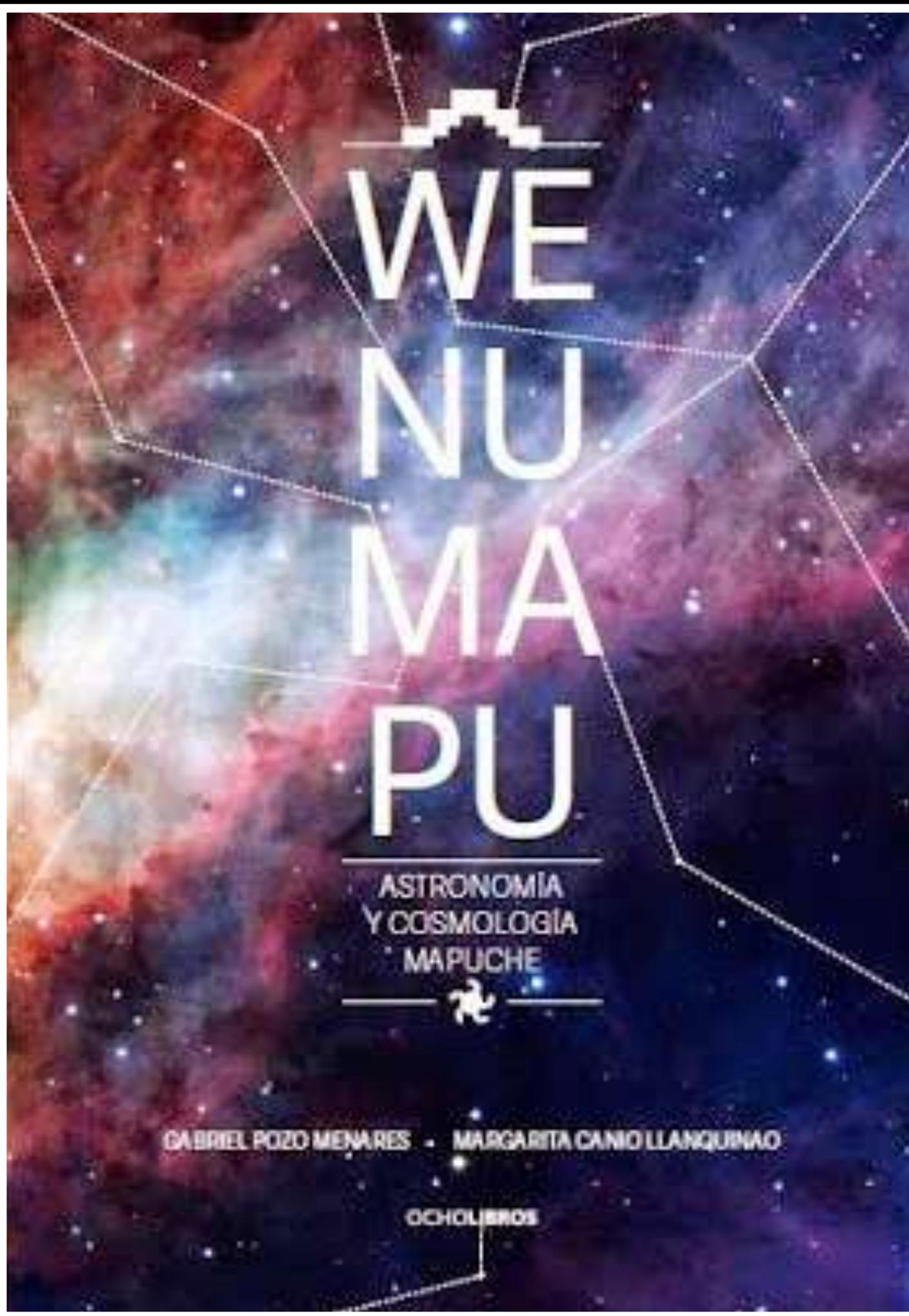
>100s of Aymara, Diaguita, Quechua, Lickan Antay and Colla communities in the Atacama desert (where the telescopes are)

plus many more: Rapa Nui, Kawésqar, Yagán, and others.



# Algunos datos

- 1843: Observatorio de Mouat en Valparaíso
- 1965: Cerro El Roble
- ESO y AURA se instalaron a mediados de los 1960s
- 1967: Tololo
- 1969: La Silla
- El famoso 10%
- Decadal survey astro2020

