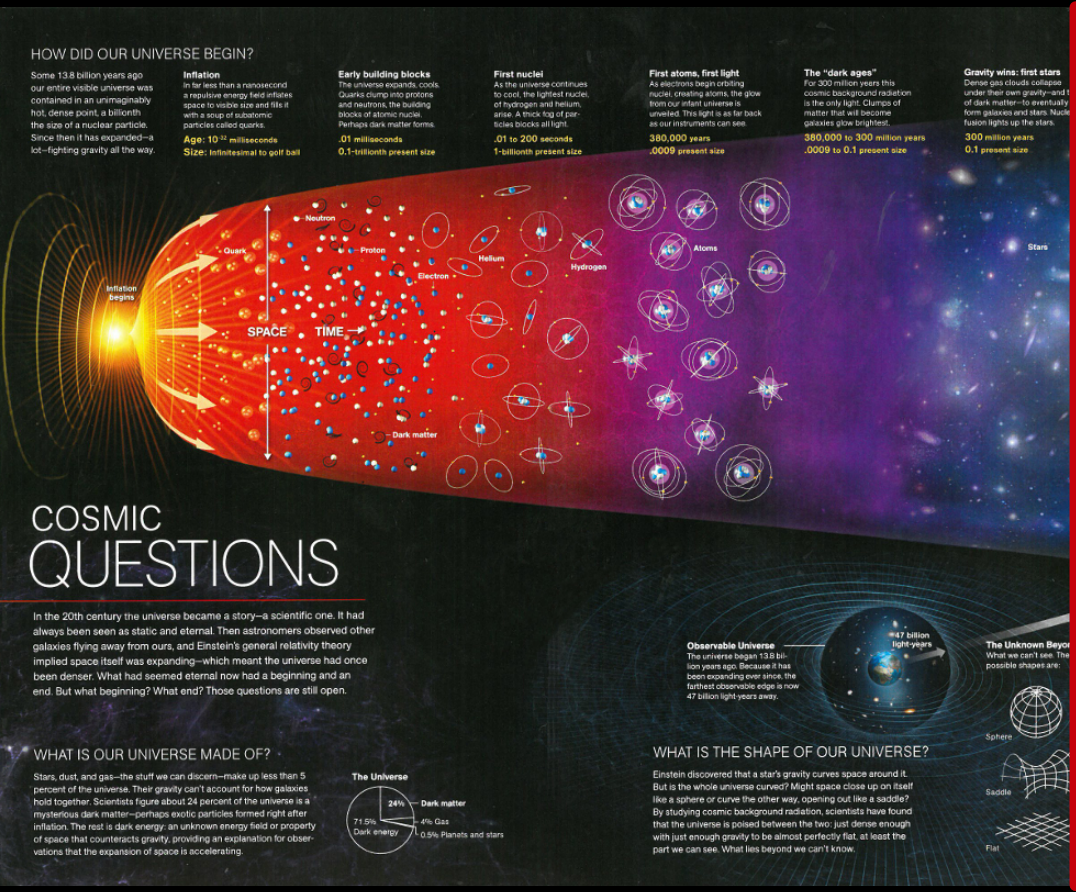
Universidad Nacional de Río Negro
Int. Partículas, Astrofísica & Cosmología - 2016

- **Unidad** 03 – Astrofísica 2
- **Clase** 0301 – 10/16
- **Fecha** 27 Oct 2016
- **Cont** Sistemas Planetarios
- **Cátedra** Asorey
- **Web** github.com/asoreyh/unrn-ipac
- **Youtube** próximamente
- **Archivo** a-2016-U03-C01-1027-sistemas-planetarios

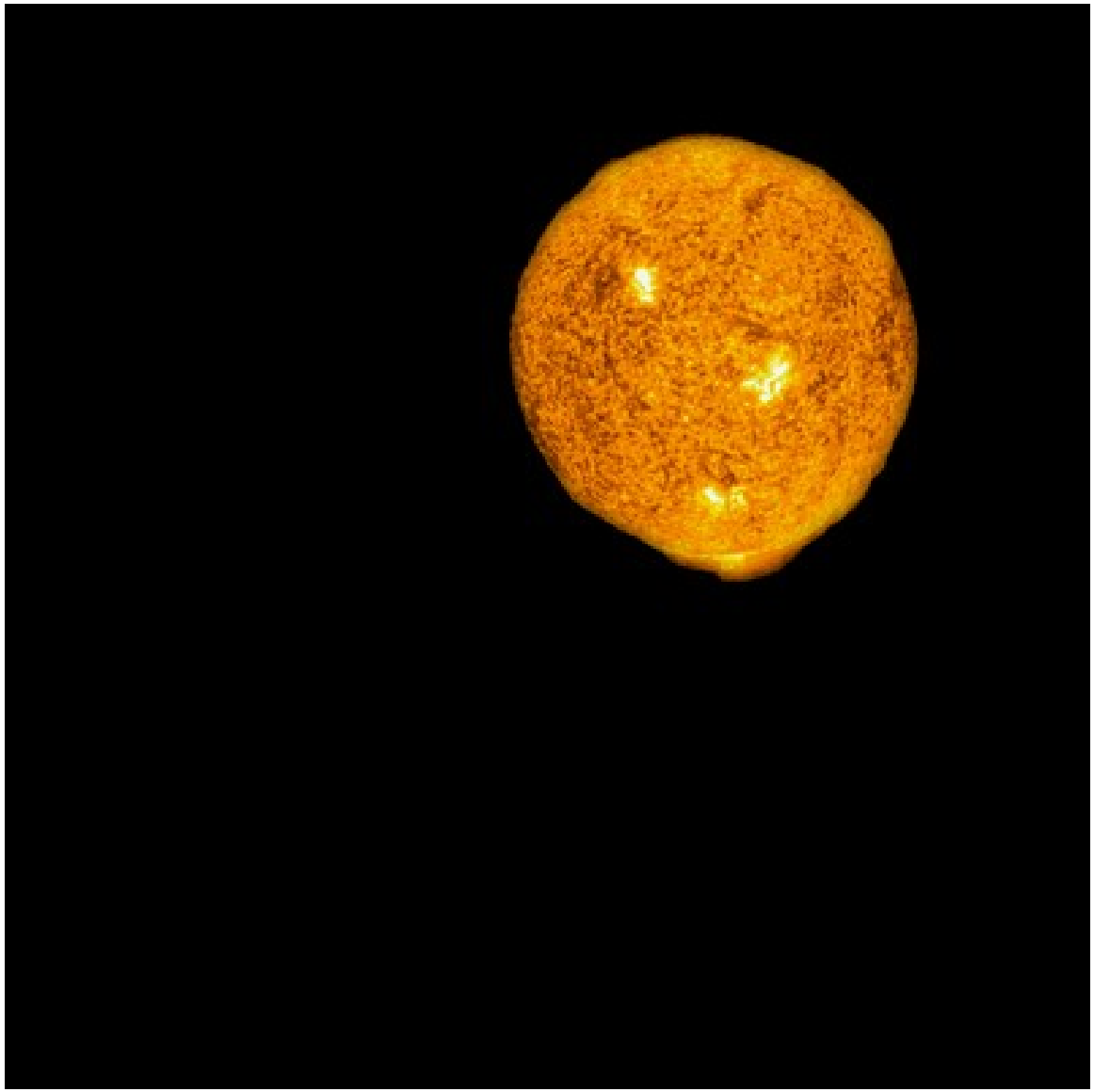
Contenidos: un viaje en el tiempo



Temas de monografía para trabajo final algunas ideas, lista no excluyente

- Cosmogonía de los pueblos originarios (elegir alguno)
- Cosmogonía y Constelaciones
- Evolución estelar (vida y obra de las estrellas)
- Objetos compactos (enanas blancas, estrellas de neutrones, agujeros negros)
- Ensayo sobre posibilidades de vida en Europa (luna de Júpiter)
- Vida basada en Amoníaco como disolvente
- El Galaxyzoo: principales resultados
- Otras Tierras: exoplanetas similares a la Tierra
- El impacto de Galileo Galilei en la concepción moderna de la Astronomía
- Spirit, Opportunity y Curiosity: explorando la superficie de Marte
- La sonda Cassini-Huygens: Saturno y Titán
- El Big Bang

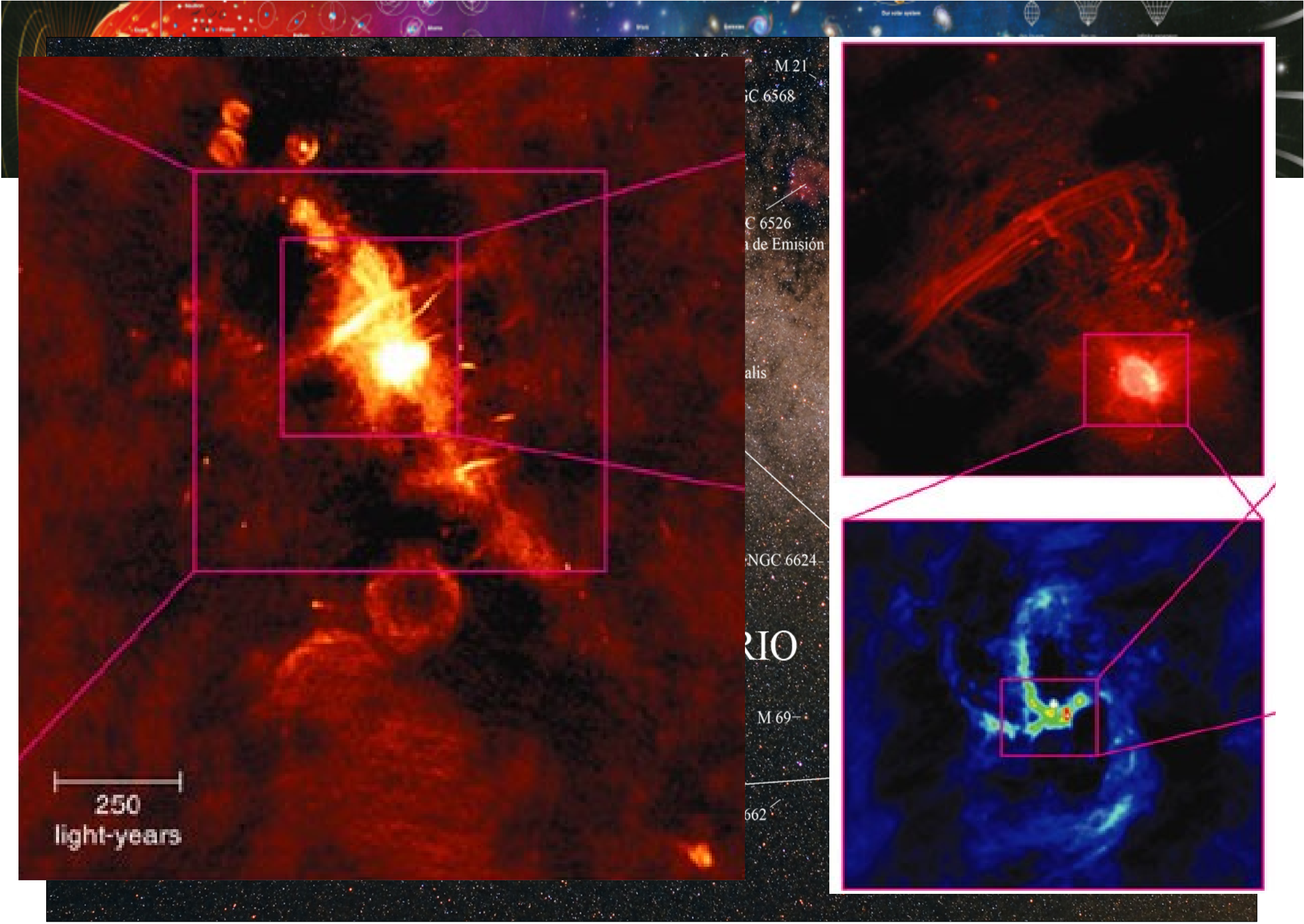
Paradoja de Olbers

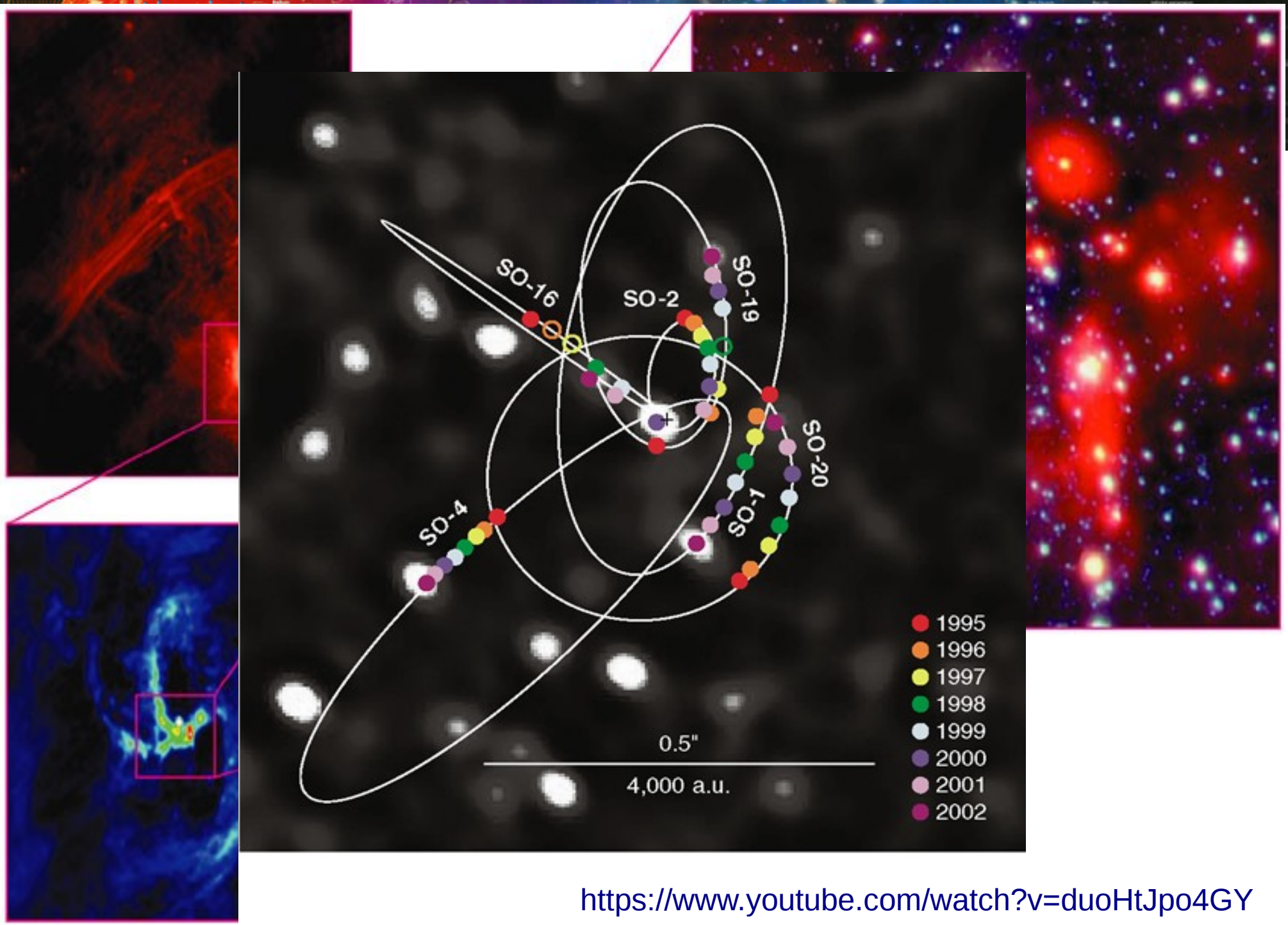


- No hay infinitas estrellas
- Hay absorción en el espacio

La Vía Láctea desde Cerro Paranal

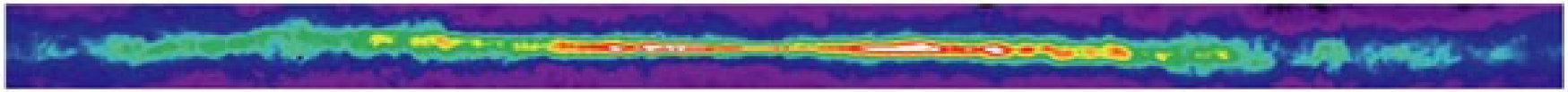
Inclinada ~60°, respecto del Ecuador Celeste


M 21
C 6568
C 6526
de Emisión
alis
NGC 6624
RIO
M 69
662
250
light-years

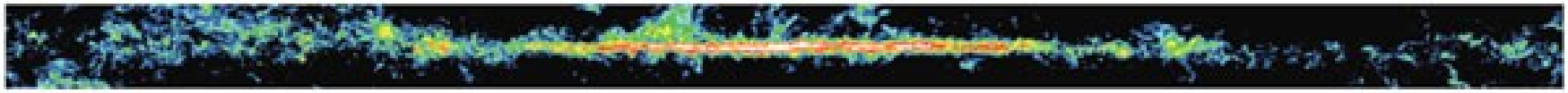


https://www.youtube.com/watch?v=duoHtJpo4GY

© 2005 Pearson Education, Inc., publishing as Addison Wesley



a 21-cm radio emission from atomic hydrogen gas.



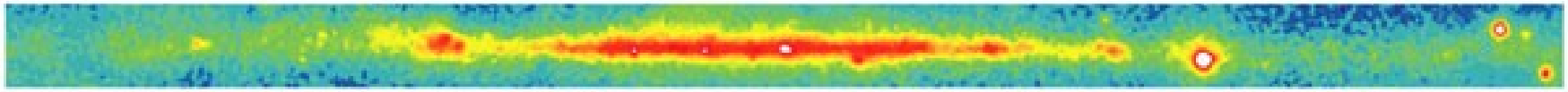
b Radio emission from carbon monoxide reveals molecular clouds.

c Infrared (60–100 μm) emission from interstellar dust.

d Infrared (1–4 μm) emission from stars that penetrates most interstellar material.

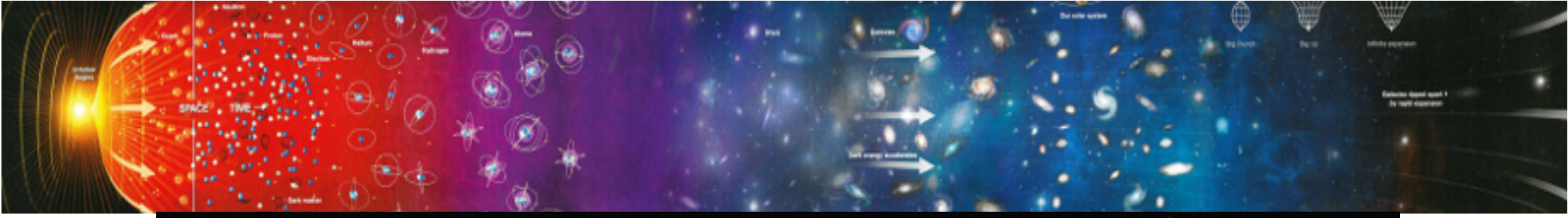
e Visible light emitted by stars is scattered and absorbed by dust.

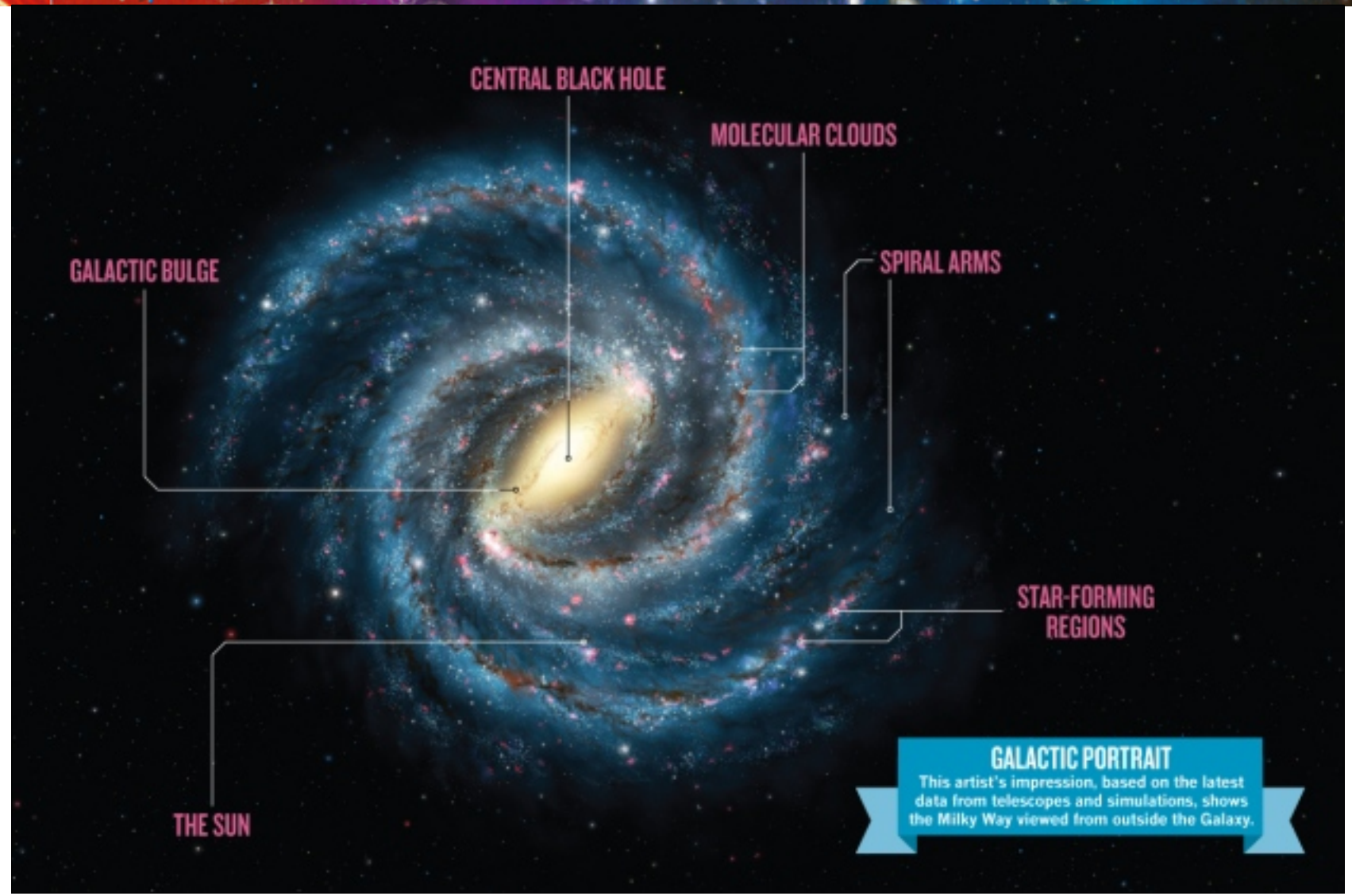
f X-ray emission from hot gas bubbles (diffuse blobs) and X-ray binaries (pointlike sources).



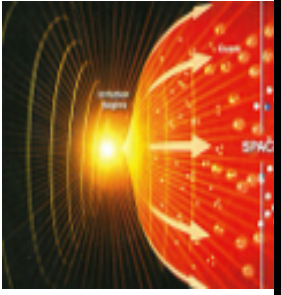
g Gamma-ray emission from collisions of cosmic rays with atomic nuclei in interstellar clouds.