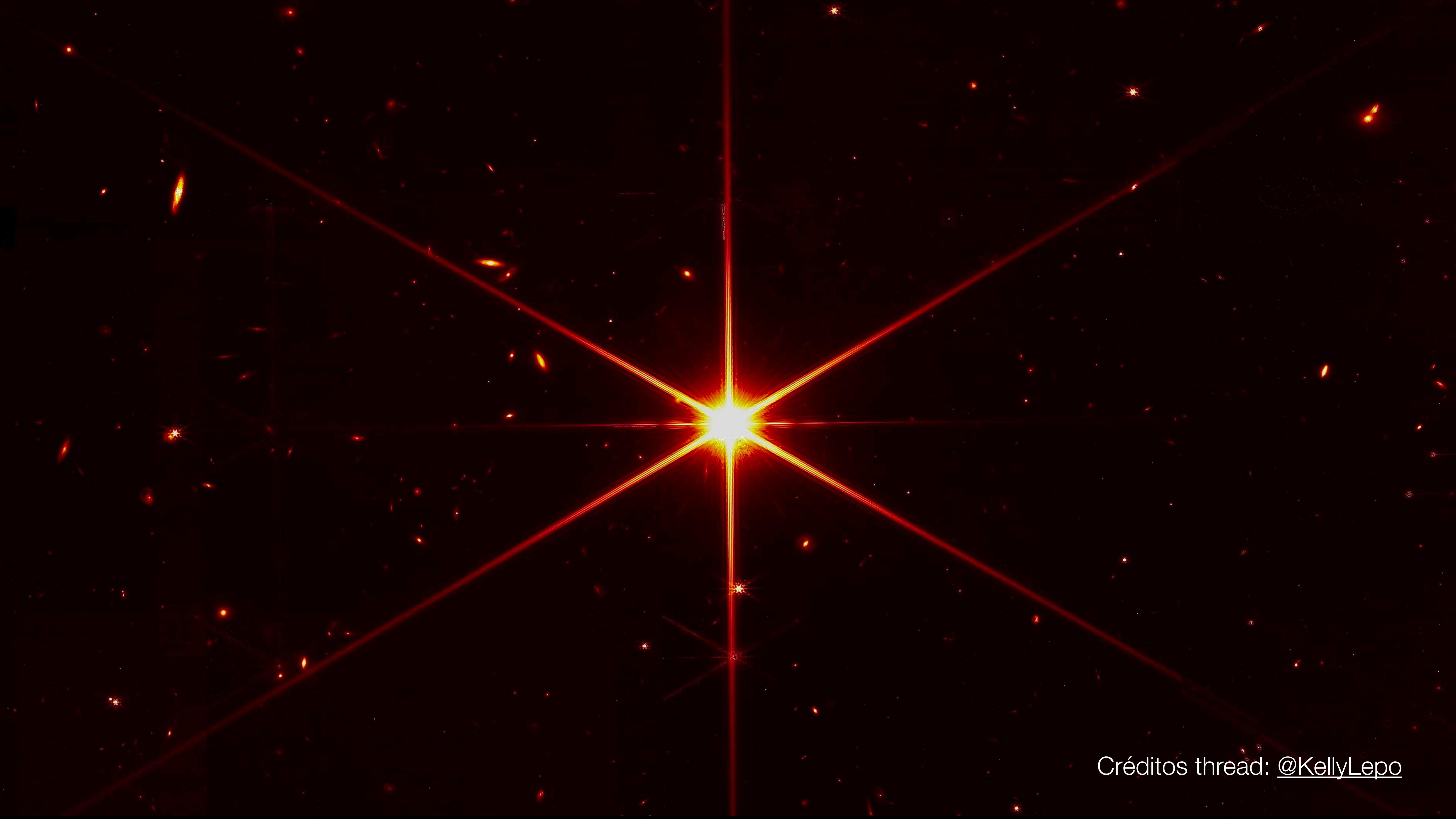


# WENUMAPU

Gabriel Pozo Menares  
Margarita Canio Llanquinao

- 1) Elementos visibles del cielo
- 2) Tradición Oral:
  - A. NUTRAM
  - B. PIYAM
  - C. PEWMA

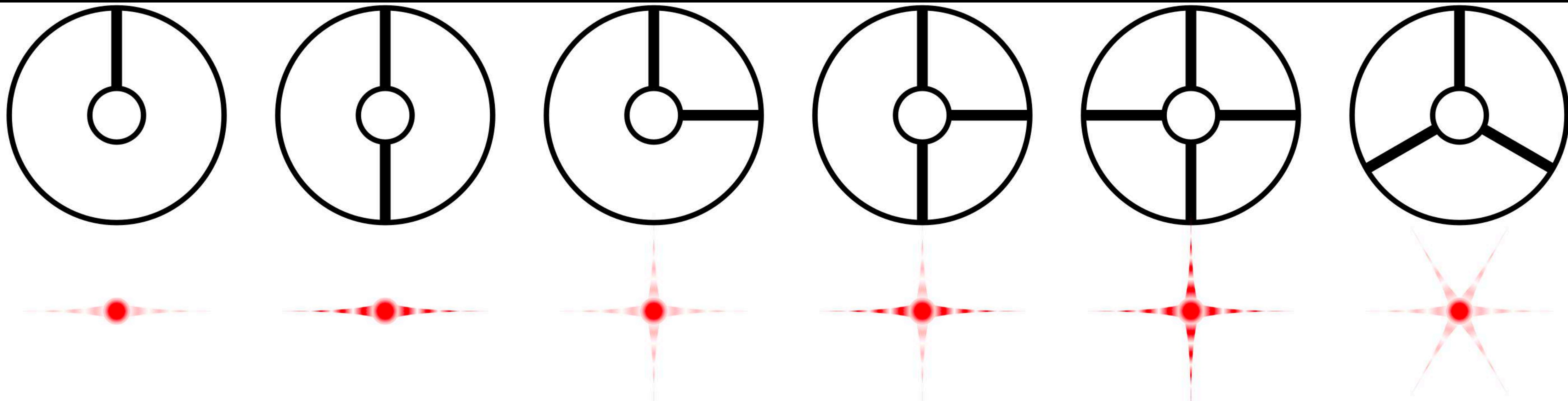
Bonus: primera imagen de calibración del *JWST*