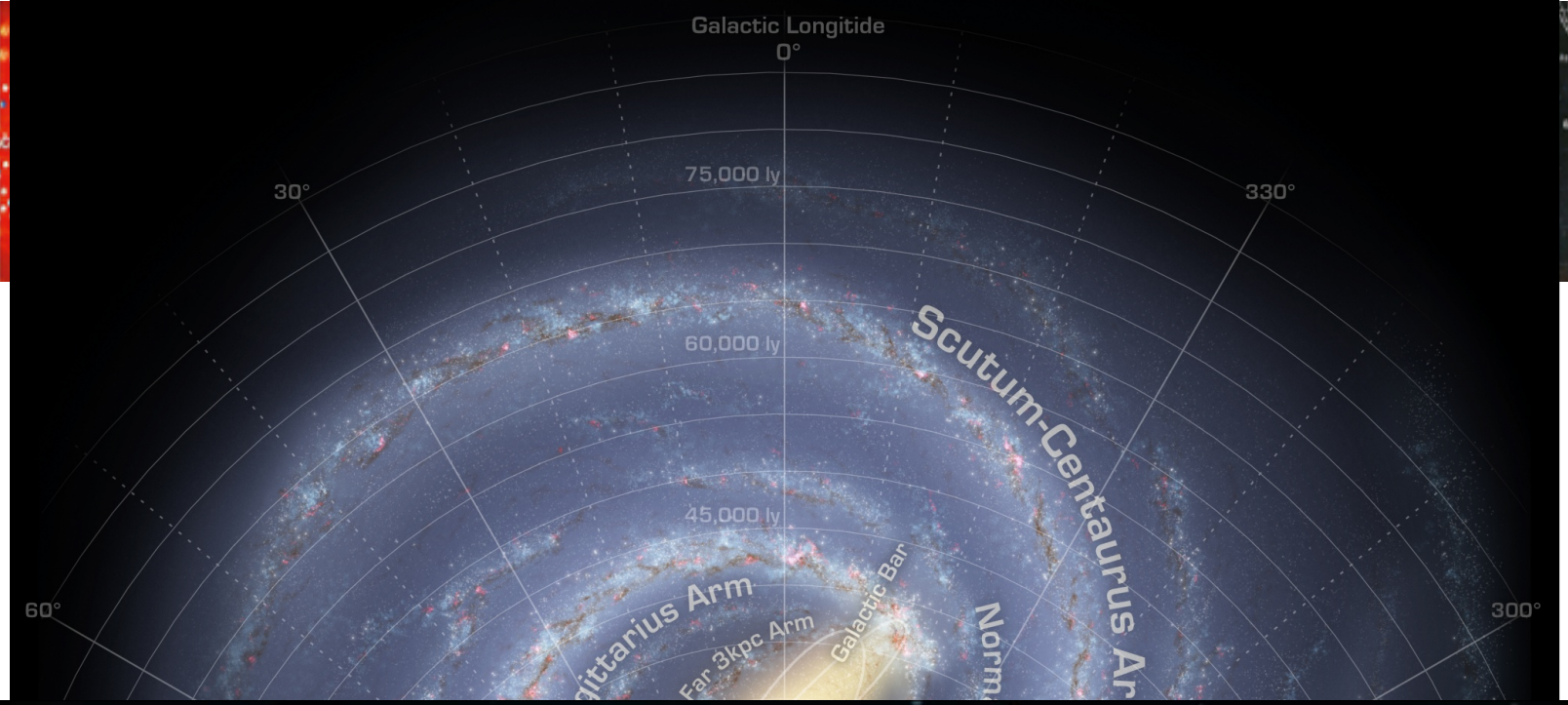
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Infrared-visible_light_comparison_of_VISTA's_gigapixel_view_of_the_centre_of_the_Milky_Way.ogv

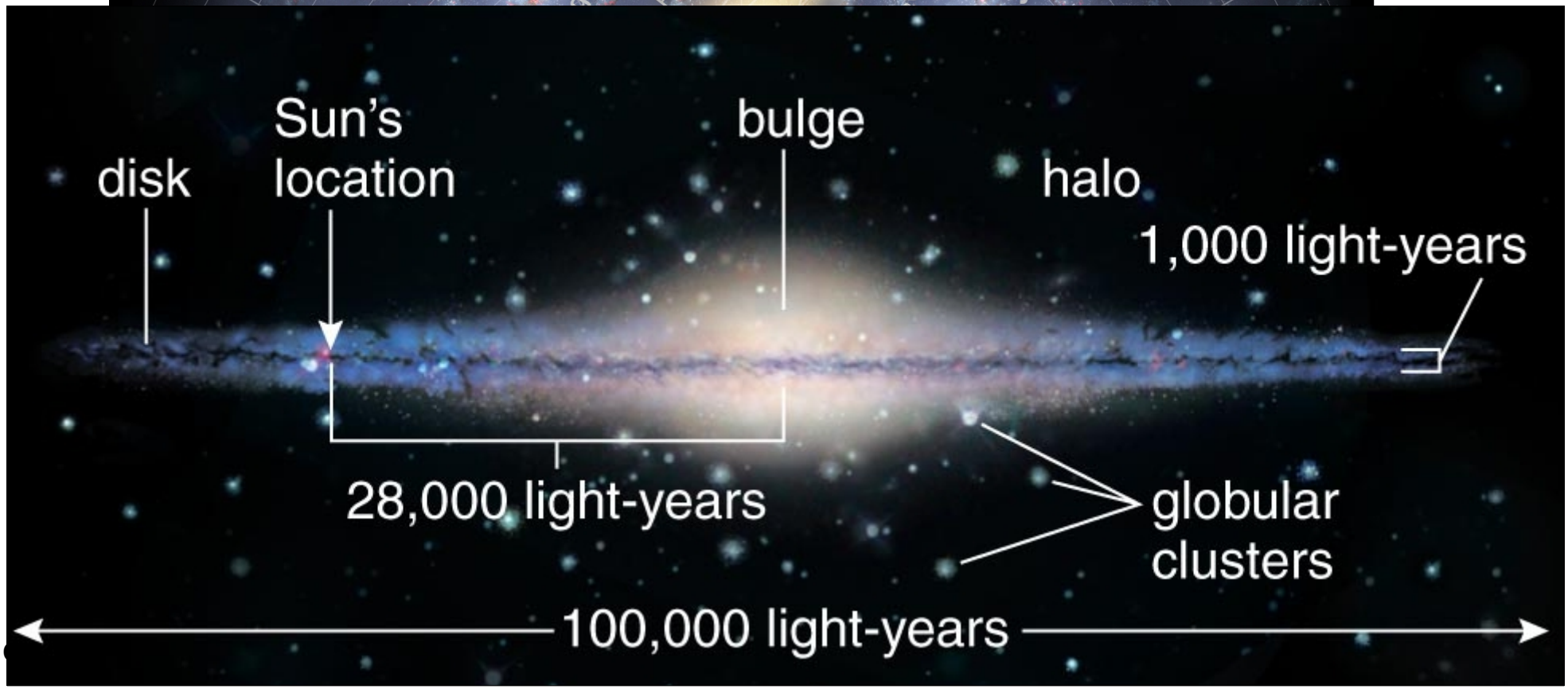




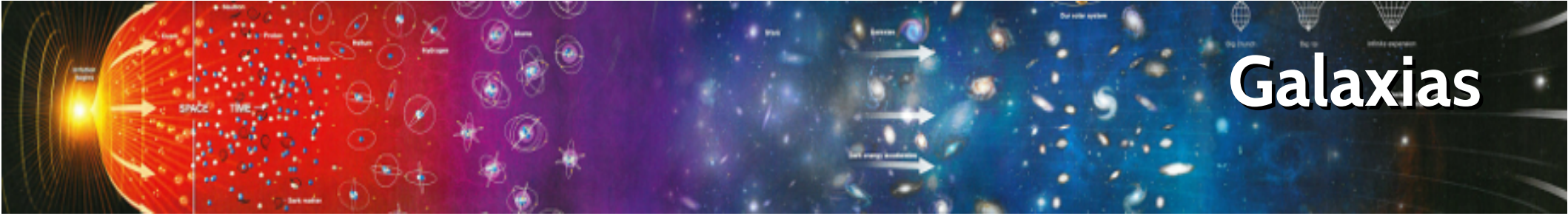
http://www.nature.com/news/galaxy-formation-the-new-milky-way-1.11517#/mw1




Galactic Longitide
0°
30°
330°
60°
300°
75,000 ly
60,000 ly
45,000 ly
Scutum-Centaurus Ar
Galactic Bar
Far 3kpc Arm
gittarius Arm
Norm


disk
Sun's location
bulge
halo
1,000 light-years
28,000 light-years
globular clusters
100,000 light-years

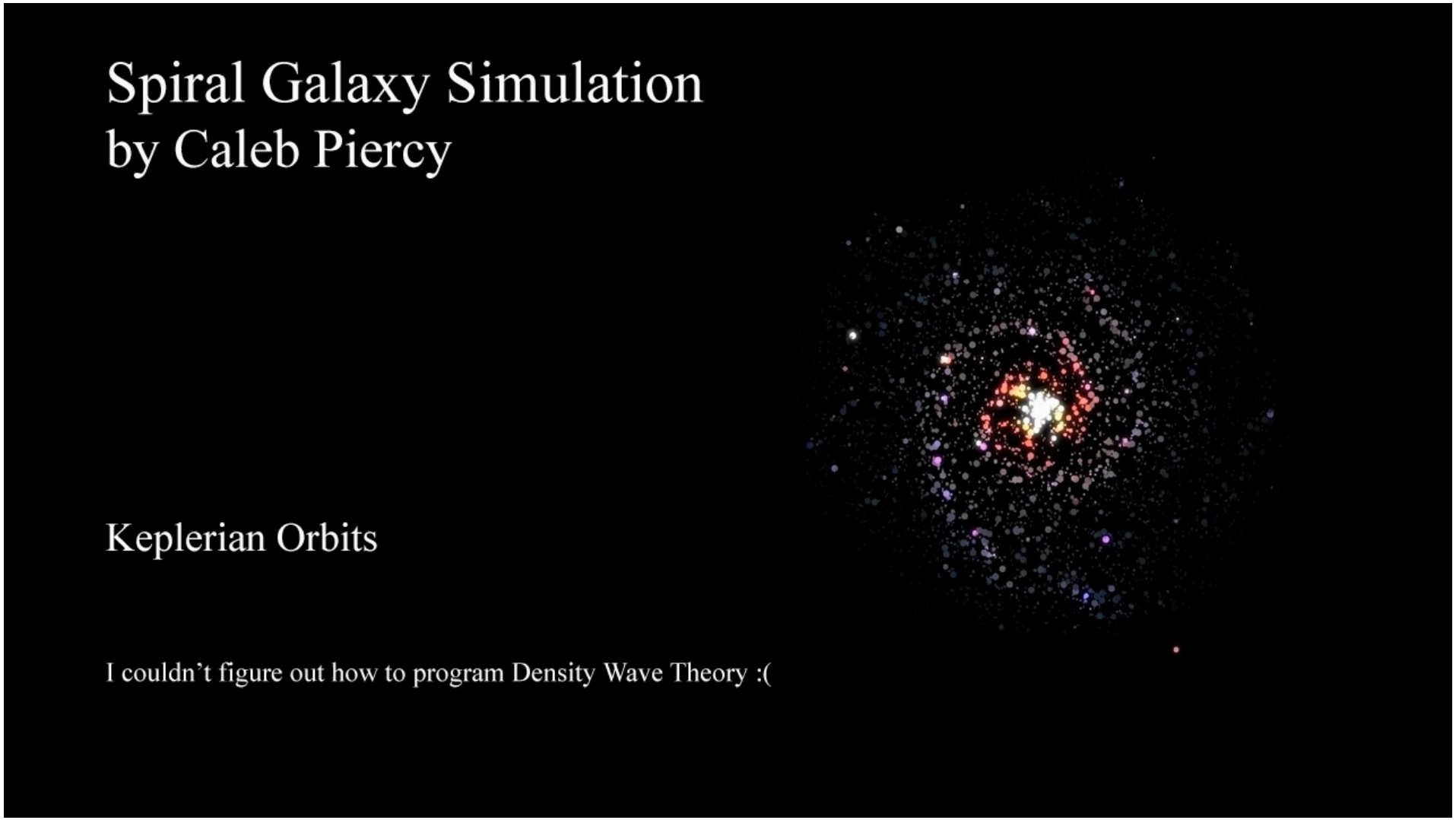
Si Andrómeda fuera más brillante...

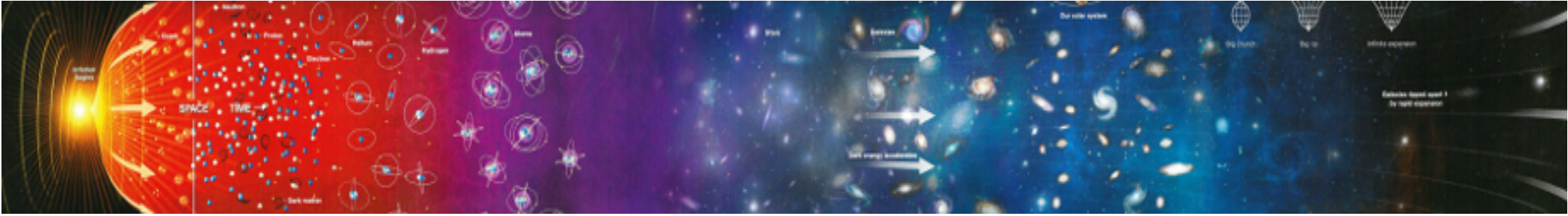


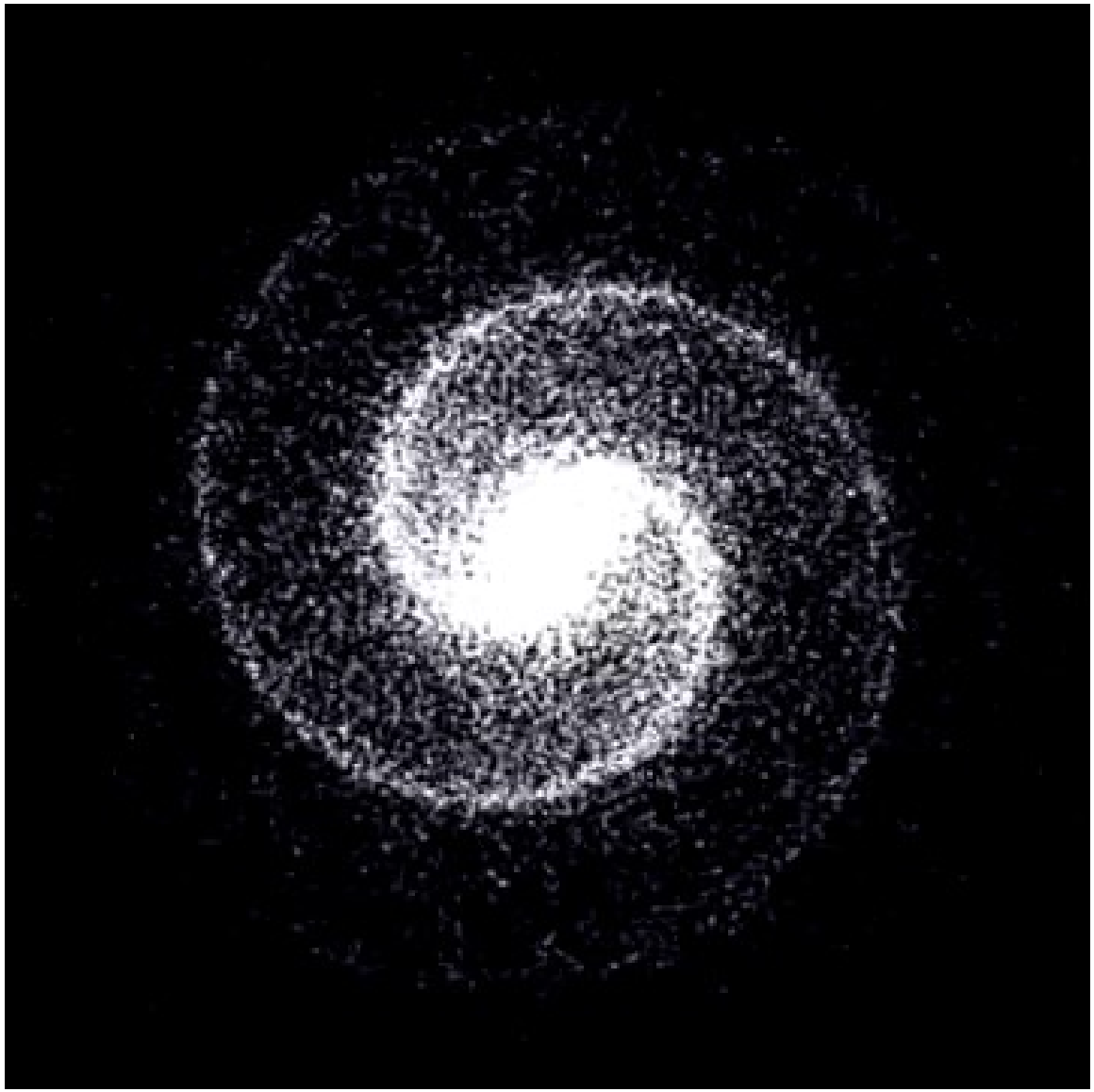
Galaxias

- Una **galaxia** **es un sistema autogravitatorio que se compone de:**
  - Estrellas
  - Remanentes estelares
  - Un medio interestelar formado por gas y polvo...
  - ... y materia oscura
- **Tamaños:**
  - Enanas (~1000 estrellas, 1000 pc)
  - Gigantes (100000 pc, 10^{14} estrellas)
- Y están separadas por distancias ~Megaparsec