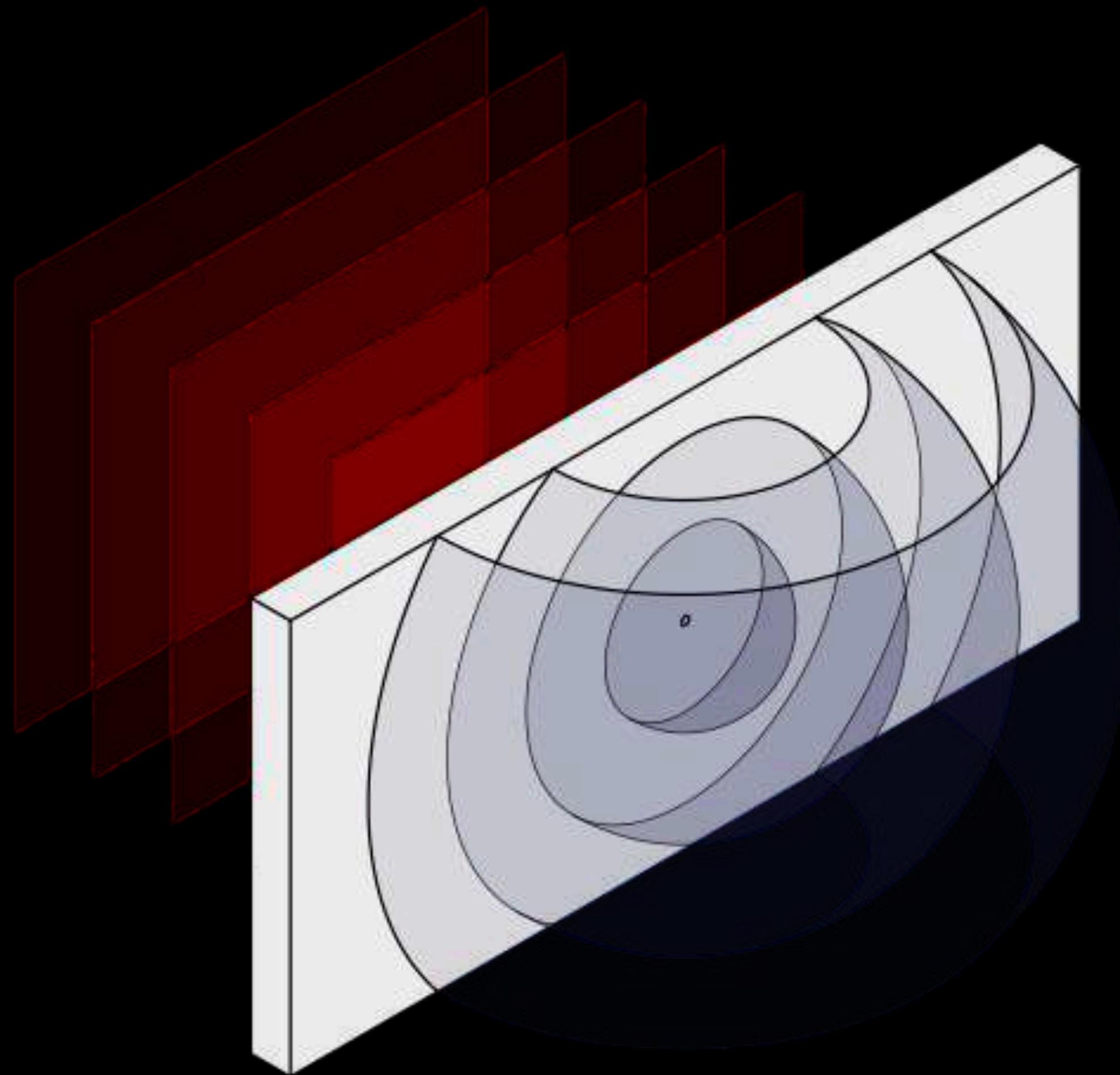
Créditos thread: [@KellyLepo](#)

Usually stars in astronomical photographs have points, because light interacts with the support beams for the secondary mirror. These are called "diffraction spikes".