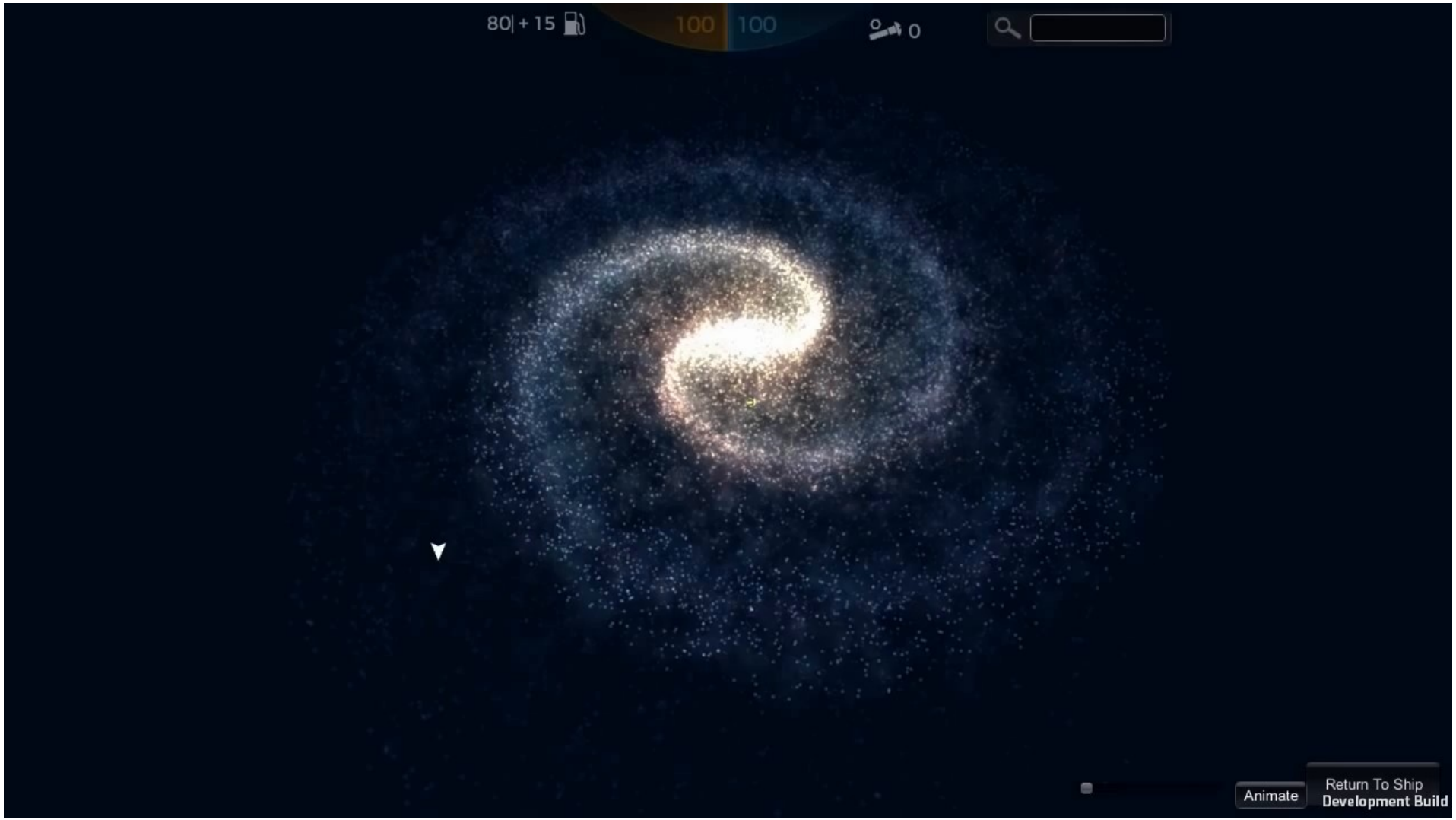
Brazos Espirales → si fuera sólo Kepler

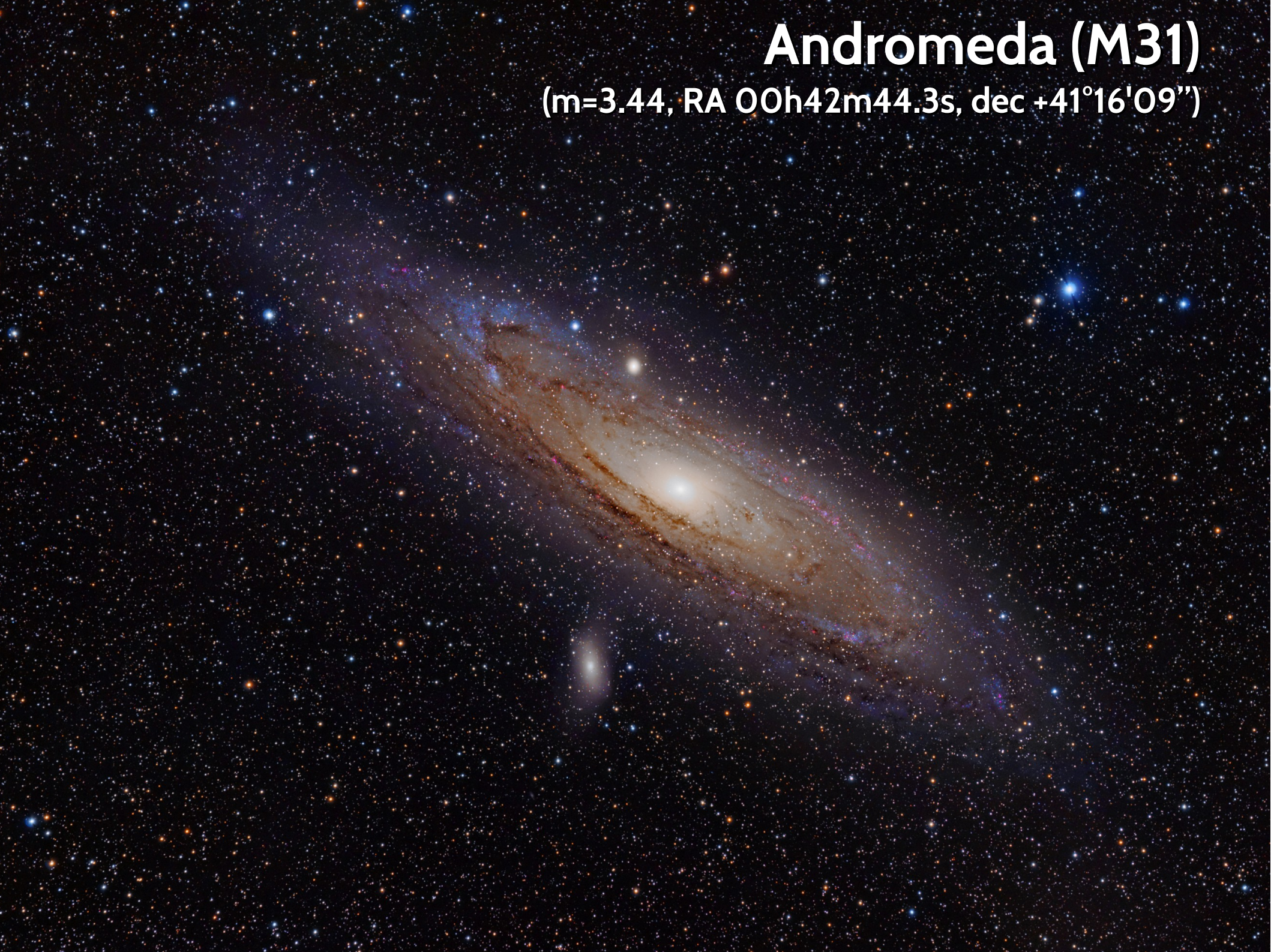



SPACE
TIME



Brazos espirales → atracción entre vecinos

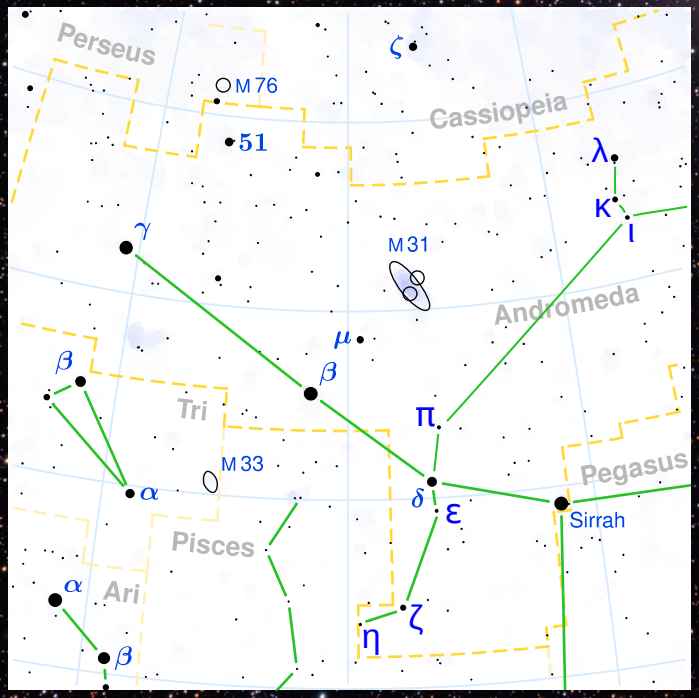


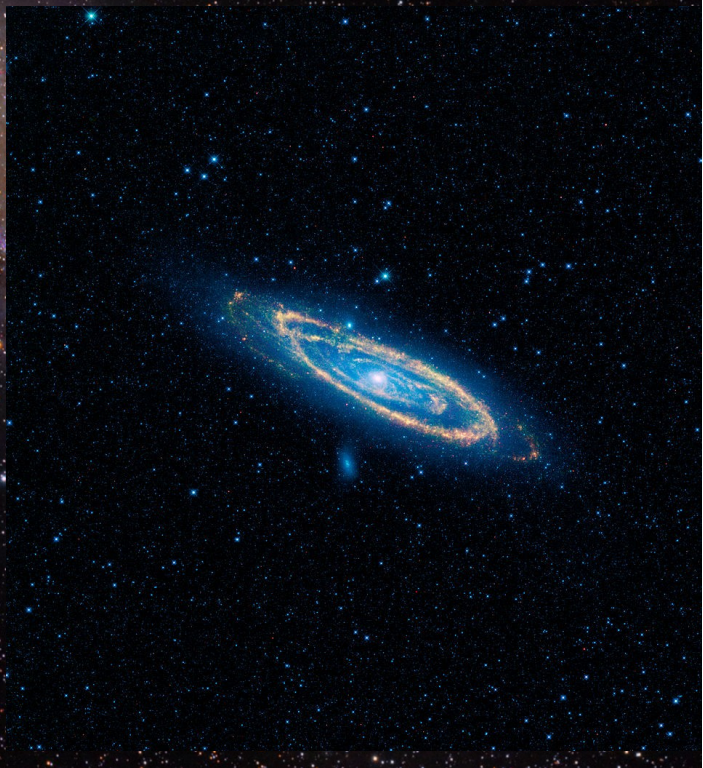

Andromeda (M31)
(m=3.44, RA 00h42m44.3s, dec +41°16'09")

Andromeda (M31)

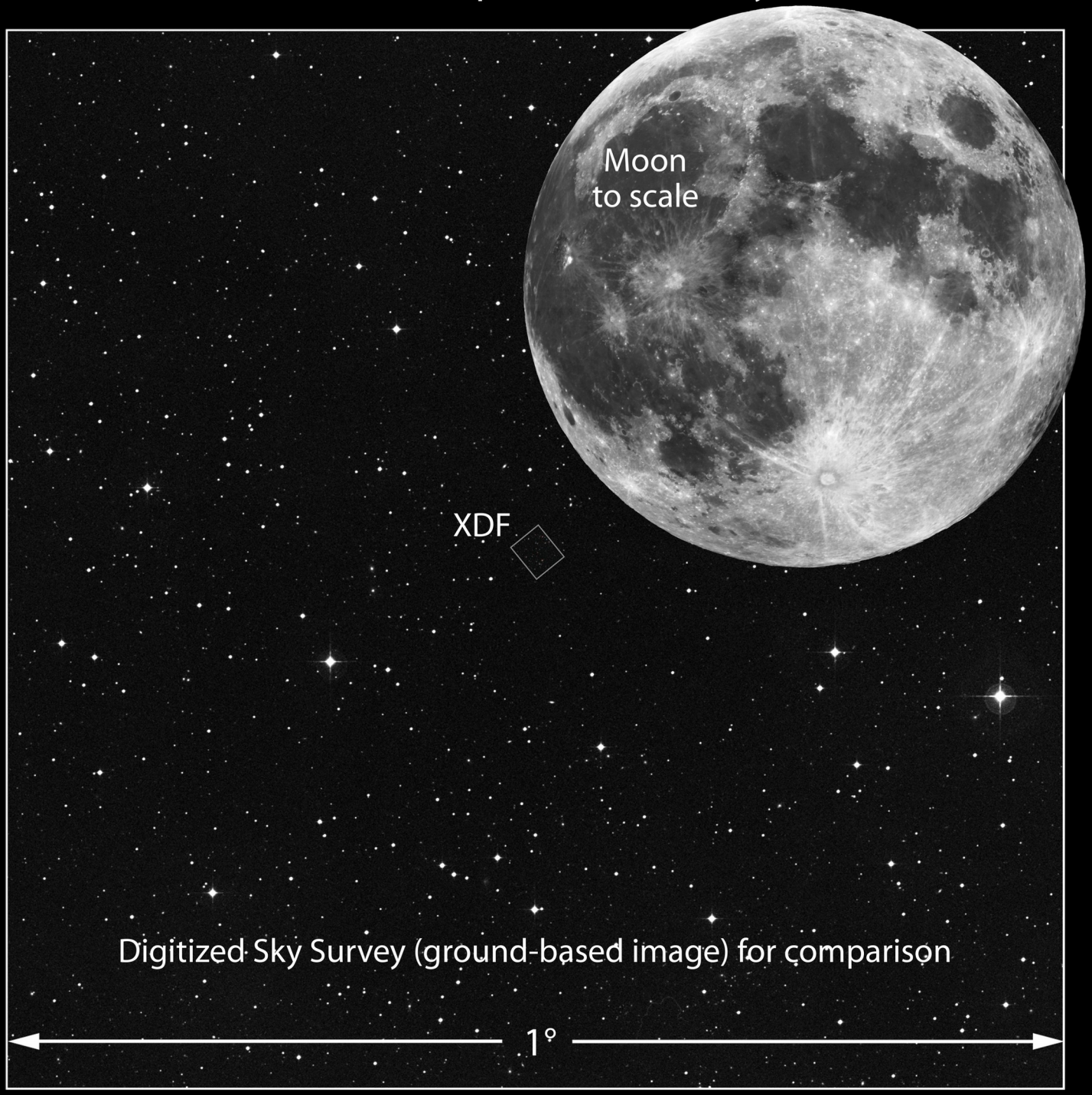
(m=3.44, RA 00h42m44.3s, dec +41°16'09")

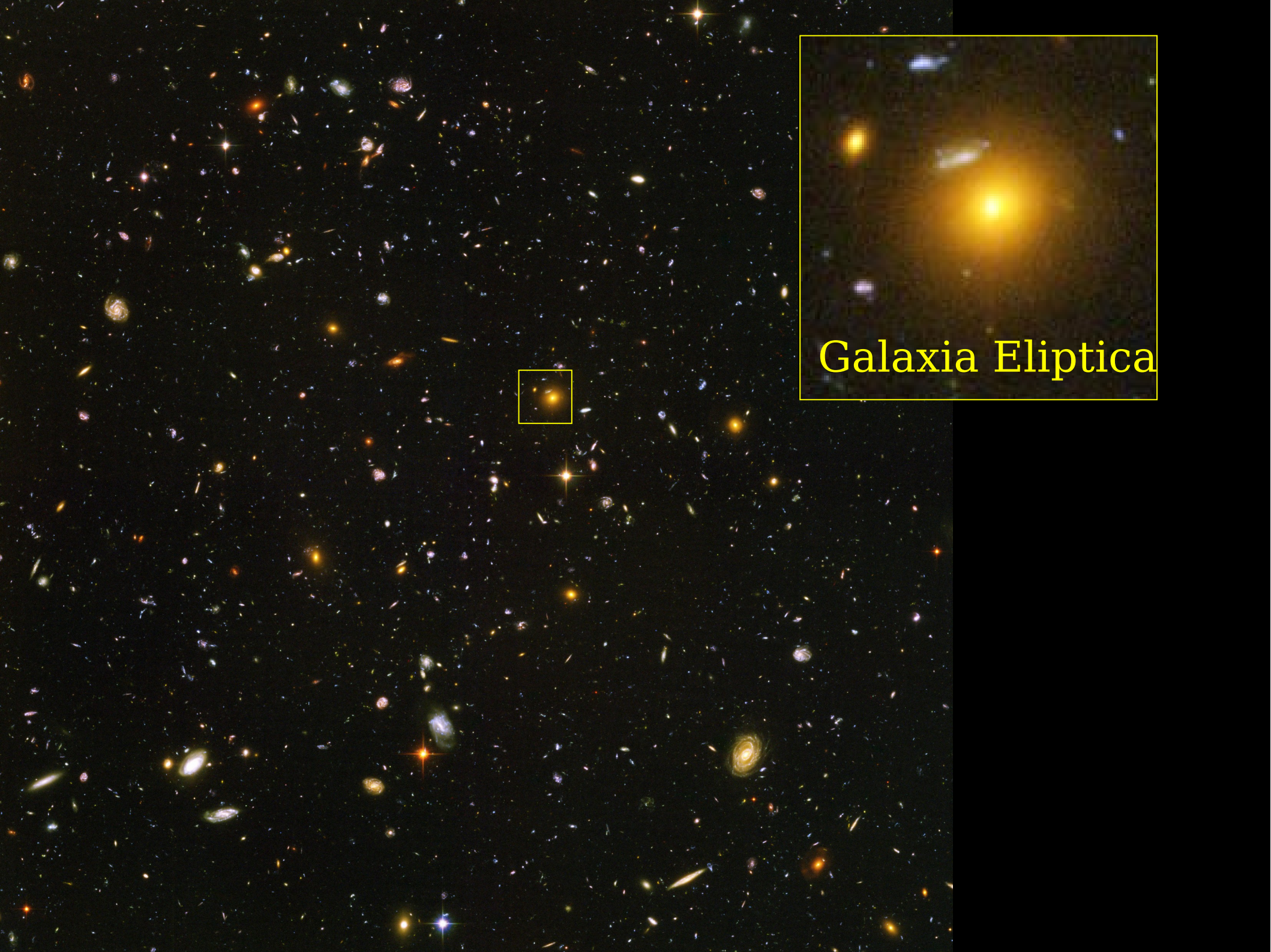
- Ubicada a 780 kpc
- Visible con binoculares (noches sin luna y oscuras a simple vista como una mancha borrosa)
- Es la galaxia más masiva del Grupo Local: 1.5×10^{12} M_S



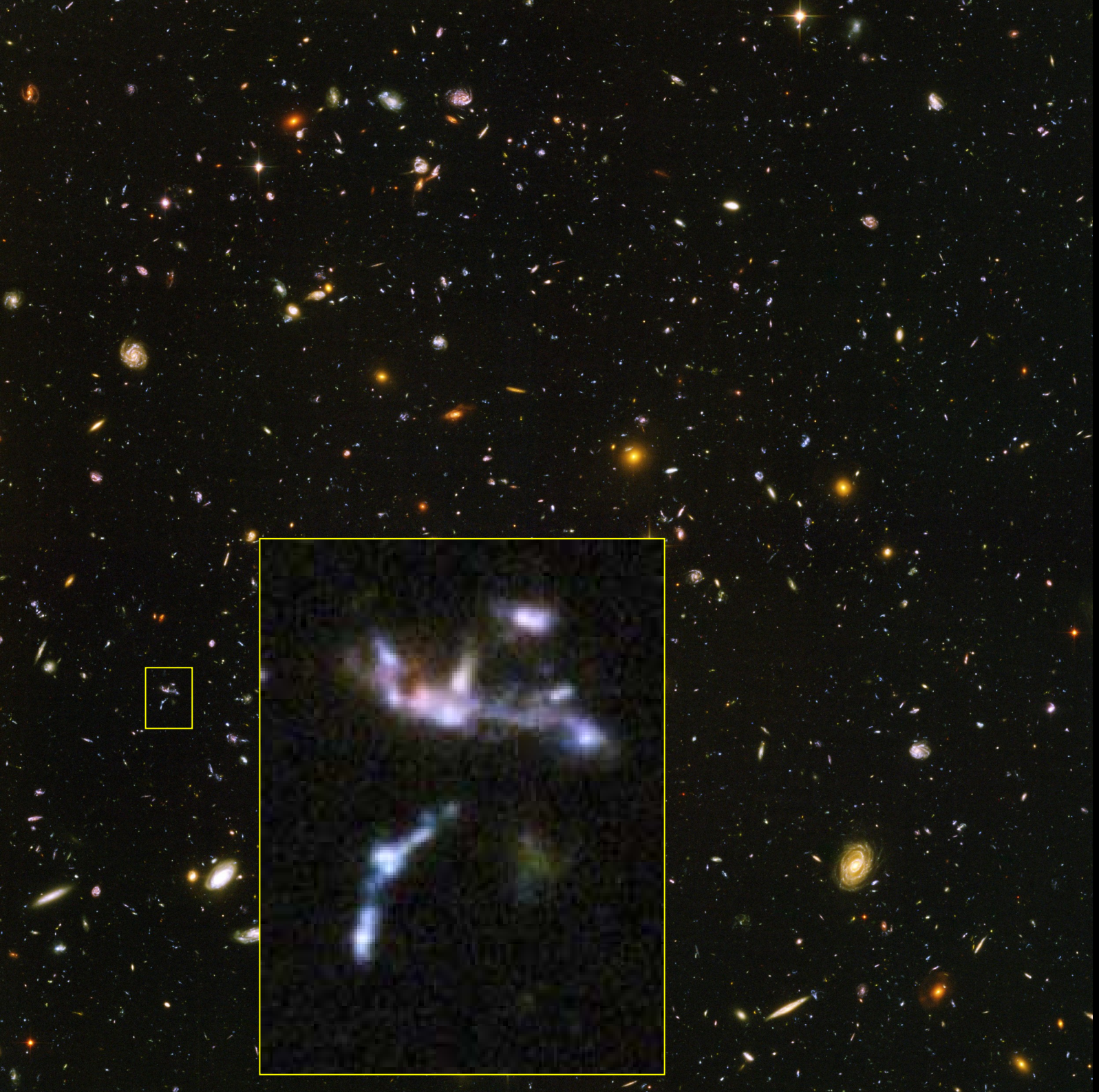


Size of Hubble eXtreme Deep Field on the Sky




Galaxia Eliptica

n Galáctica

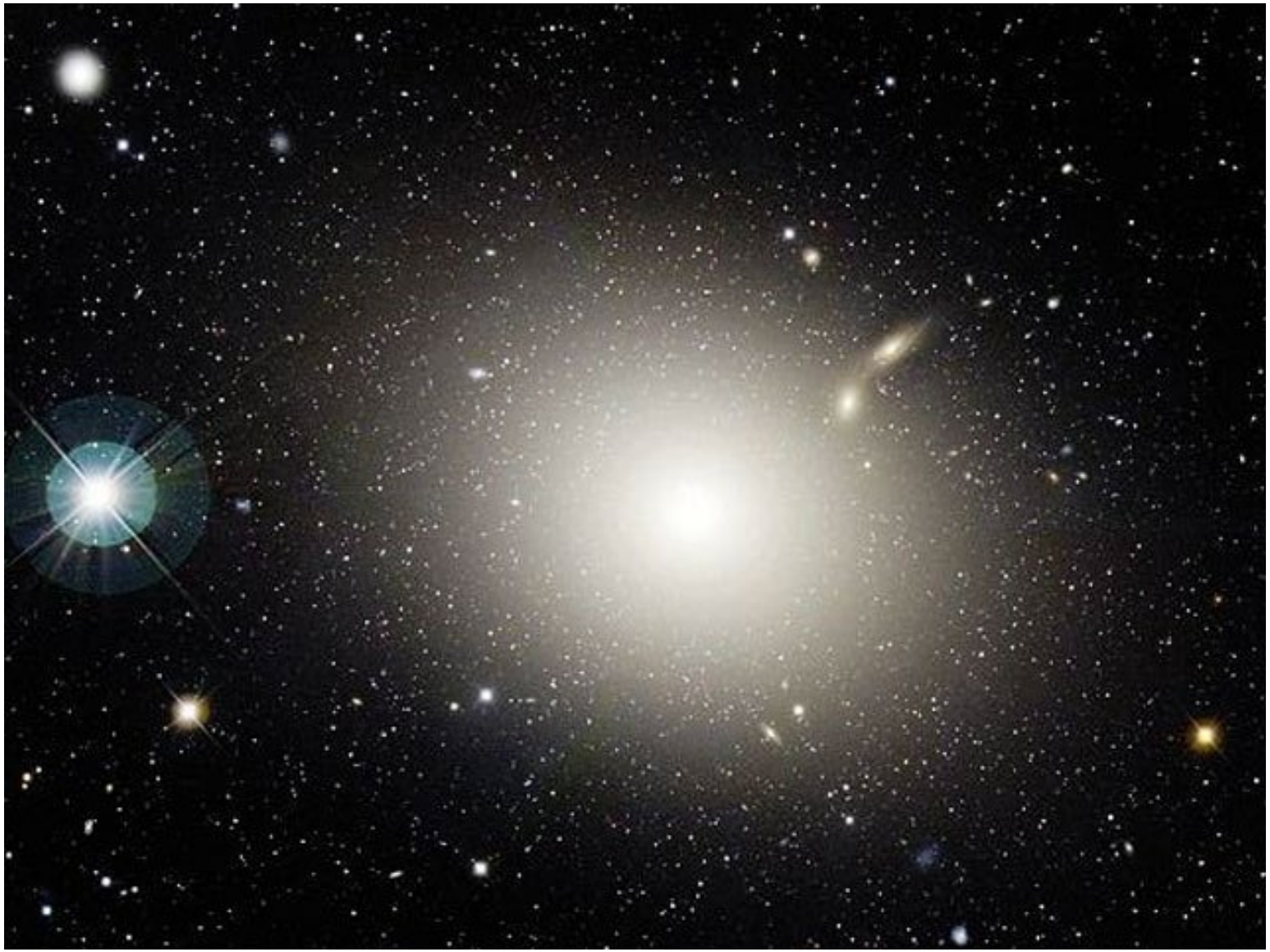


Clasificación Galáctica

Clasificación Galáctica

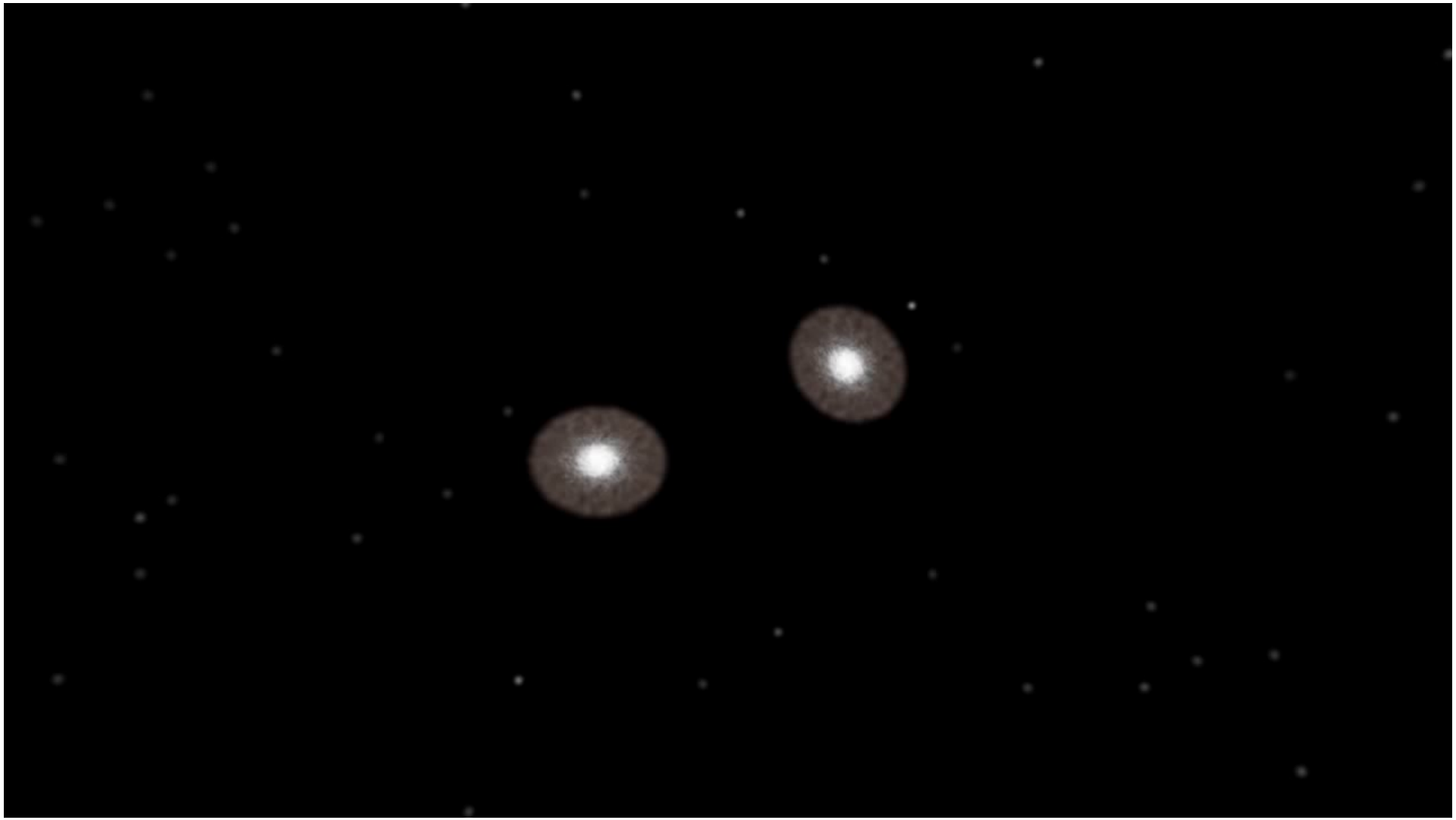
Clasificación Galáctica

Clasificación Galáctica



Clasificación Galáctica (Antennae NGC4038/9)

Colisión de Galaxias

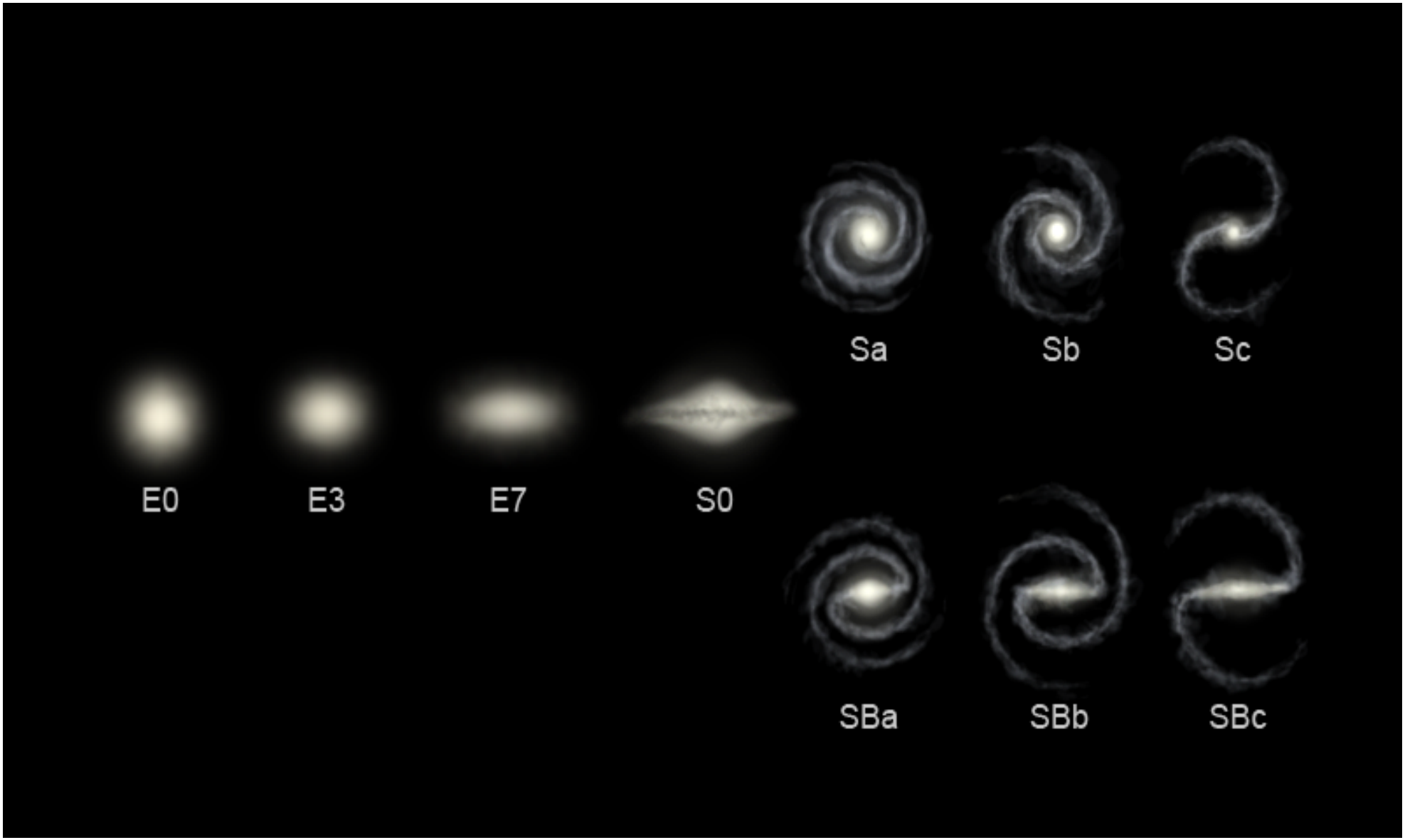


Galaxia de Anillo (Hoag)

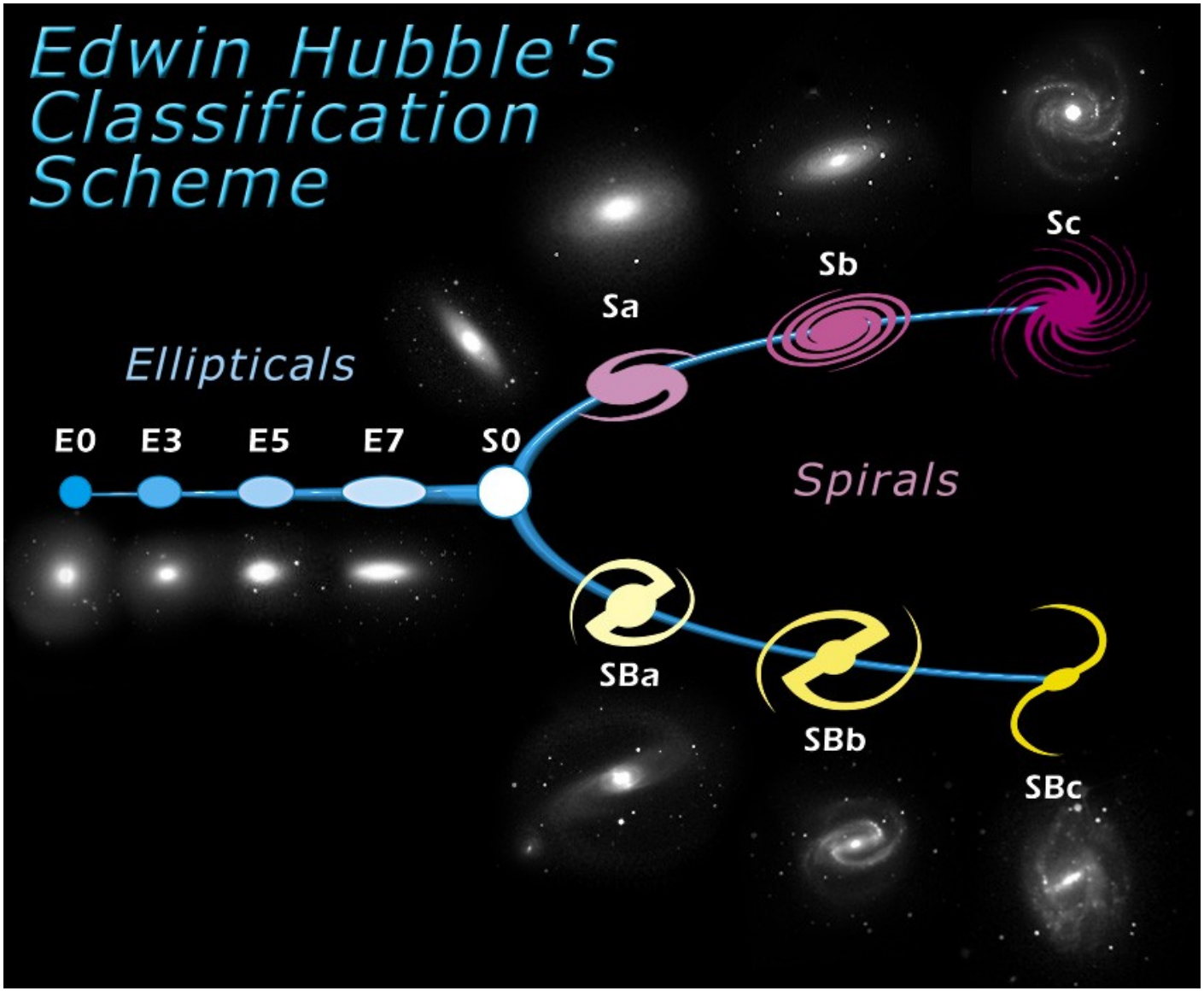
Colisión galáctica (NGC4676 – Mice galaxies)

Colisión galáctica: ARP 273

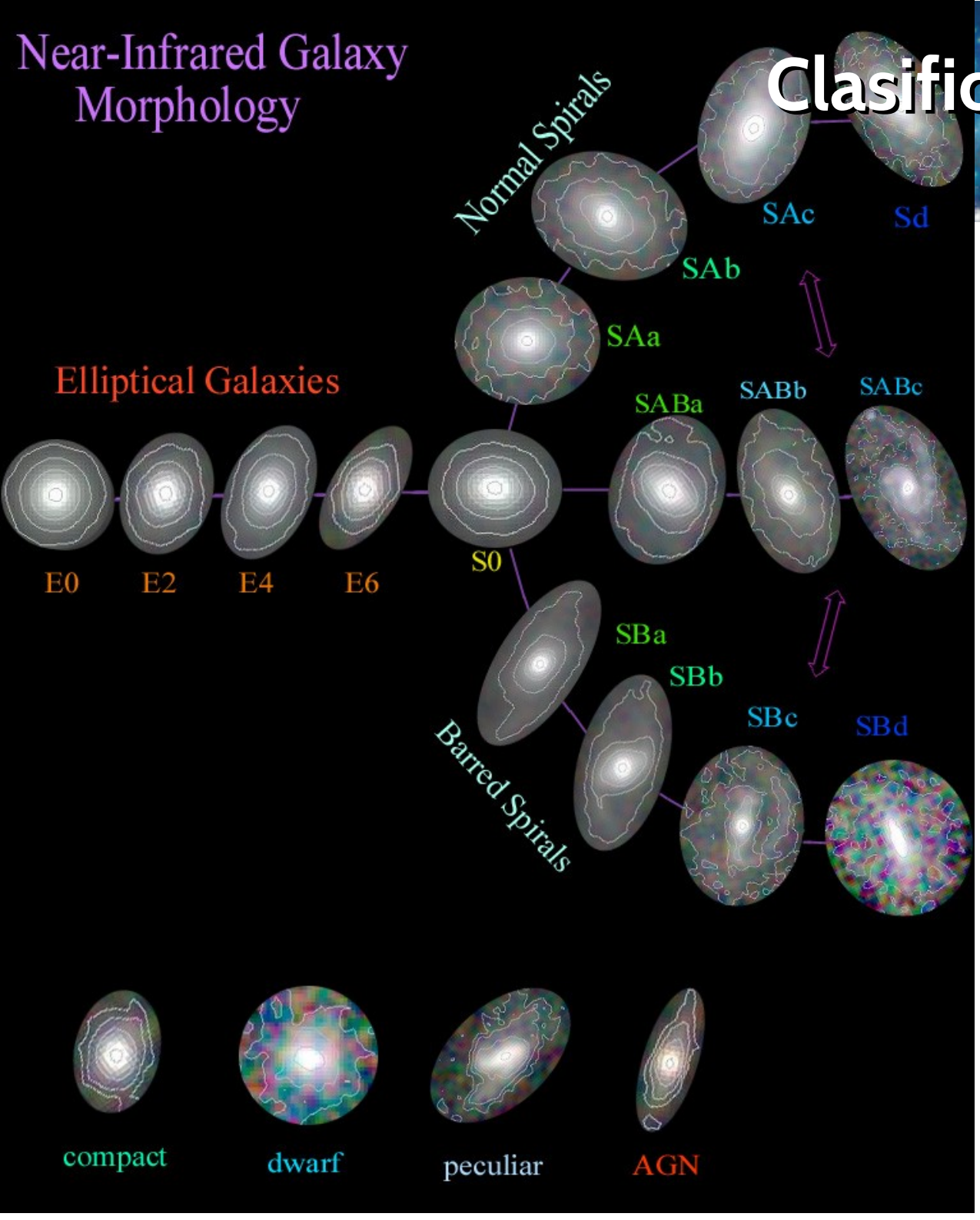
Clasificación



Clasificación galáctica



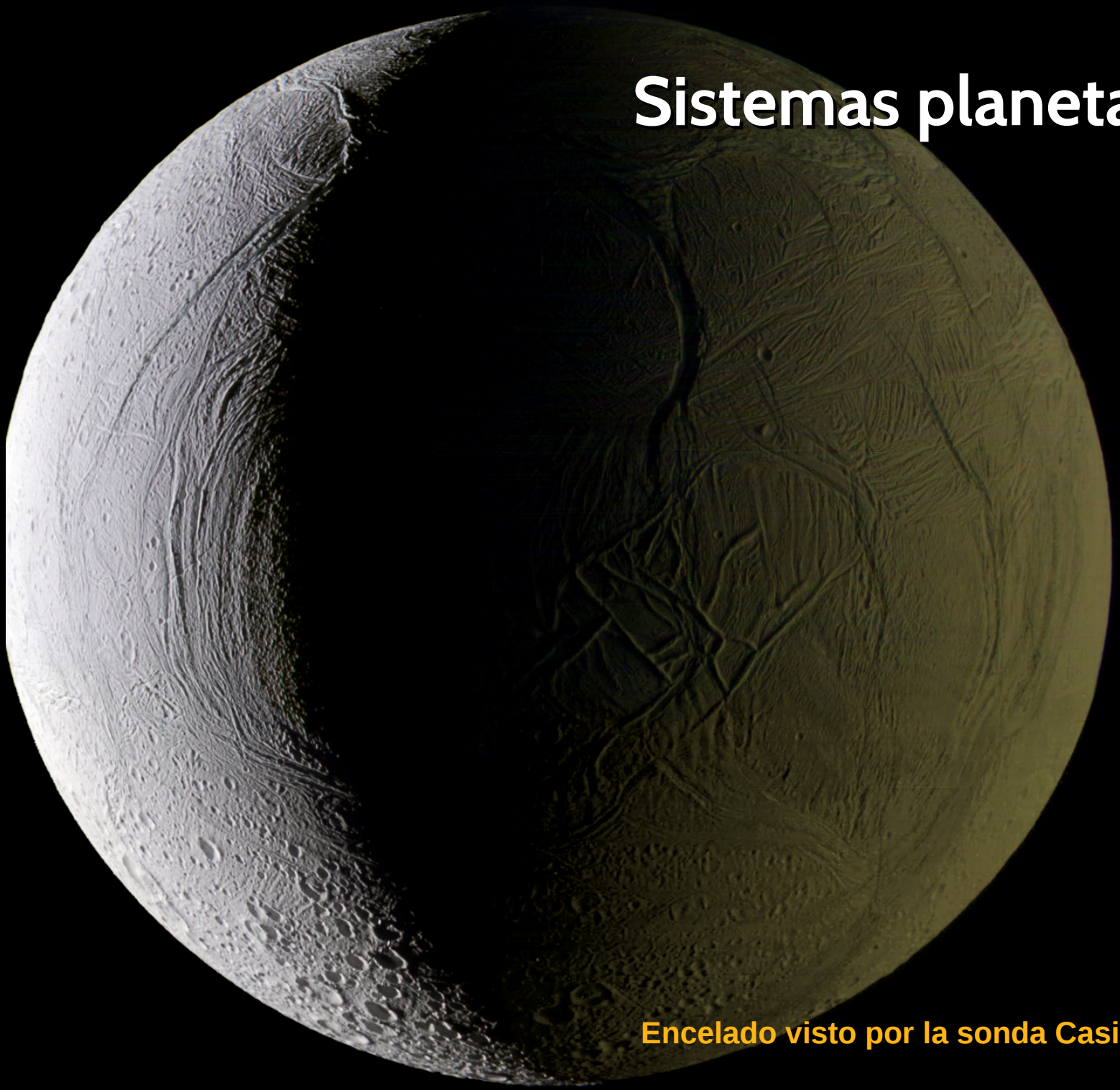
Clasificación de Galaxias



Galaxy Zoo

http://www.galaxyzoo.org

Sistemas planetarios

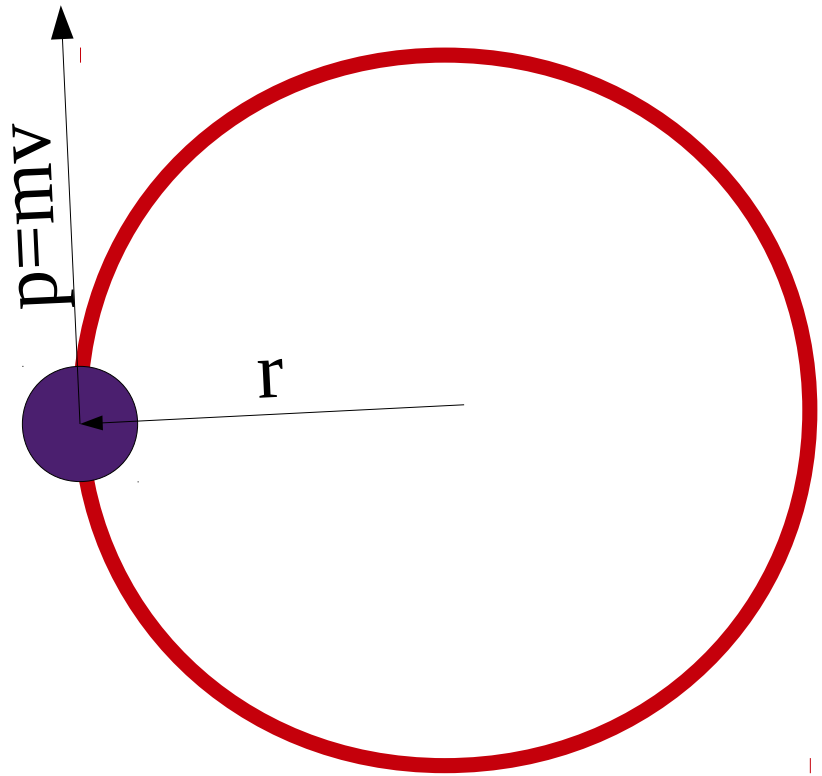


Encelado visto por la sonda Casini

Cantidad de movimiento angular

- Si el objeto está girando con velocidad v y radio r:

$$\vec{L}=\vec{r}\times\vec{p}$$
$$|L|=m|r||v|\sin\theta$$



- La cantidad de movimiento angular es una magnitud **(pseudo) vectorial conservada**

(**cuando actúa una fuerza central**) y aditiva

$$\vec{L}_i=\vec{L}_f$$

$$\vec{L}=\sum_{j=1}^{n}\vec{r}_j\times\vec{p}_j=\sum_{j=1}^{n}\vec{L}_j$$

Patinaje sobre hielo

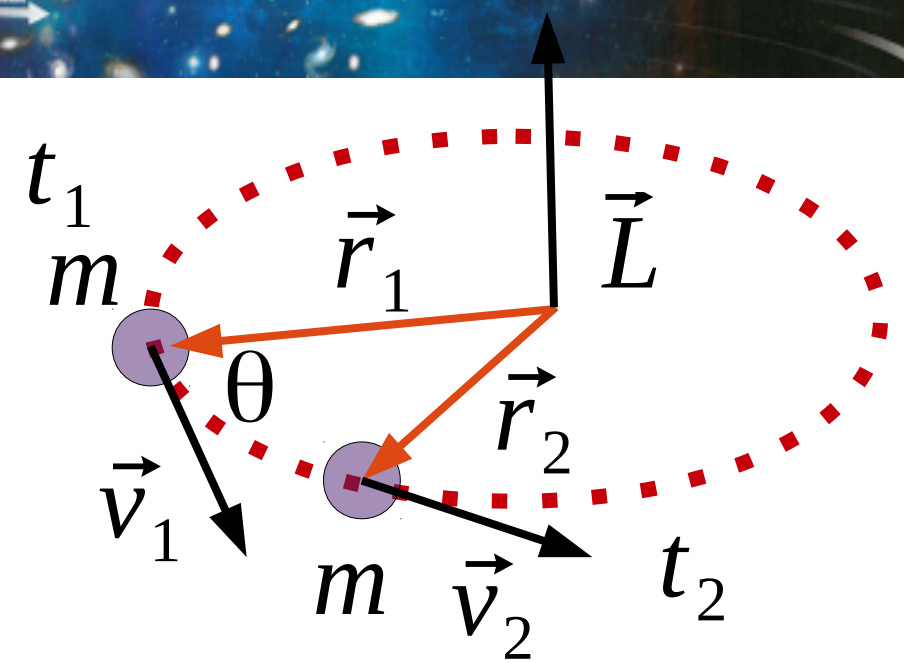
“Boleando”, Molina Campos

“BOLEANDO”
Témpera sobre papel, 35 x 53 cm, 1957

Movimiento circular uniforme: boleadora

- Mov. Circular Uniforme:

$$|\vec{r}|=\text{cte}\,,|\vec{v}|=\text{cte}\,,\vec{r}\perp\vec{v}$$
$$\Rightarrow\vec{L}=m\left(\vec{r}\times\vec{v}\right)=\text{cte}$$

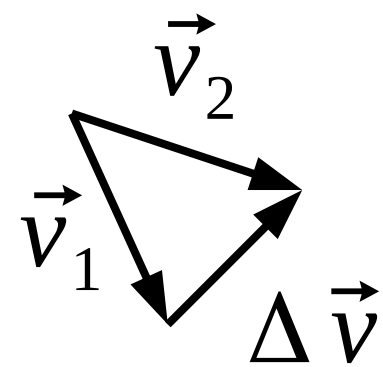


- Pero la velocidad cambia!

$$\vec{v}_1\neq\vec{v}_2$$

- Aceleración:

$$\vec{a}_c=\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}=\frac{\vec{v}_2-\vec{v}_1}{t_2-t_1}$$



- Si $\Delta t \to 0$

$$\boxed{\vec{a}_c\propto-\hat{r}}$$

Aceleración centrípeta

Aceleración centrípeta

- **Aceleración centrípeta:** evidencia el cambio en la dirección de la velocidad en un movimiento circular uniforme
- Tiene dirección radial y sentido hacia el centro:

$$\vec{a}_c = -\frac{|\vec{v}|^2}{|\vec{r}|}\hat{r} \Rightarrow a_c = \frac{v^2}{r}$$

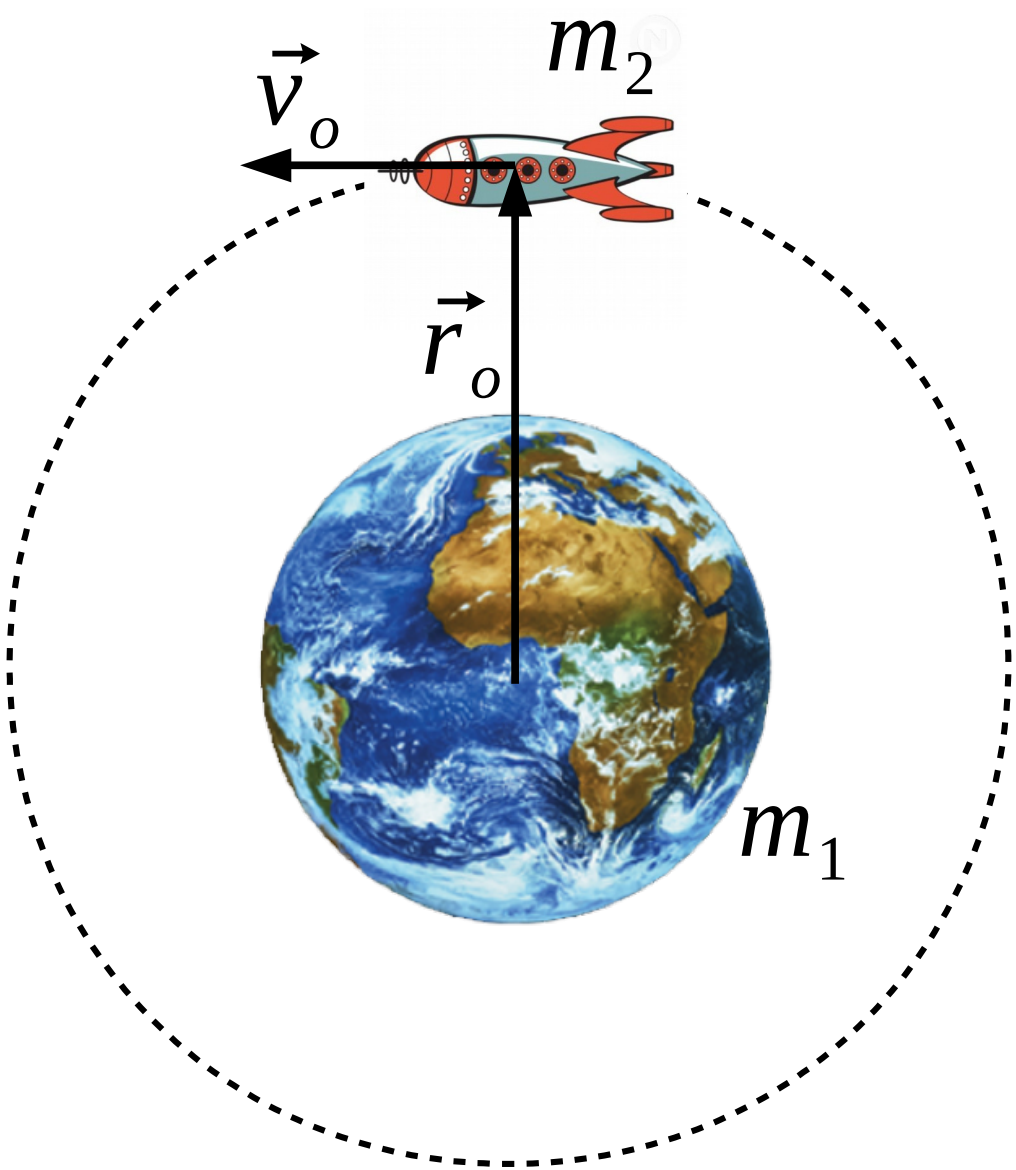
- En las boleadoras, ¿cuál fuerza es la fuerza centrípeta?

$$\vec{T} = m\vec{a}_c$$

Tensión

- ¿Podría ser, en algún sistema, la gravedad?