Here are diffraction spikes for various strut arrangements of a reflecting telescope.

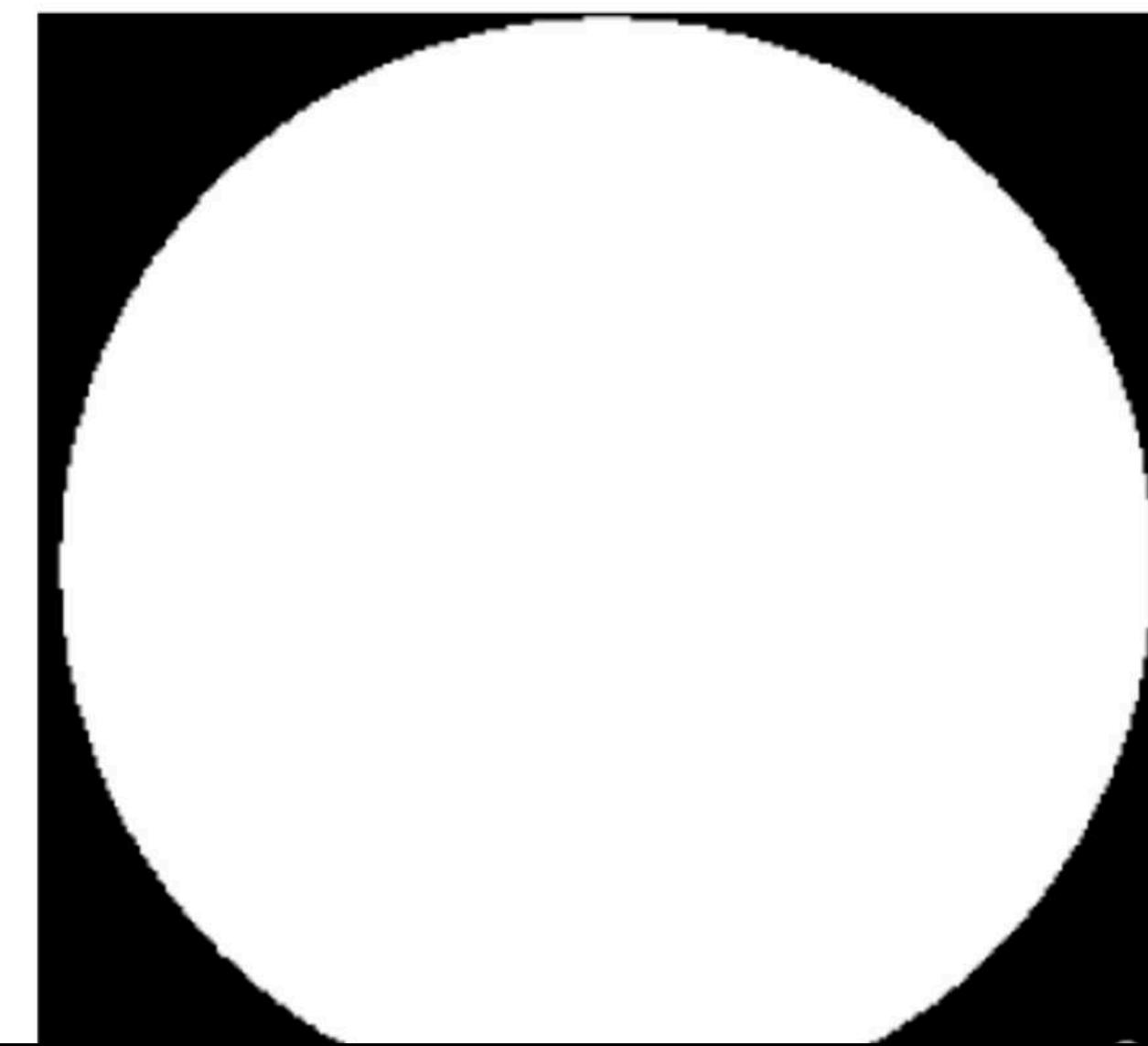


Whenever waves encounter an opening (an aperture), they will constructively and destructively interfere with one another, in a process called diffraction. We can model this for different types of apertures.