Pensemos el siguiente sistema



- Balance de fuerzas
  - Centrípeta = Gravedad

$$\vec{F}_c = \vec{F}_g$$

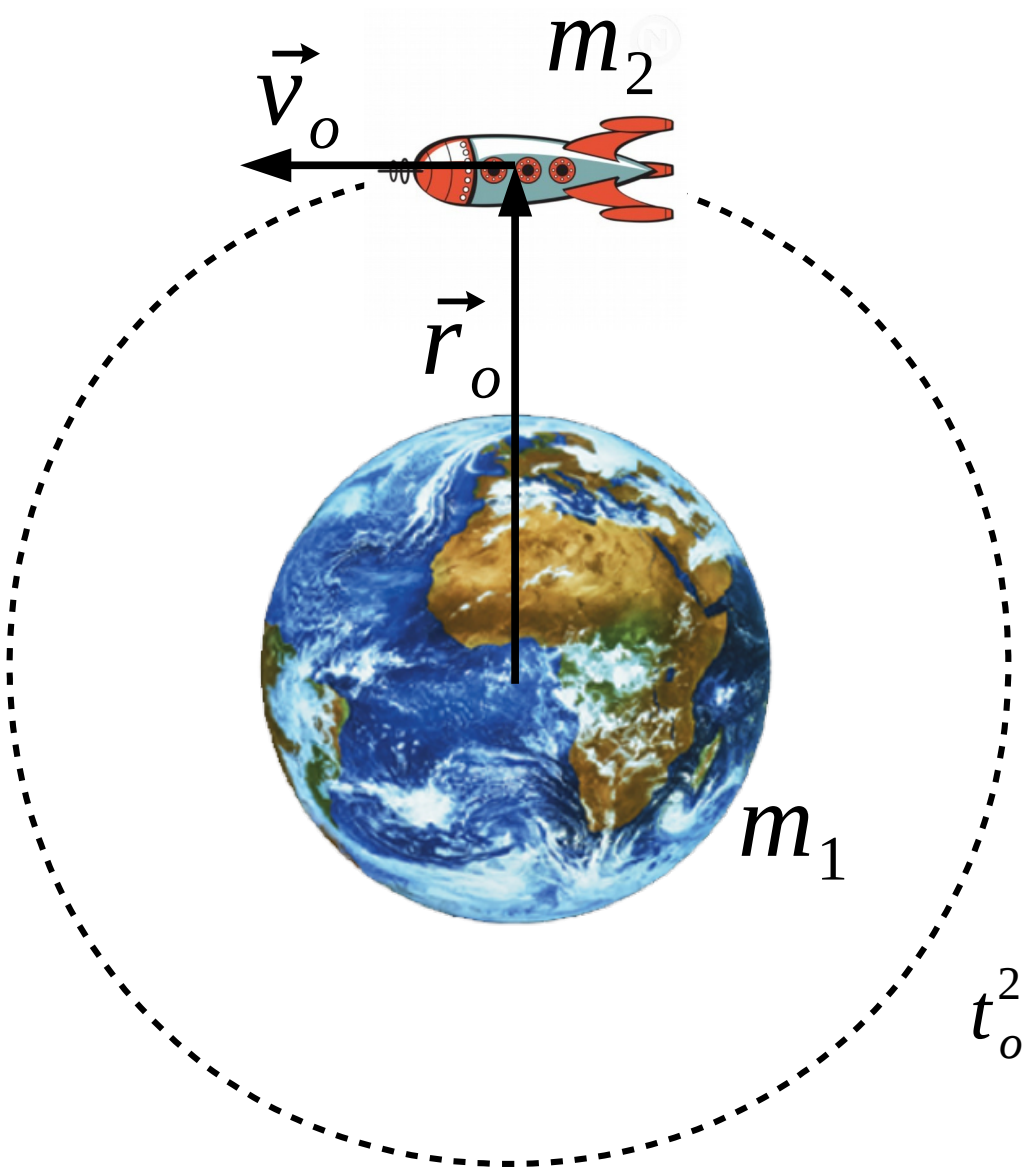
$$\frac{m_2 v_o^2}{r_o} = \frac{G m_1 m_2}{r_o^2}$$

$$\boxed{v_o = \sqrt{\frac{G m_1}{r_o}}}$$

Velocidad orbital

¡¡No depende de m_2!!

Duración de la órbita



- Órbita circular $\boxed{v_o = \frac{2\pi r_o}{t_o}}$

$$\Rightarrow v_o = \sqrt{\frac{G m_1}{r_o}} = \frac{2\pi r_o}{t_o}$$

$$\frac{G m_1}{r_o} = \left(\frac{2\pi r_o}{t_o}\right)^2$$

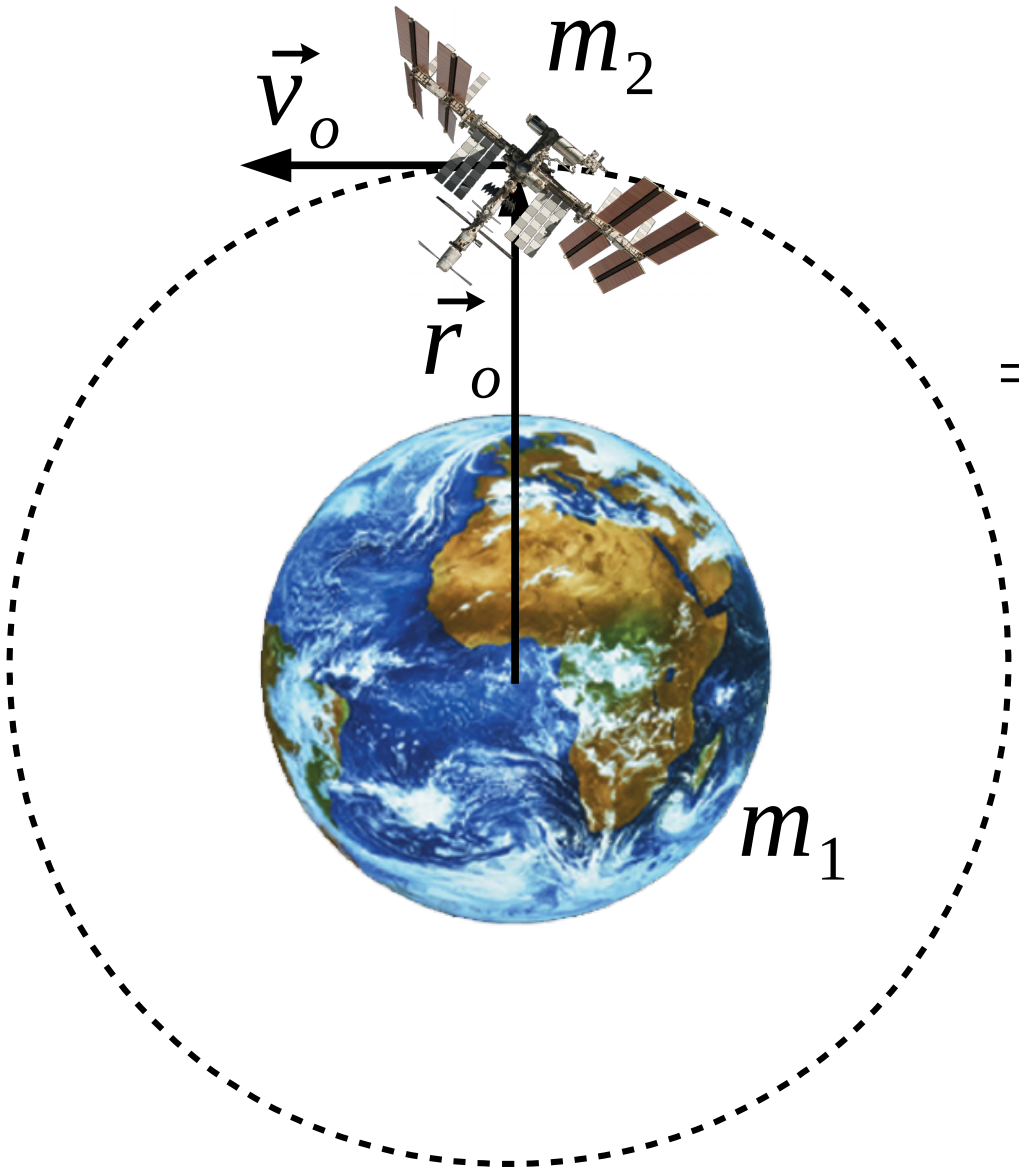
$$\boxed{\frac{t_o^2}{r_o^3} = \left(\frac{4\pi^2}{G m_1}\right)}$$

¡Atención!
t^2 prop. r^3

$$t_o^2 = \left(\frac{4\pi^2}{G m_1}\right) r_o^3 \Rightarrow \boxed{t_o = \sqrt{\frac{4\pi^2}{G m_1} r_o^3}}$$

Duración órbita

Velocidad orbital estación espacial



- Altura orbital: 413 km

$$r_o = R_+ + h = 6784\,\mathrm{km}$$

$$\Rightarrow v_o = \sqrt{\frac{G\,m_1}{r_o}} = 7661\,m/s \simeq 0.7\,v_e$$

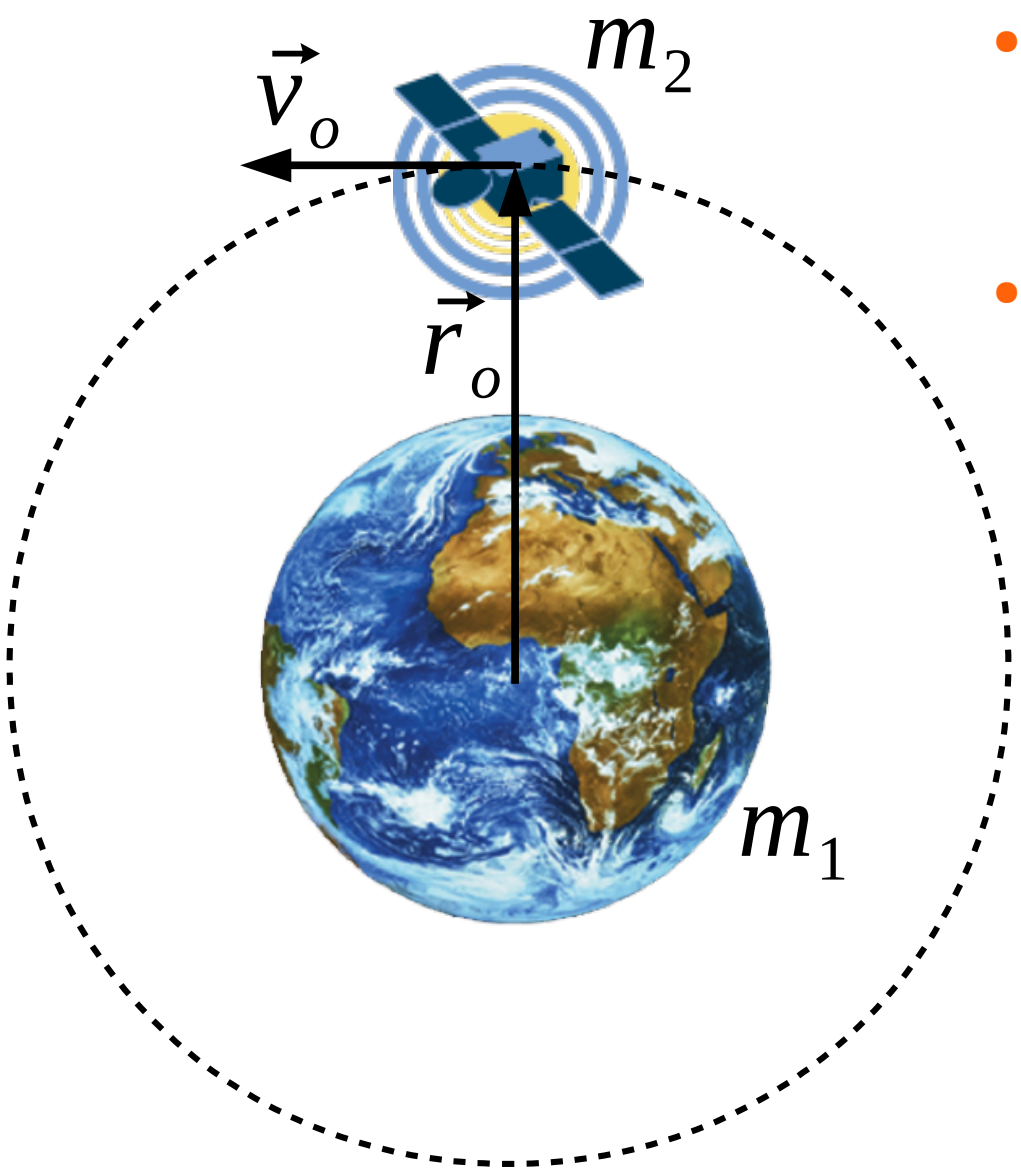
$$\Rightarrow t_o = \sqrt{\frac{4\pi^2}{G\,m_1} r_o^3} = 5570\,\mathrm{s}$$

$$t_o = 92\,\mathrm{min}\ 50\,\mathrm{s}$$

- En la estación espacial hay ~ 15 amaneceres diarios

ARSAT-I: Satélite geoestacionario argentino

ARSAT-I: Satélite geoestacionario argentino



- Geoestacionario
  - completa una órbita en 24h
- Calcule:
  - Velocidad orbital
  - Radio y altura orbital
  - Energía orbital:

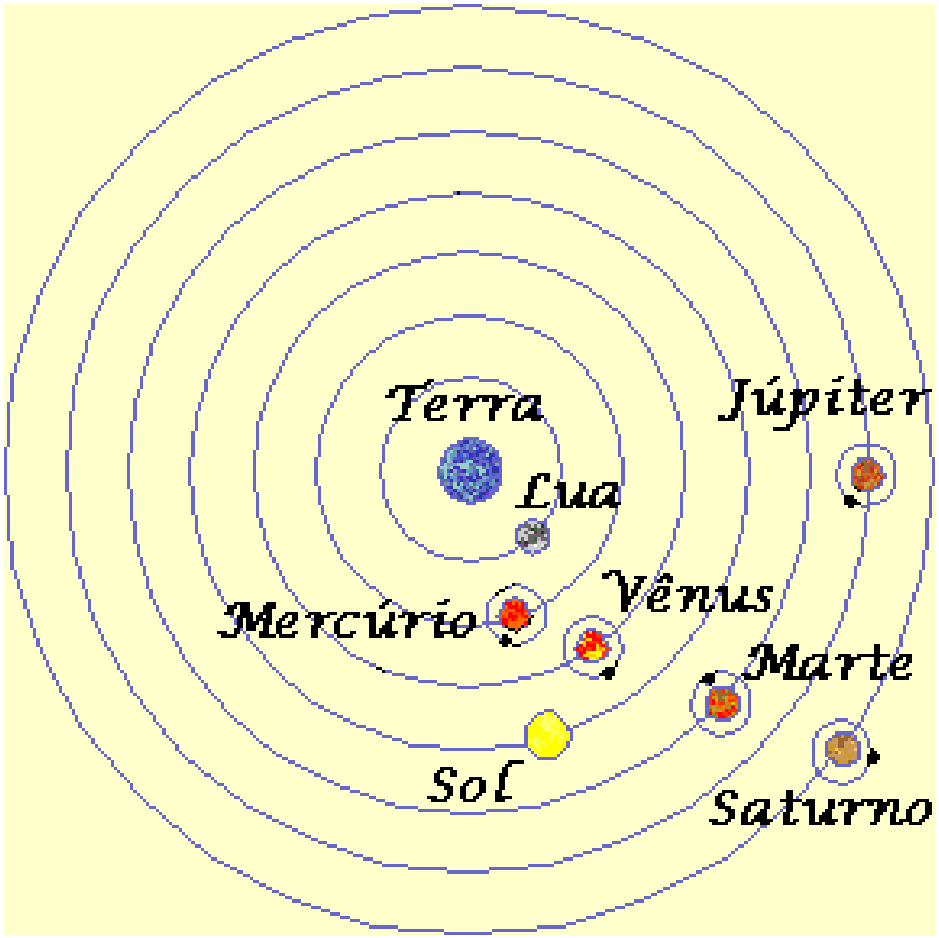
$$E_o = E_g + E_k$$

  - Trabajo equivalente del cohete que lo puso en órbita

El Sistema Solar

Para verlo en escala,
http://joshworth.com/dev/pixelspace/pixelspace_solarsystem.html

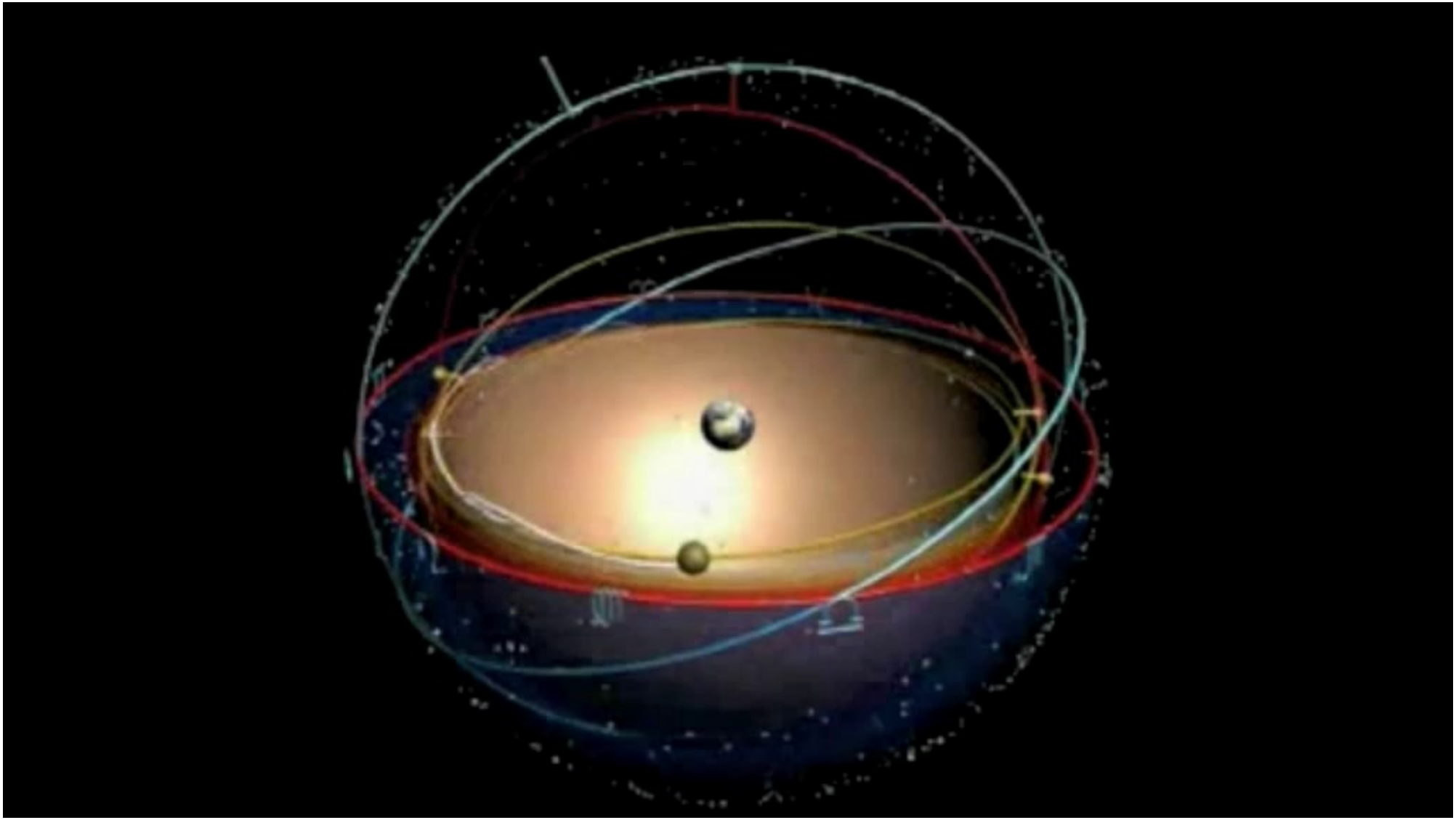
Ptolomeo(100 - 170)



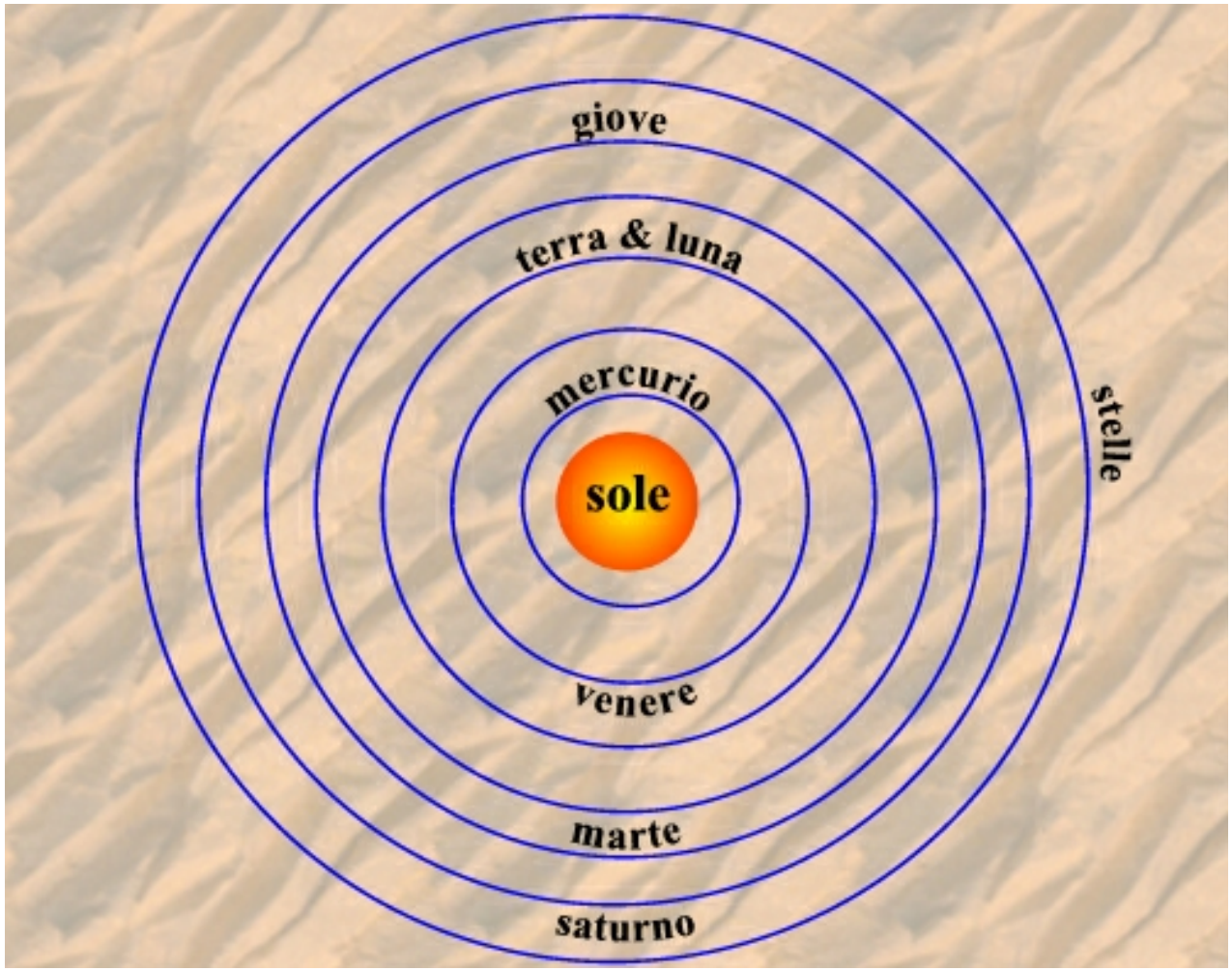
Giordano Bruno(1548 - 1600)

Saturno, un planeta exterior
¿Como explicar ese movimiento?