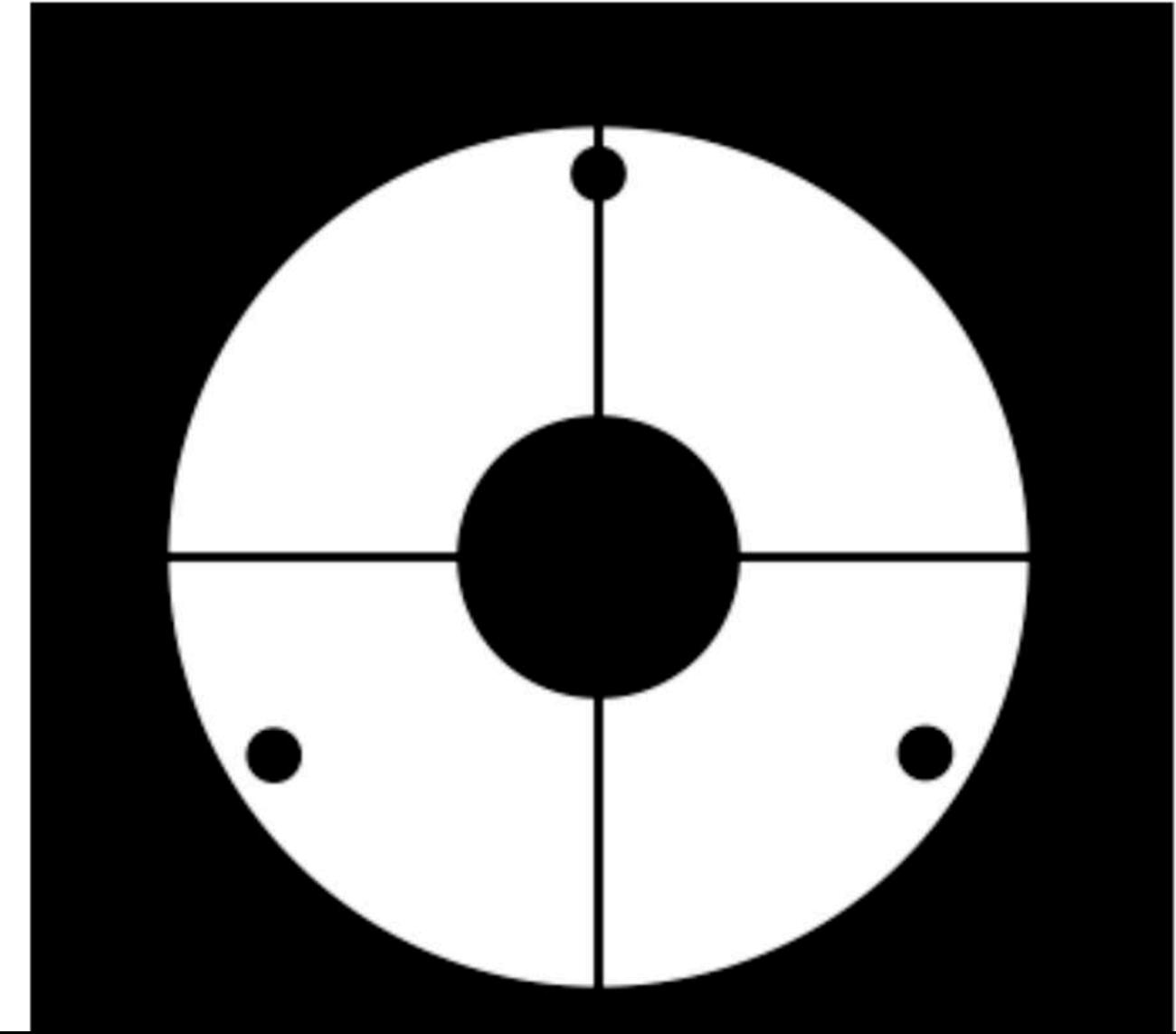


# Aperture

# Circle