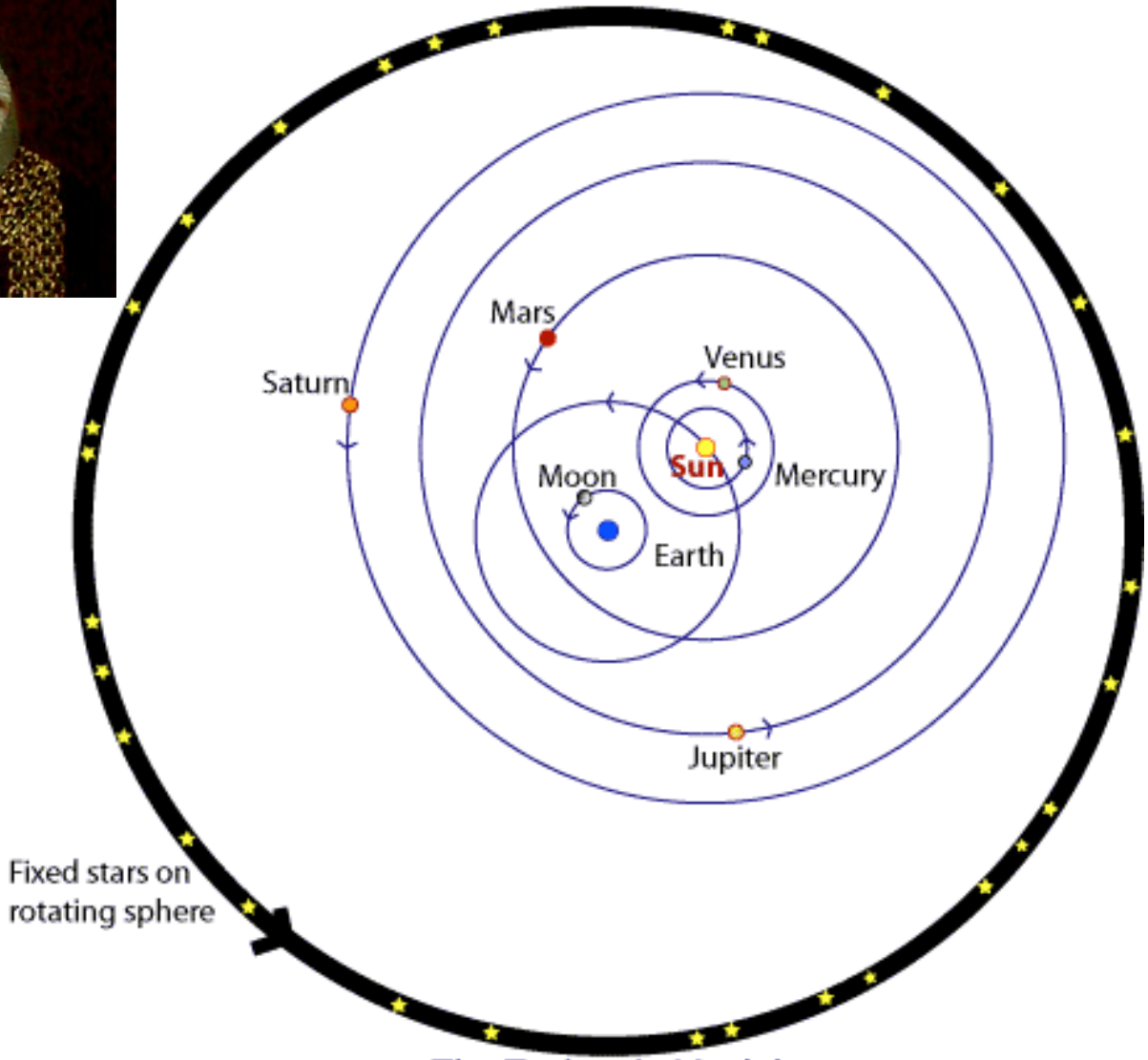
El modelo Ptolemaico extendido



Copernico(1473 - 1543)

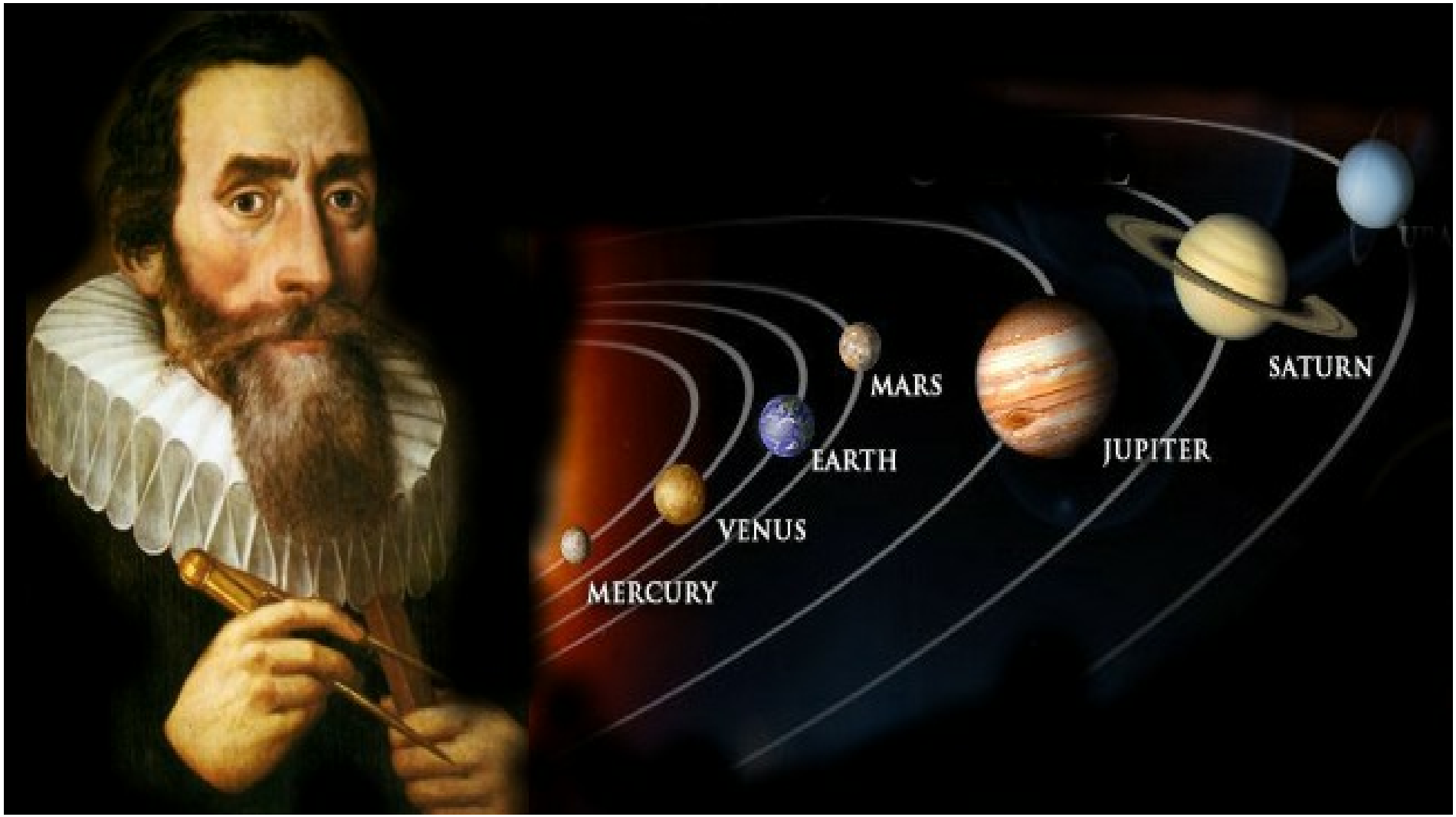


Thyco Brahe(1546 - 1601)



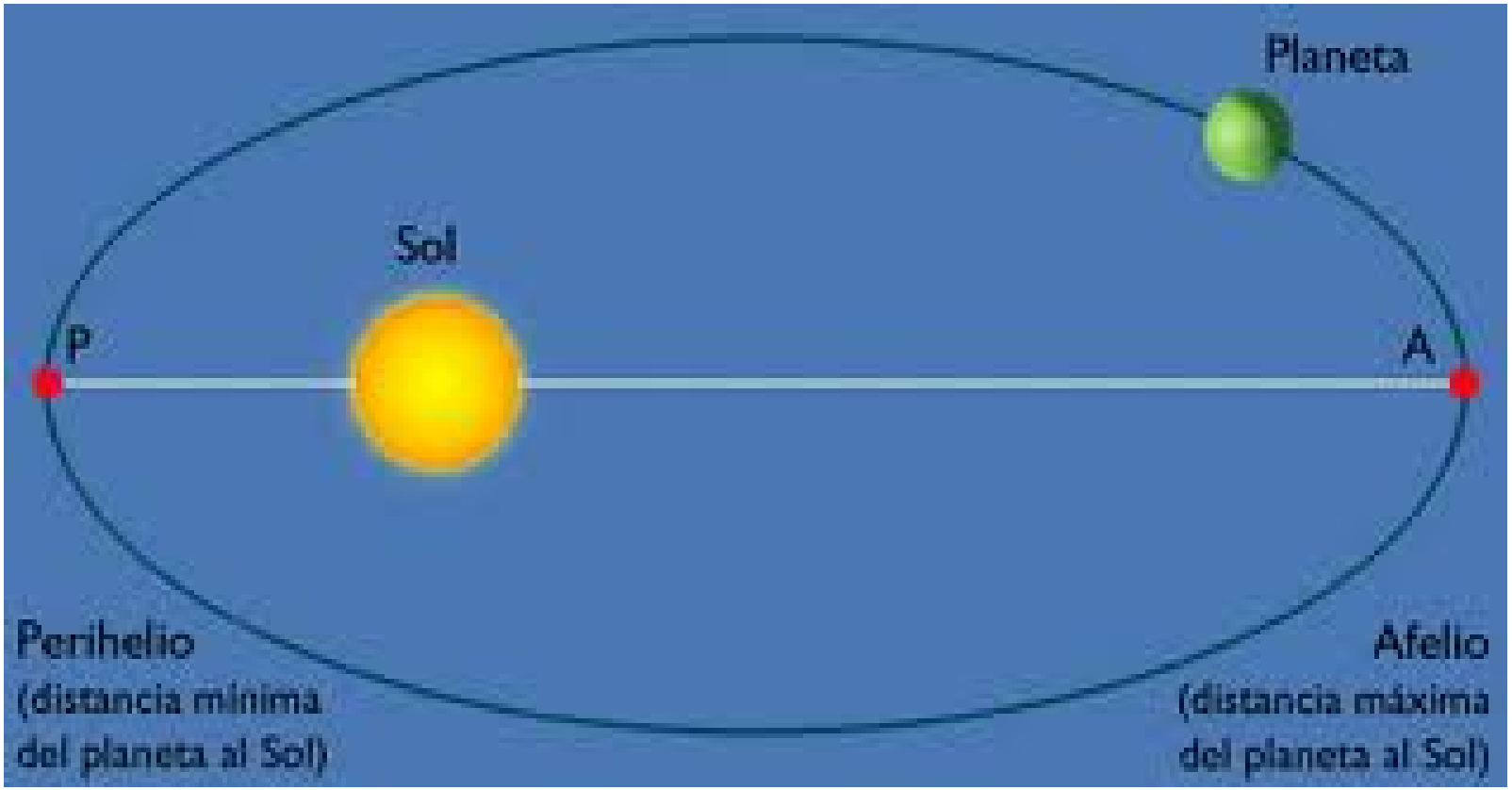
The Tychonic Model

Kepler(1571 - 1630)



Primera ley: Movimiento cerrado

Primera Ley (1609): Los planetas se desplazan alrededor del Sol describiendo órbitas elípticas. El Sol se sitúa en uno de los focos.



Pero si no es un círculo, y es cerrado... ¡Elipses!

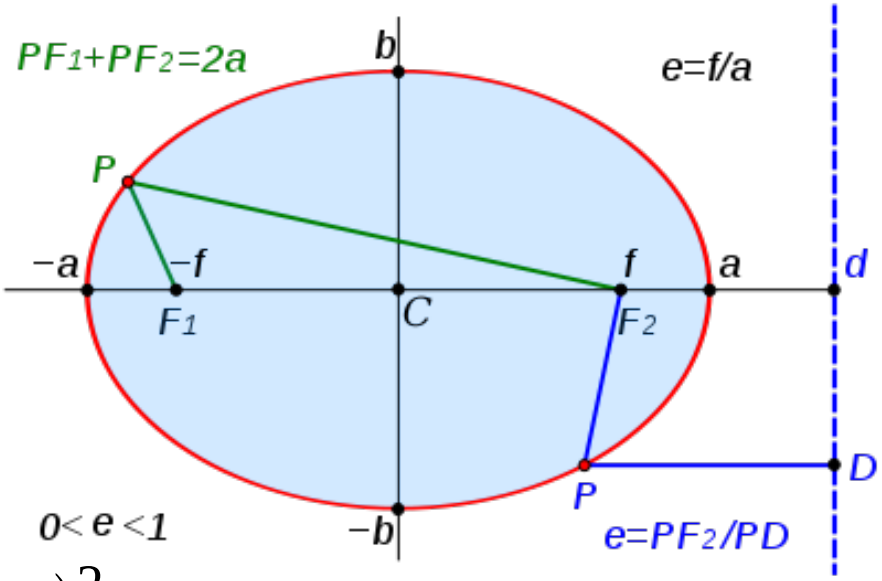
Recordemos que

- Elipse: Conjunto de puntos cuya suma de distancia a dos puntos dados es constante

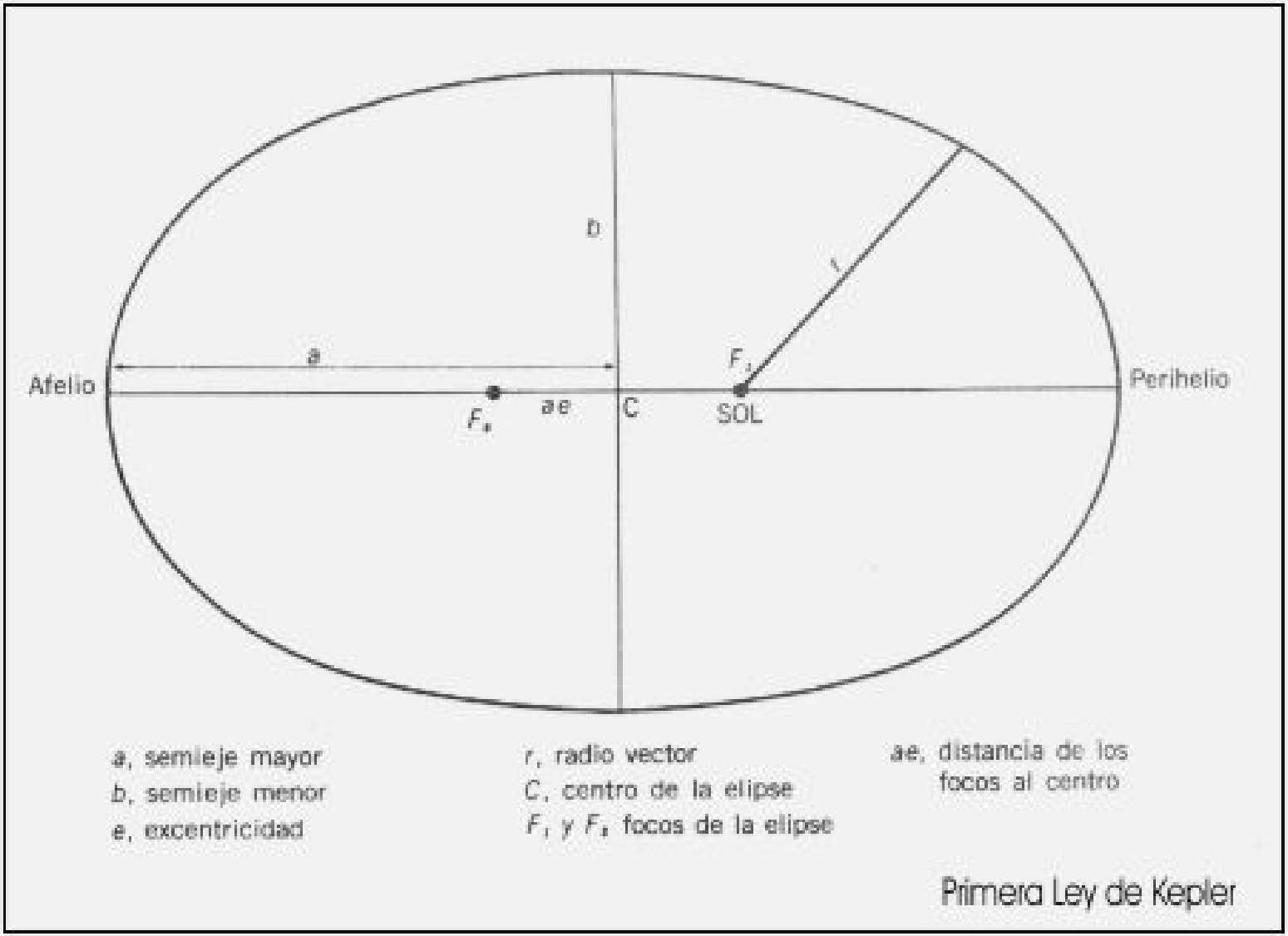
$$Elipse \Rightarrow \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

$$Hipérbola \Rightarrow \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$$

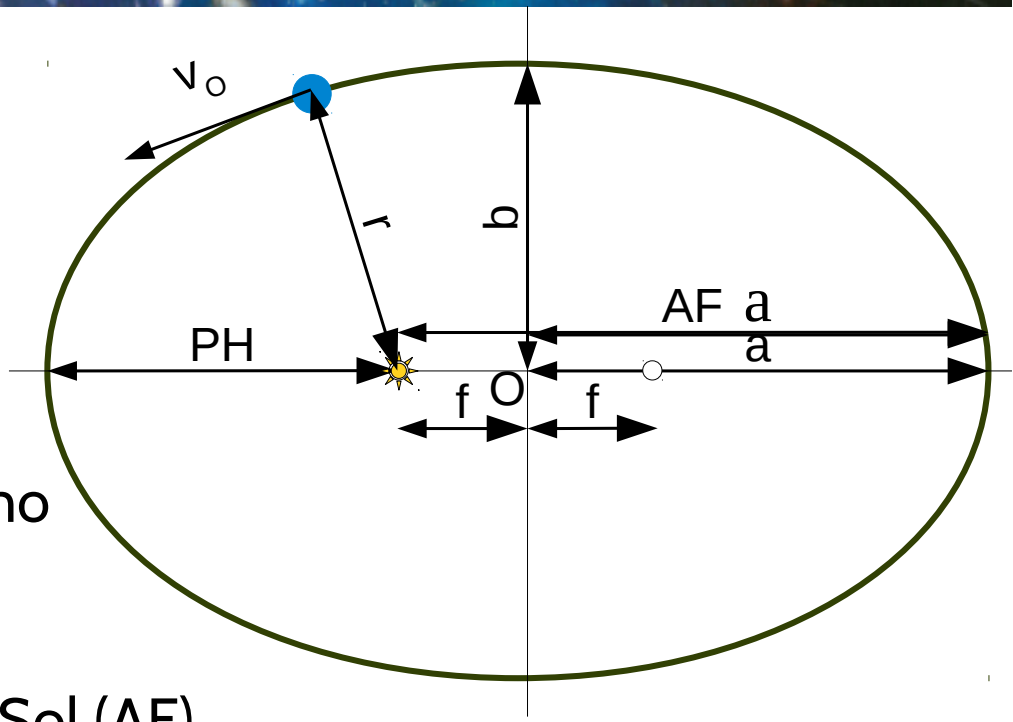
$$Parábola \Rightarrow y - y_0 = 4p(x - x_0)^2$$



Propiedades de la elipse



Parámetros orbitales



- **Centro**: O
- **Radio mayor**: a
- **Radio menor**: b
- **Radio vector**: r
- **Perihelio**: Punto de la órbita más cercano al Sol (PH)
- **Afelio**: Punto de la órbita más lejano al Sol (AF)
- **Distancia media**: (PH+AF)/2=a
- **Excentricidad**: ε Elipse: $0<\varepsilon<1$
  parámetro que determina el grado de desviación de una sección cónica respecto a la circunferencia ($\varepsilon=0$)