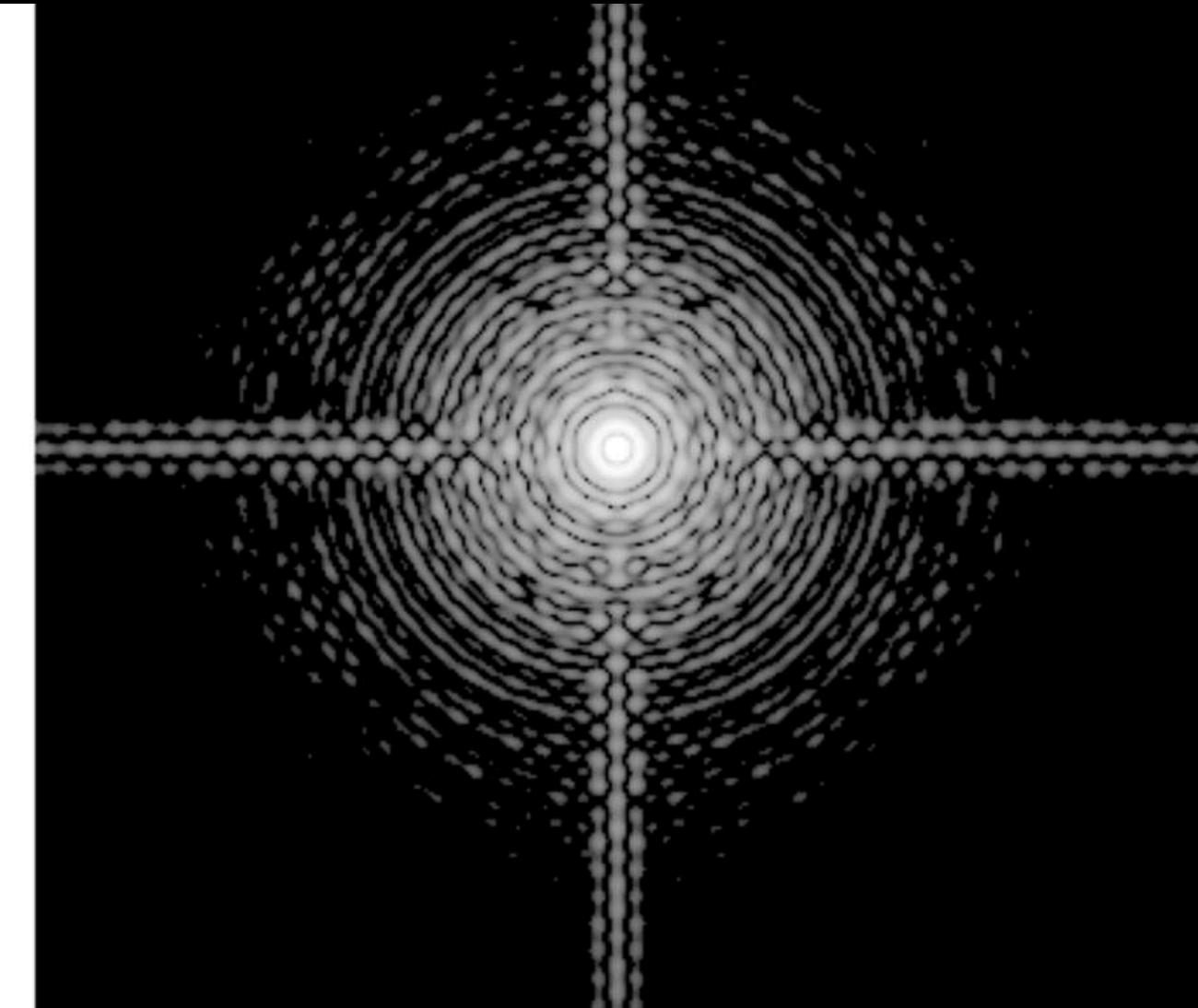
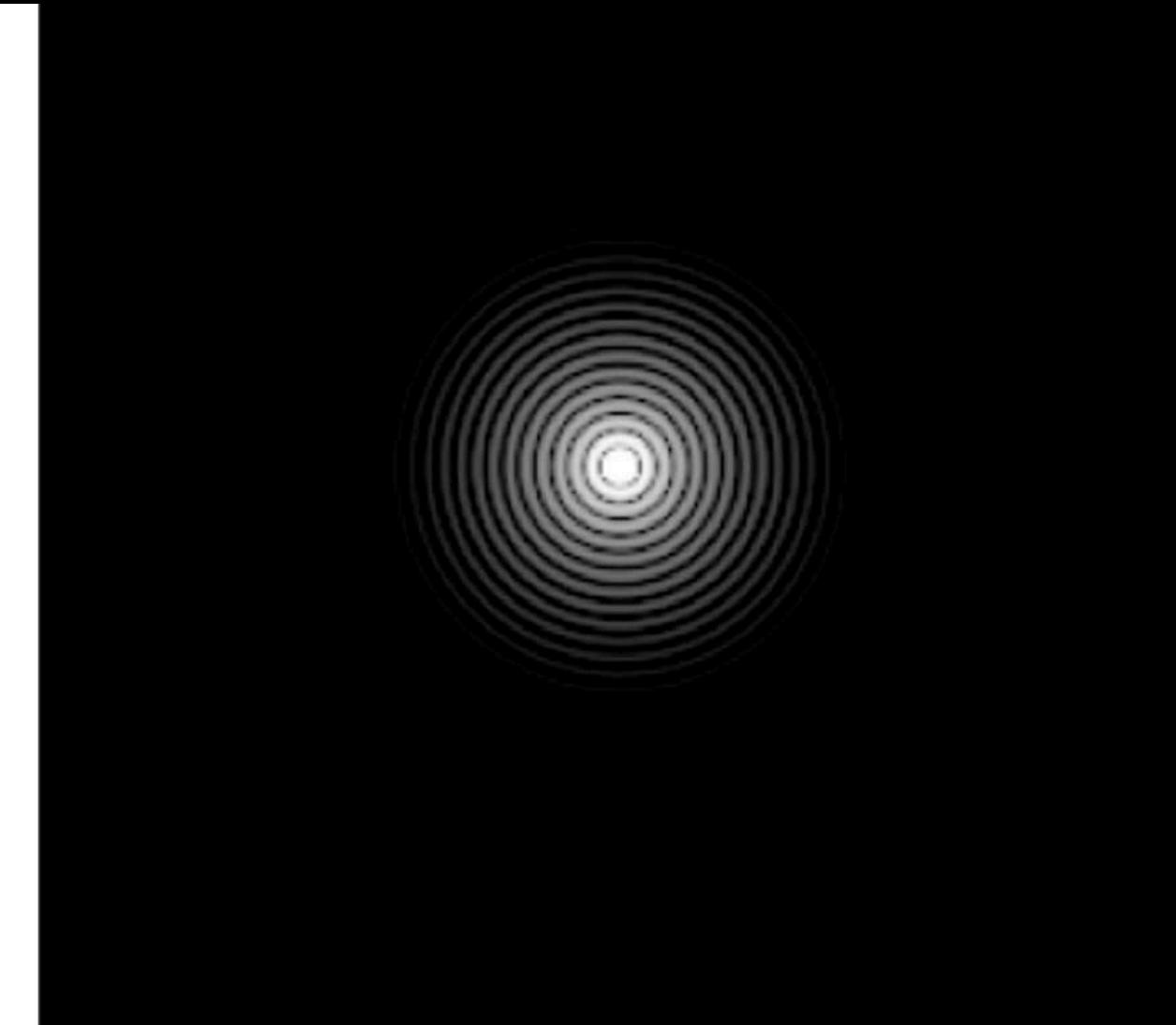


# Hubble

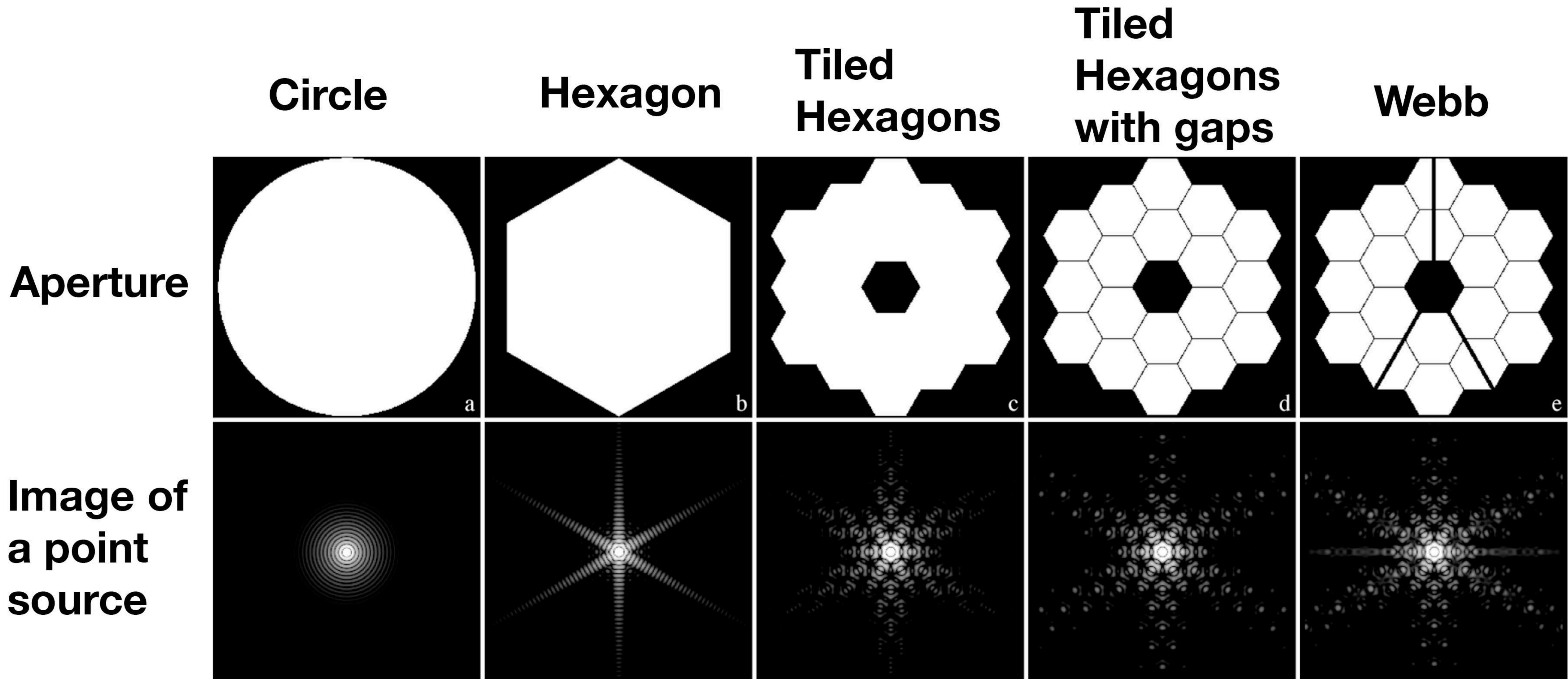


The diffraction spikes we see in Hubble images are mostly caused by the struts holding up the secondary mirror. Here we see a model of the Hubble telescope aperture, and the resulting diffraction pattern of light seen in point sources (like stars)