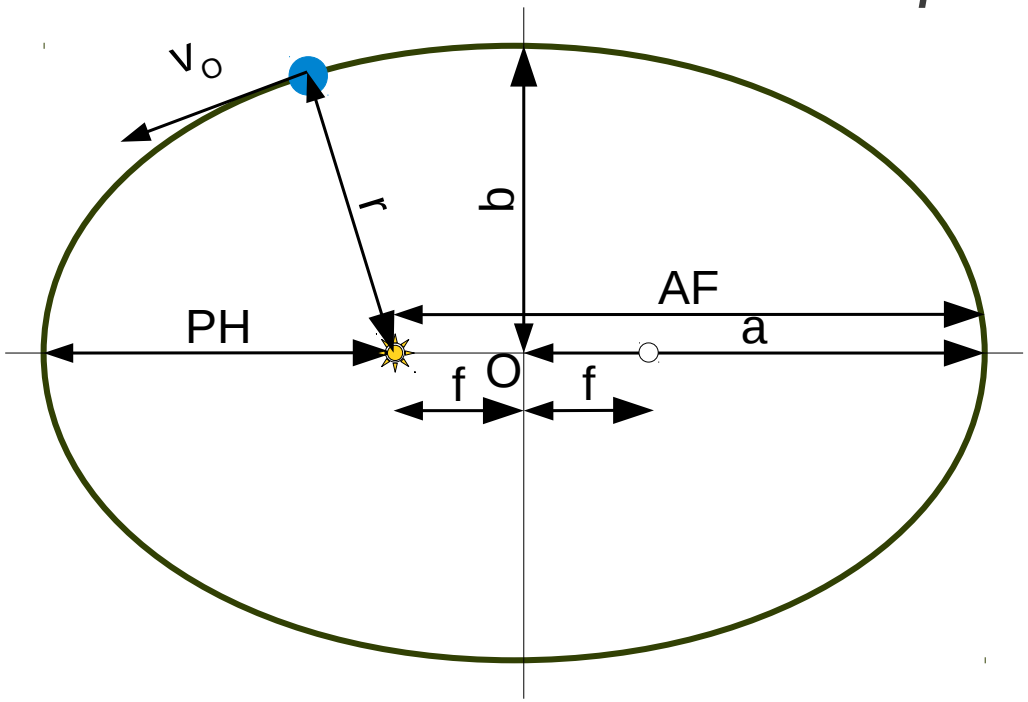
$$\epsilon=\sqrt{1-\frac{b^2}{a^2}}$$

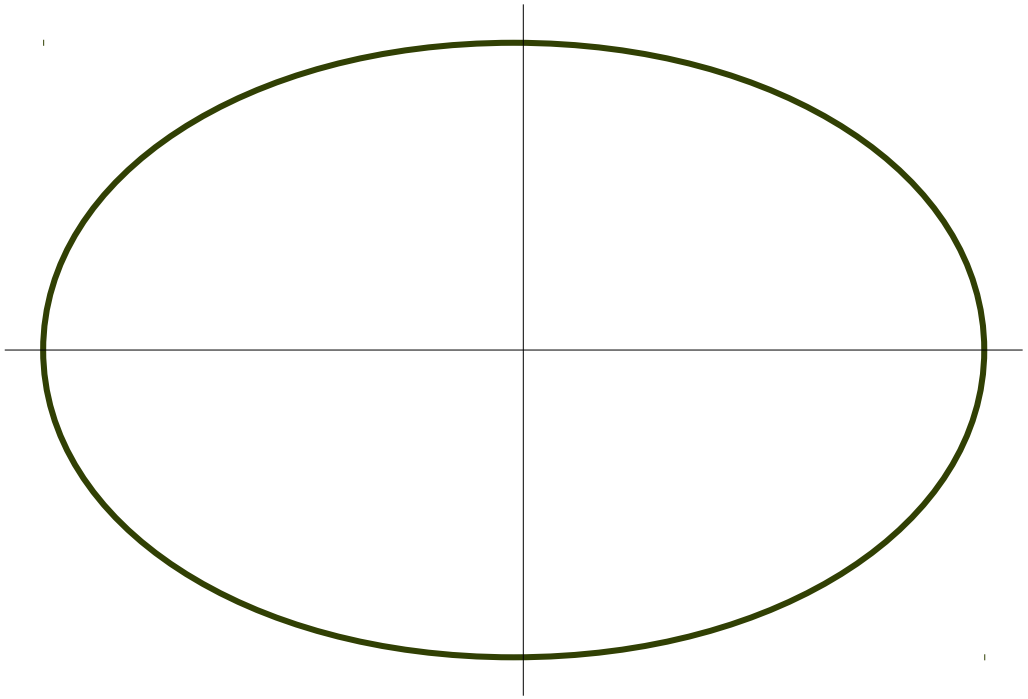
- **Velocidad orbital**: Depende de la posición $v_O(r)$

Un problema

- Utilizando las propiedades de la elipse, demuestre que la distancia f entre el centro de la elipse y uno de los focos está dada por:

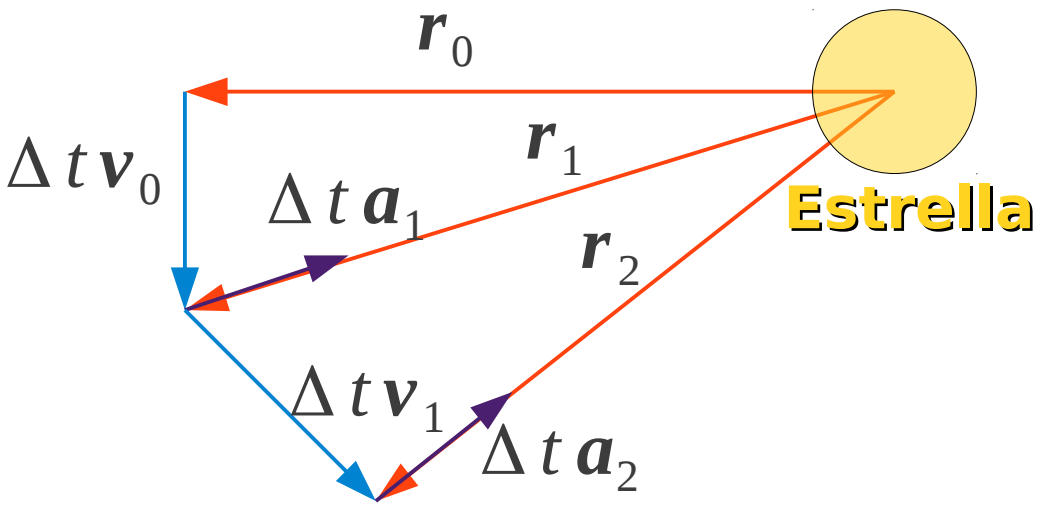
$$f = \epsilon a$$

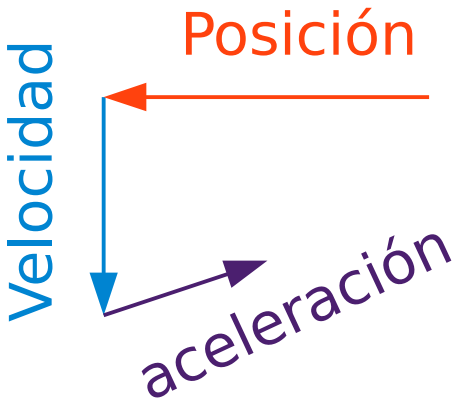




¿cómo se mueve un planeta?

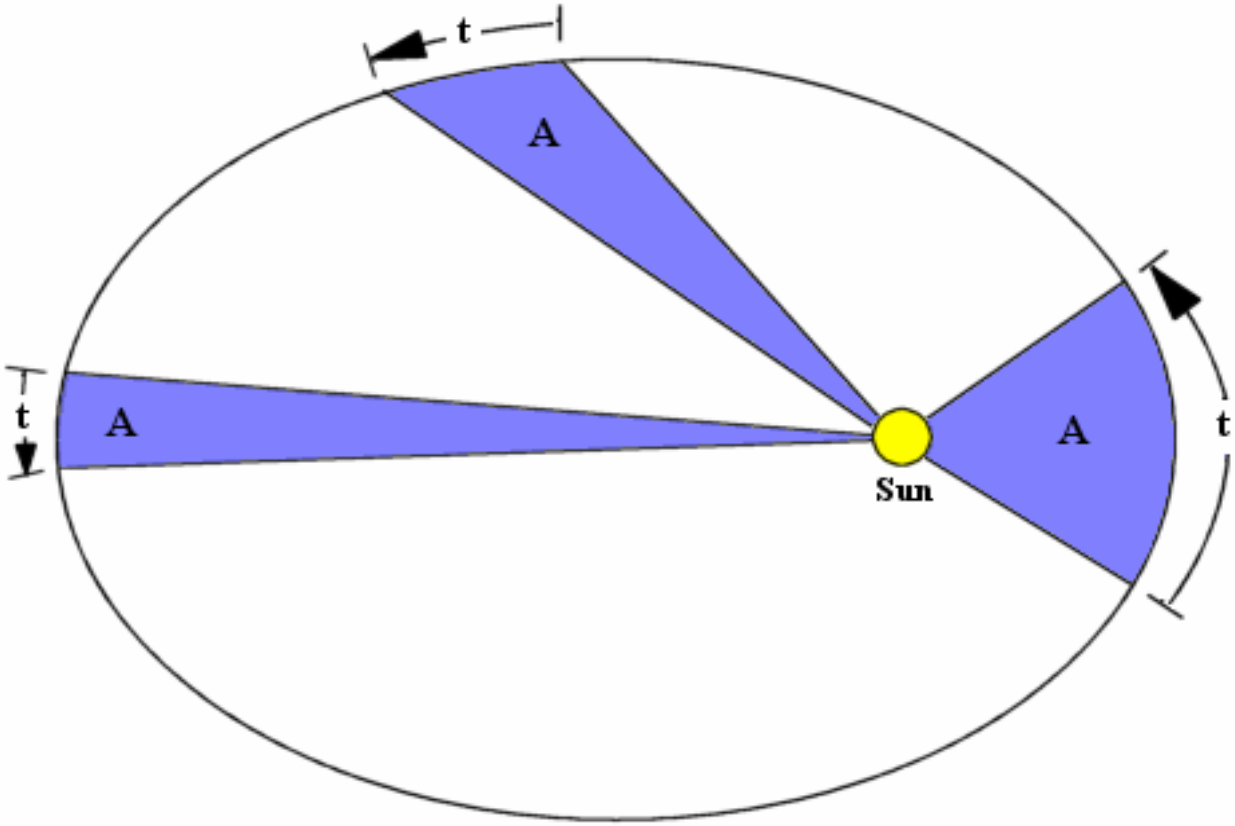
- El movimiento no es circular, pero L es constante
- Si L es constante → L = mrv → r v = "cte"
  - Aumenta r, disminuye v; disminuye r, aumenta v





Segunda ley: Conservación Cant. Mov. Angular

Segunda Ley (1609): El radio vector que une el planeta y el Sol barre áreas iguales en tiempos iguales



$$\boxed{\frac{A}{t}=\text{cte}} \Rightarrow \frac{A_1}{t}=\frac{A_2}{t}$$

$$\frac{b_1 \times r_1}{2t}=\frac{b_2 \times r_2}{2t}$$

$$\frac{v_1 t \times r_1}{t}=\frac{v_2 t \times r_2}{t}$$

$$\boxed{v_1 r_1 = v_2 r_2}$$

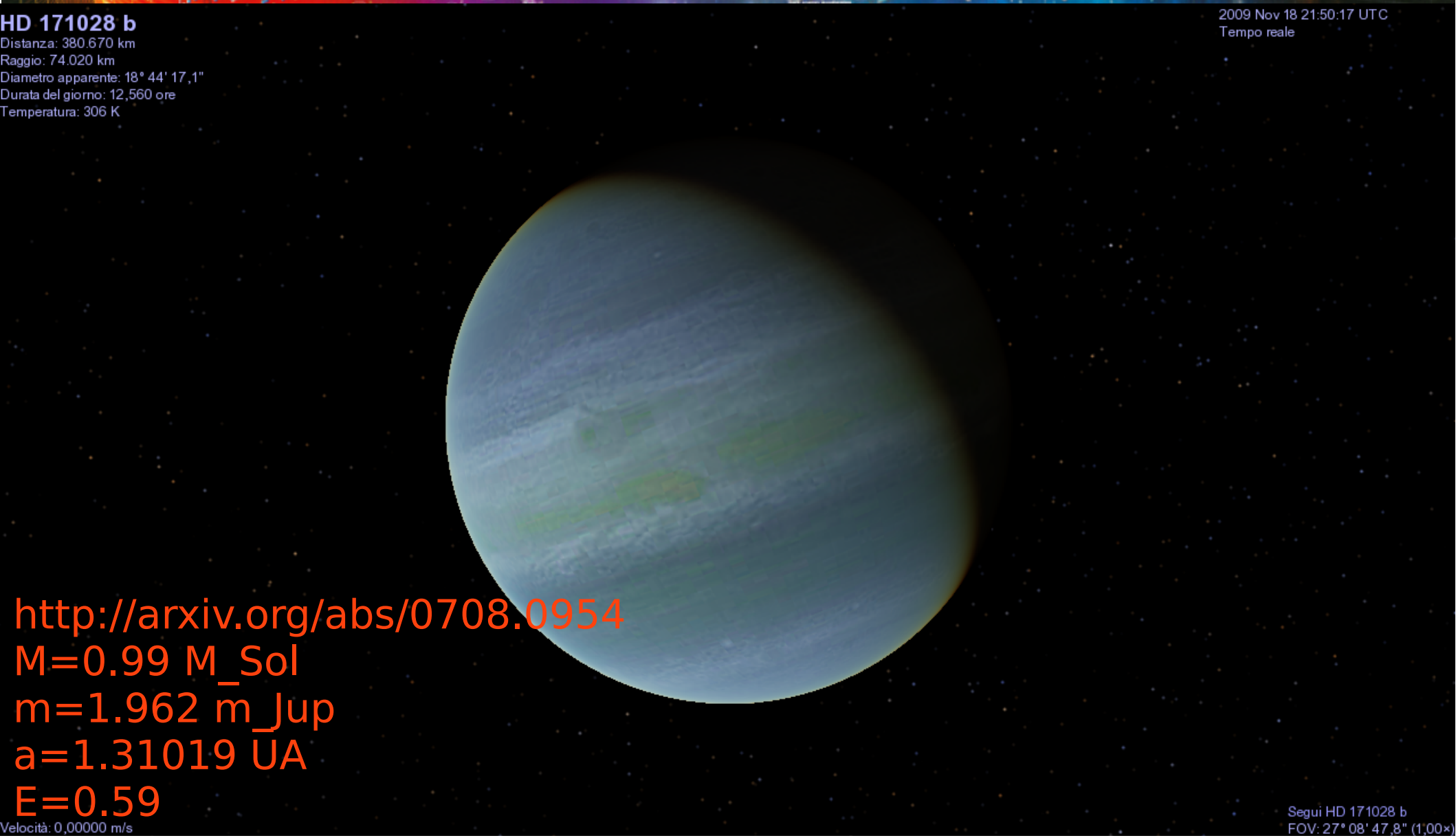
$$m v_1 r_1 = m v_2 r_2$$

$$\Rightarrow L_1 = L_2 \Rightarrow \boxed{L=\text{cte}}$$

$$\text{y además } v_1 = v_2 \frac{r_2}{r_1}$$

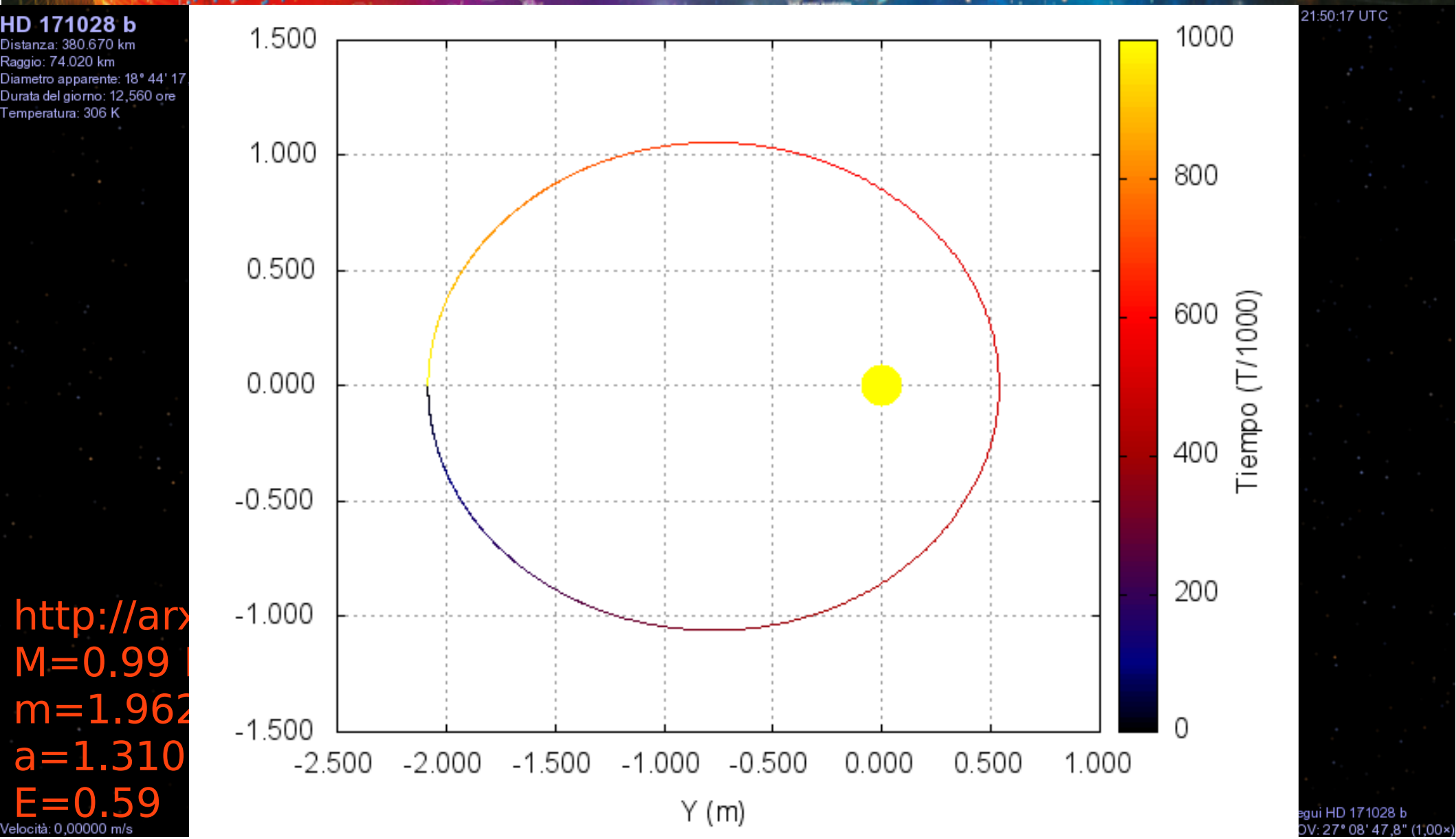
$$\boxed{\text{Si } r_1 < r_2 \Rightarrow v_1 > v_2}$$

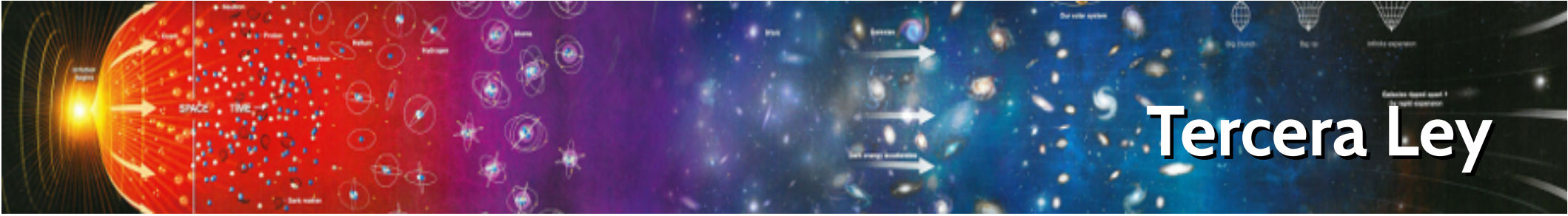
Y también fuera del Sist. Solar: HD_171028_b



http://arxiv.org/abs/0708.0954
M=0.99 M_Sol
m=1.962 m_Jup
a=1.31019 UA
E=0.59

Y también fuera del Sist. Solar: HD_171028_b





Tercera Ley

Tercera Ley (1618): El cuadrado del período orbital (tiempo que tarda en dar una vuelta alrededor del Sol, T) es directamente proporcional al cubo de la distancia media al Sol (a, igual al semieje mayor de la elipse).

$$T^2 = k_{\mathrm{Sol}}\, a^3$$

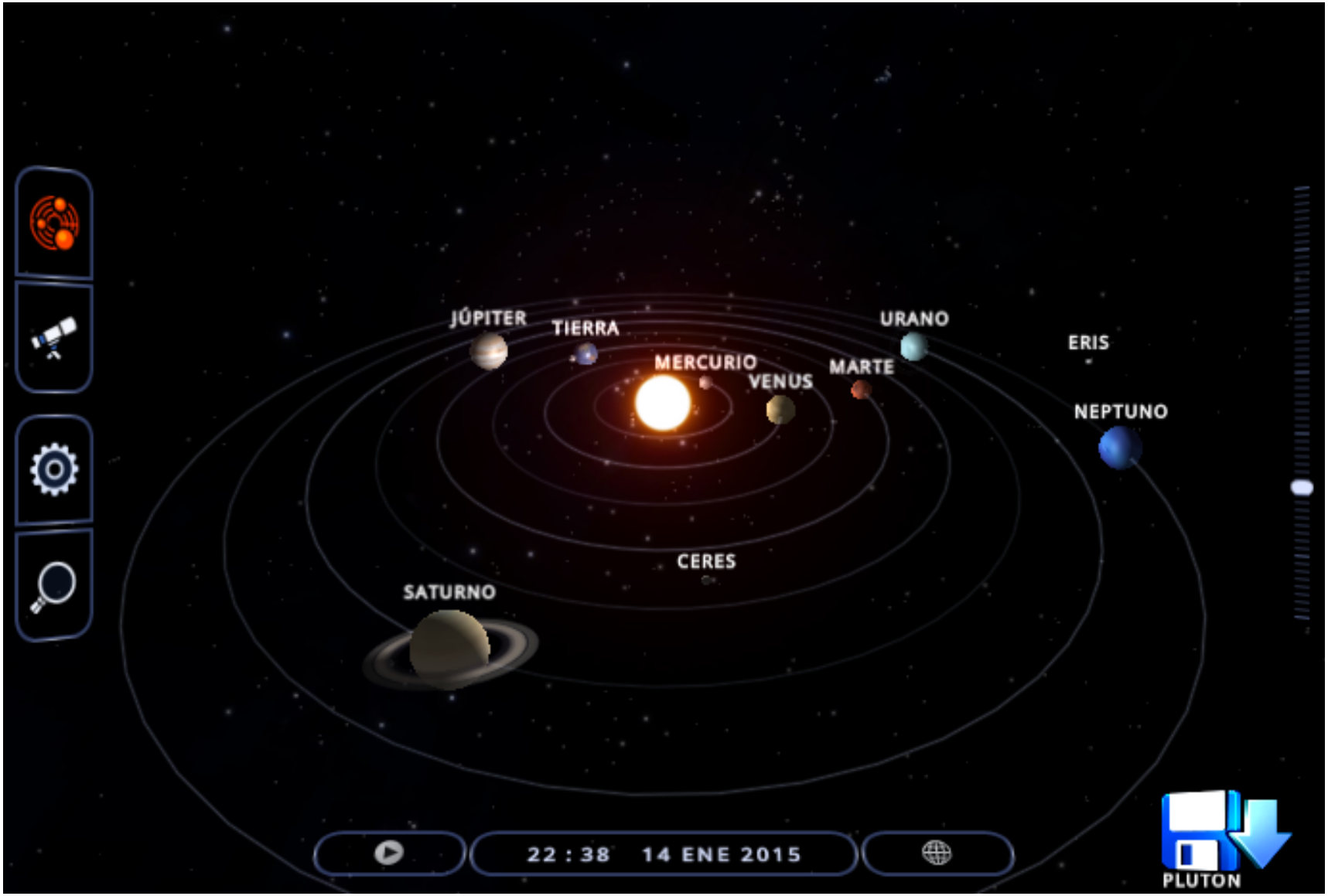
Calcule k_{Sol} y $1/k_{Sol}$ en unidades del SI (m y s) y en años y unidades astronómicas

$$\frac{T^2}{a^3} = \left(\frac{4\pi^2}{G\, m_{\mathrm{Sol}}}\right) \equiv k_{\mathrm{Sol}}$$