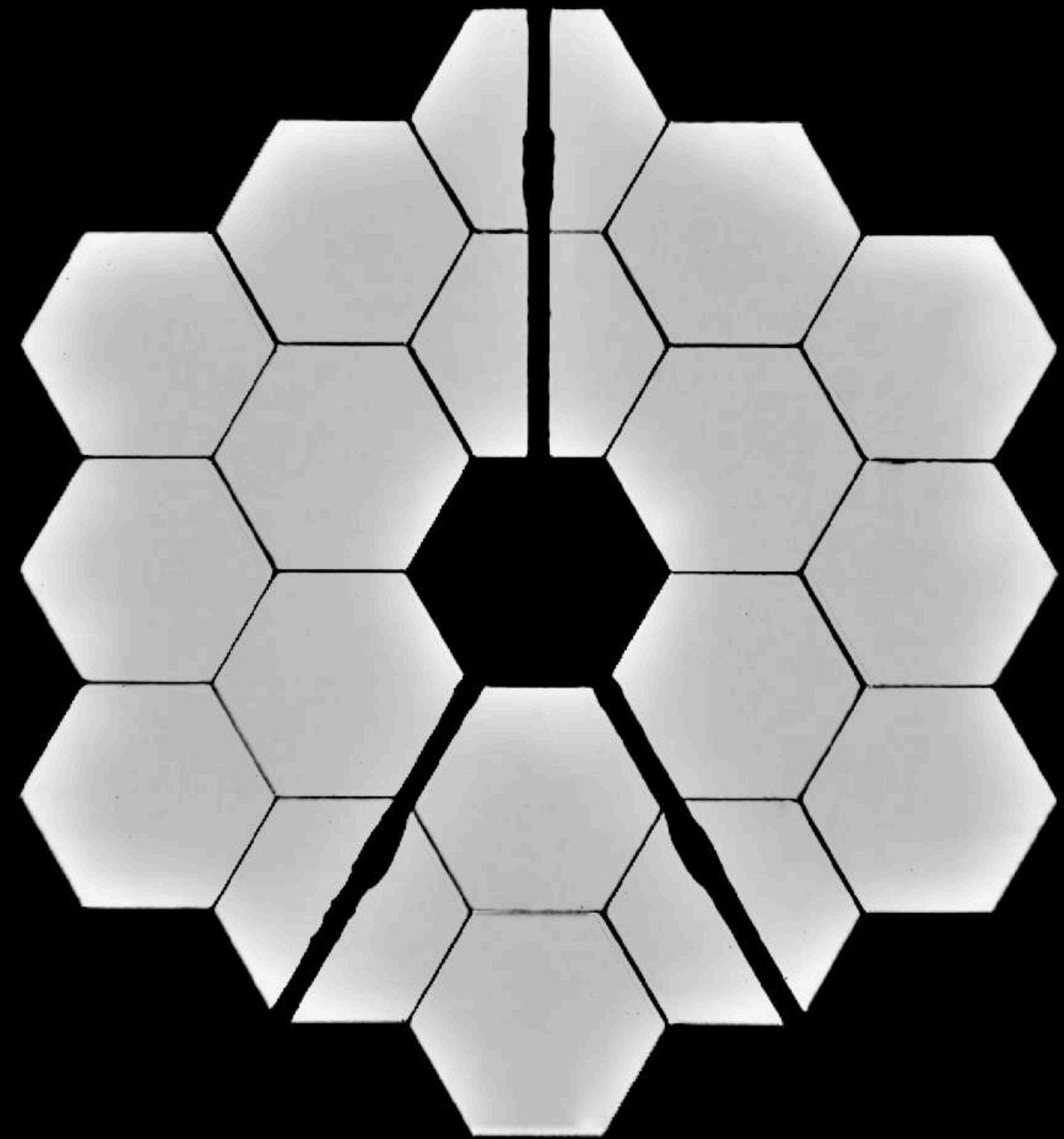
# Image of a point source



However this is not the case for Webb! The snowflake pattern you see in the Webb image comes mostly from its hexagonal shape (with a smaller contribution from the secondary mirror support)



NIRCAM ALIGNMENT SELFIE



TELESCOPE ALIGNMENT EVALUATION IMAGE