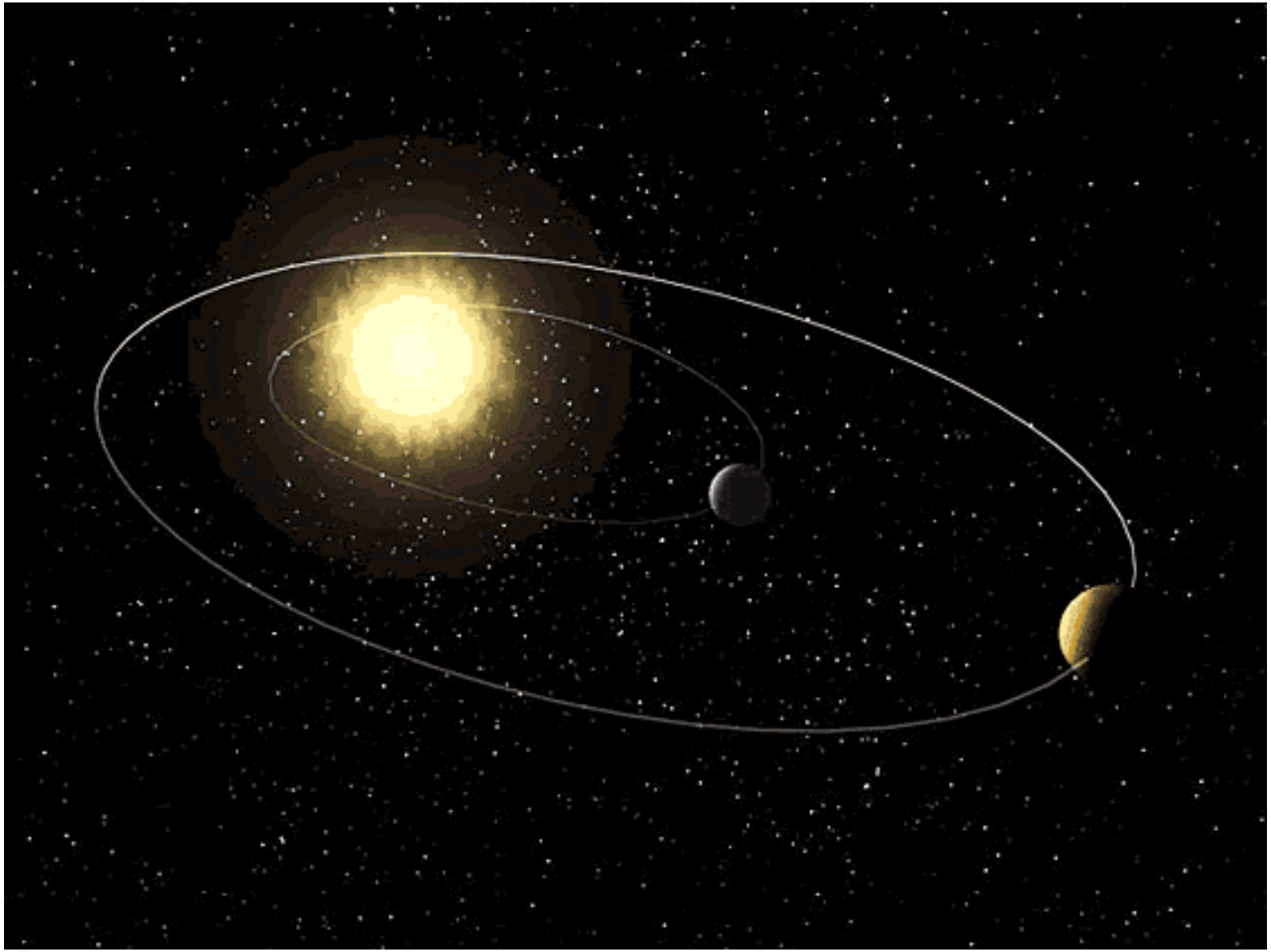
Recuerde que esta constante sólo depende de la masa del Sol y, por lo tanto, es la misma para TODOS los objetos que orbitan al Sol.

"Solar System Scope"

http://www.solarsystemscope.com/es



Más cerca → más rápido, III, el regreso



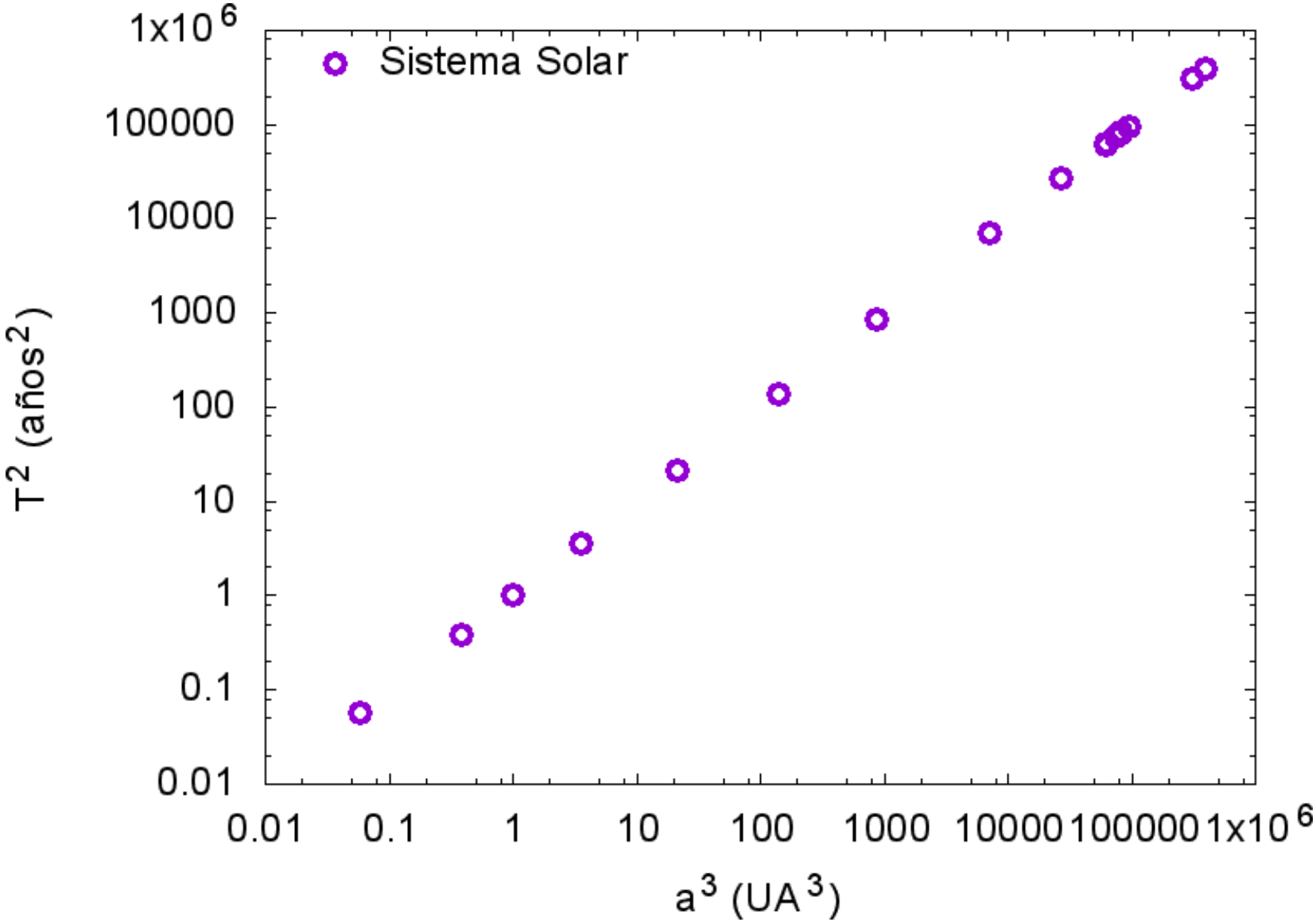
Para el Sistema Solar

- Si medimos a en Unidades astronómicas y T en años terrestres, *k=1*

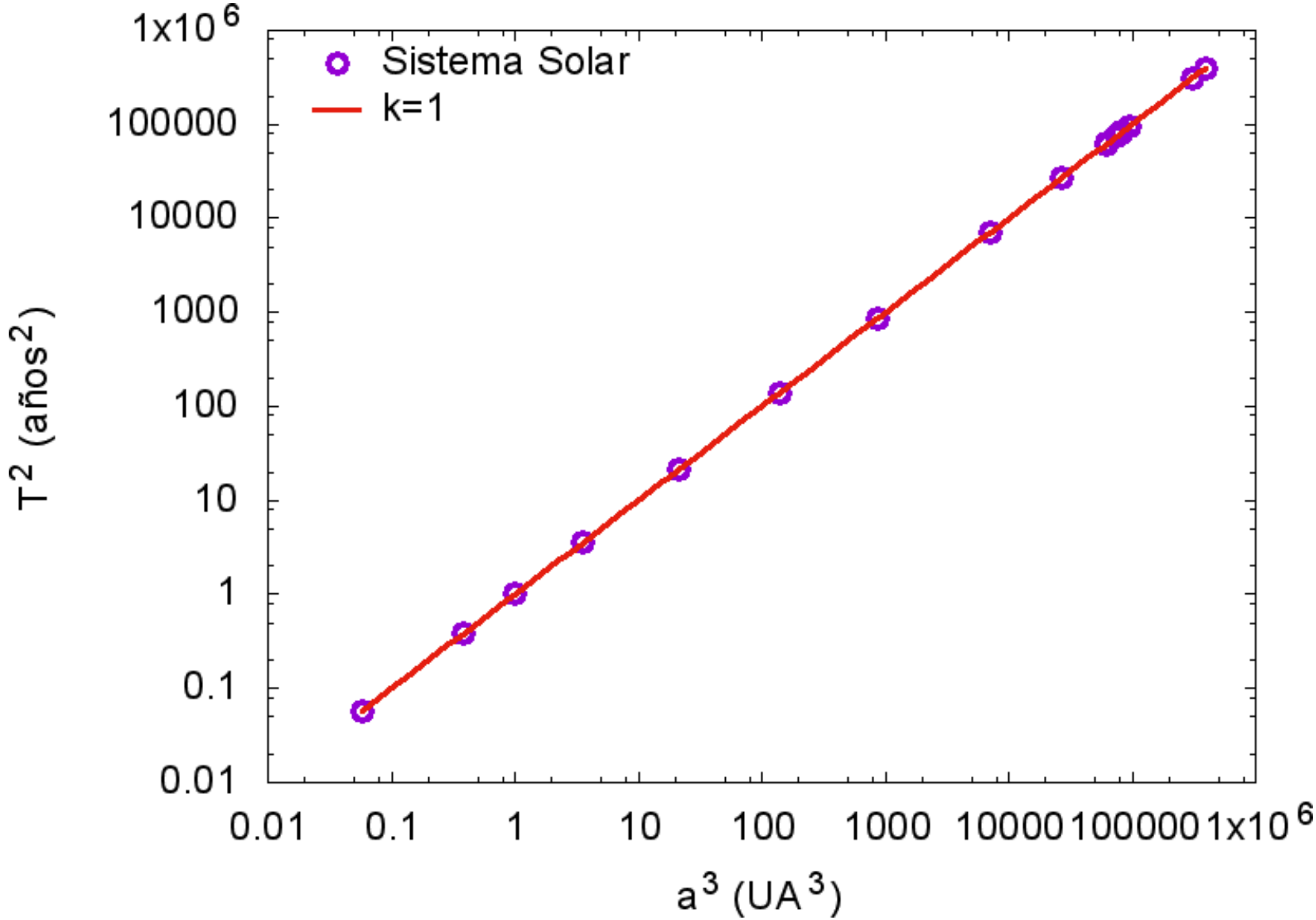
$$\left(\frac{T}{\text{año}}\right)^2 = \left(\frac{a}{\text{U.A.}}\right)^3$$

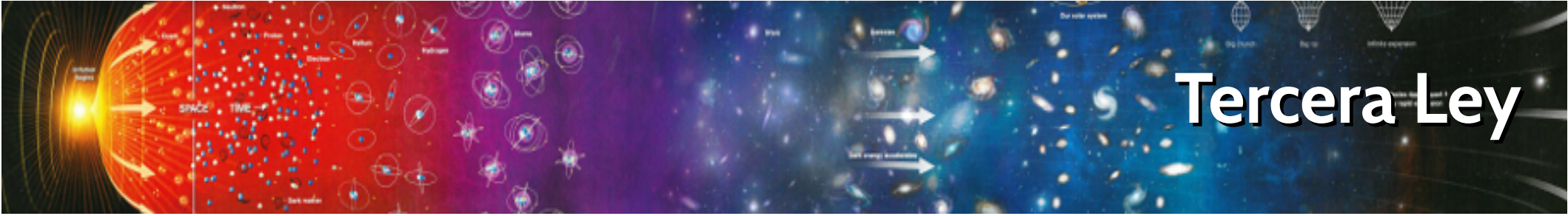
- (nota: pensar en la Tierra, T=1, a=1 entonces k=1)

¿Será verdad? → Datos!



¿Será verdad? → Datos!



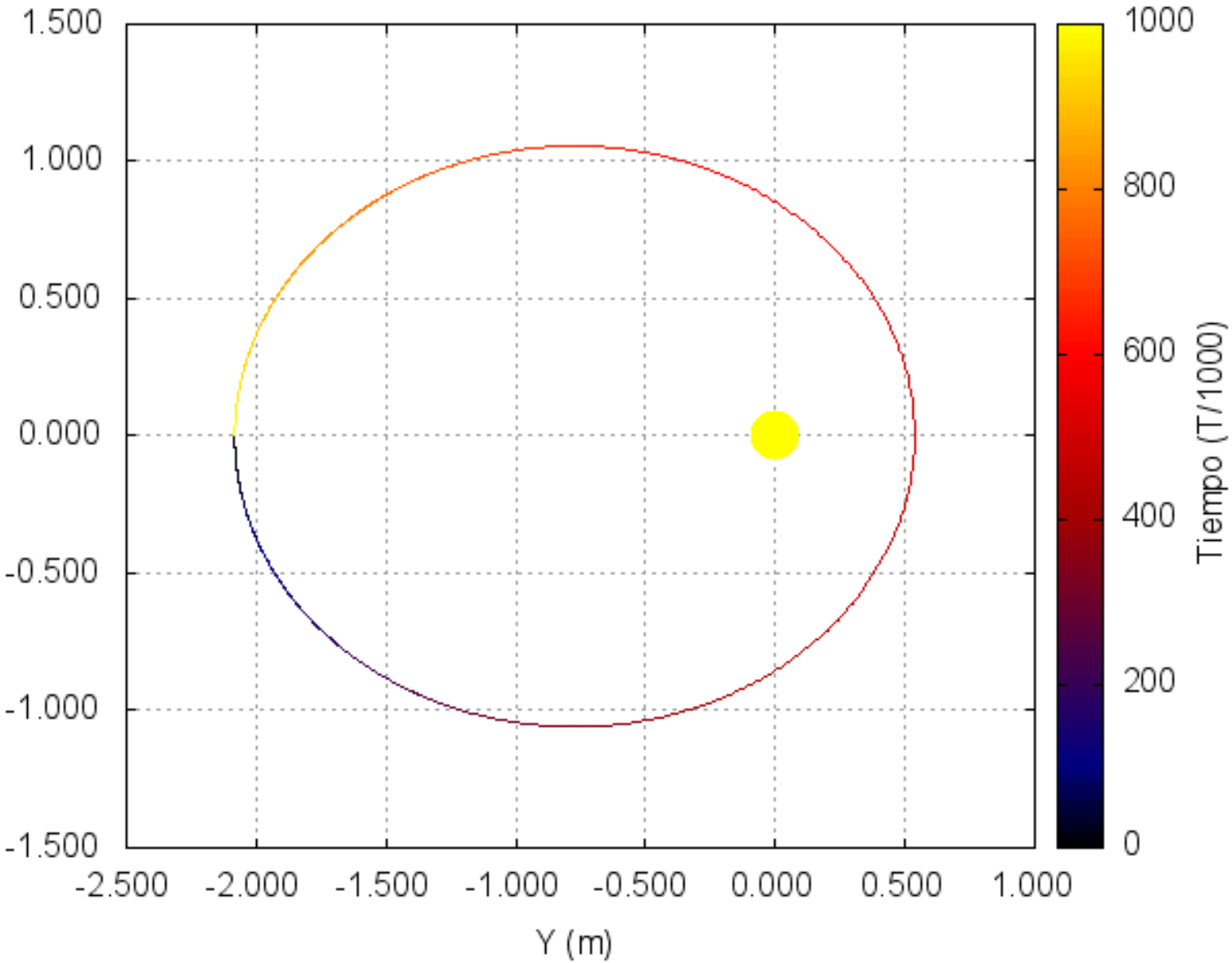


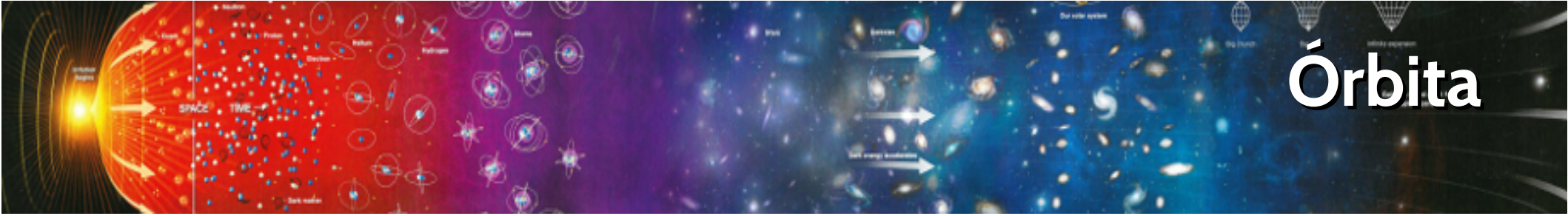
Tercera Ley

- Y vale para cualquier sistema orbital. Por ejemplo
  - calcule la masa de la Tierra sabiendo que el periodo orbital lunar es de 27,4 días y la distancia media es a=384800 km
  - calcule el radio de la órbita de Io sabiendo que su periodo orbital es de 43h y la masa de Júpiter es 1.899×10^{27} kg.

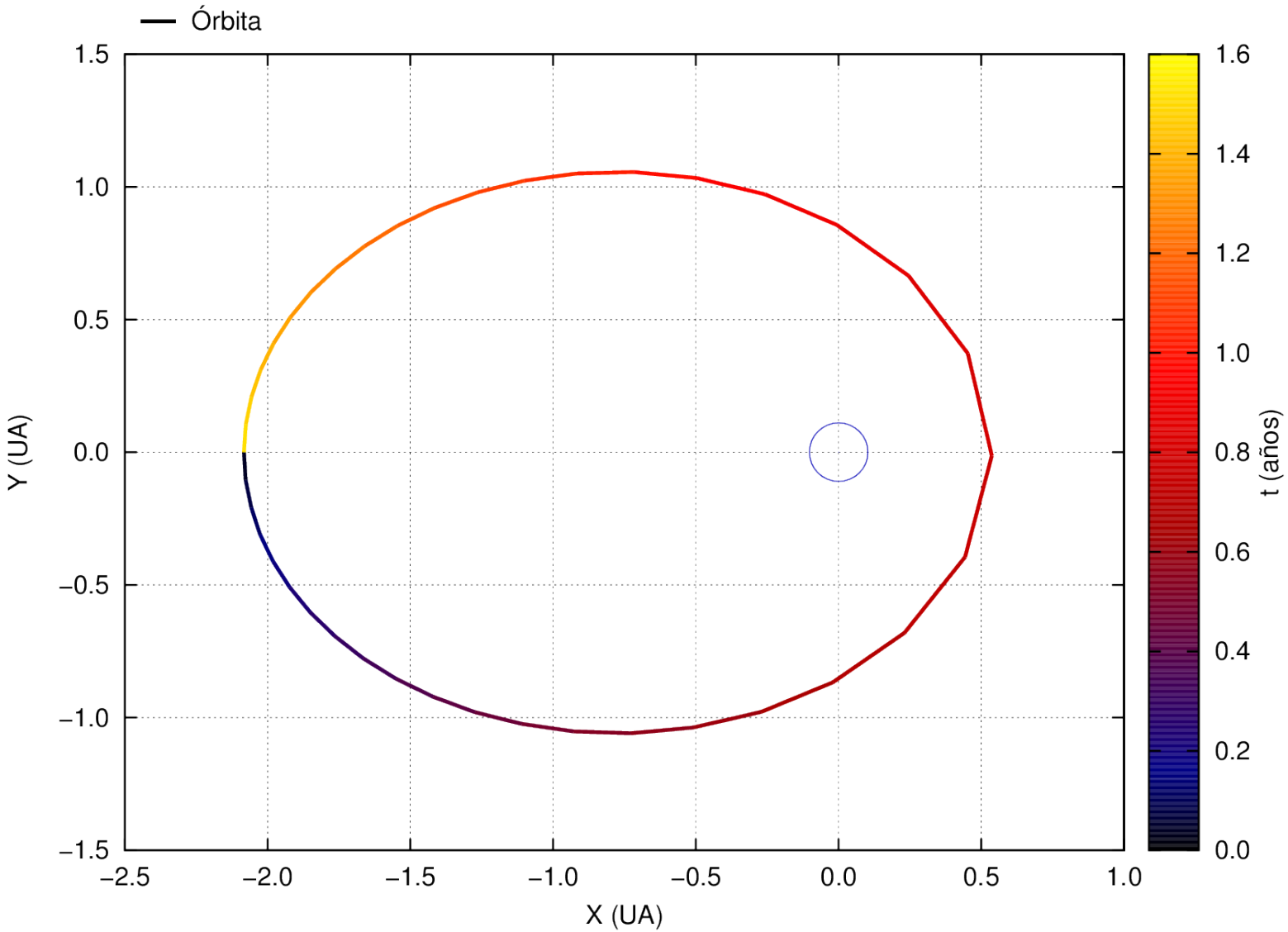
$$\frac{T^2}{a^3} = \left(\frac{4\pi^2}{G\, m_{\text{central}}} \right)$$

Algo más "tangible"

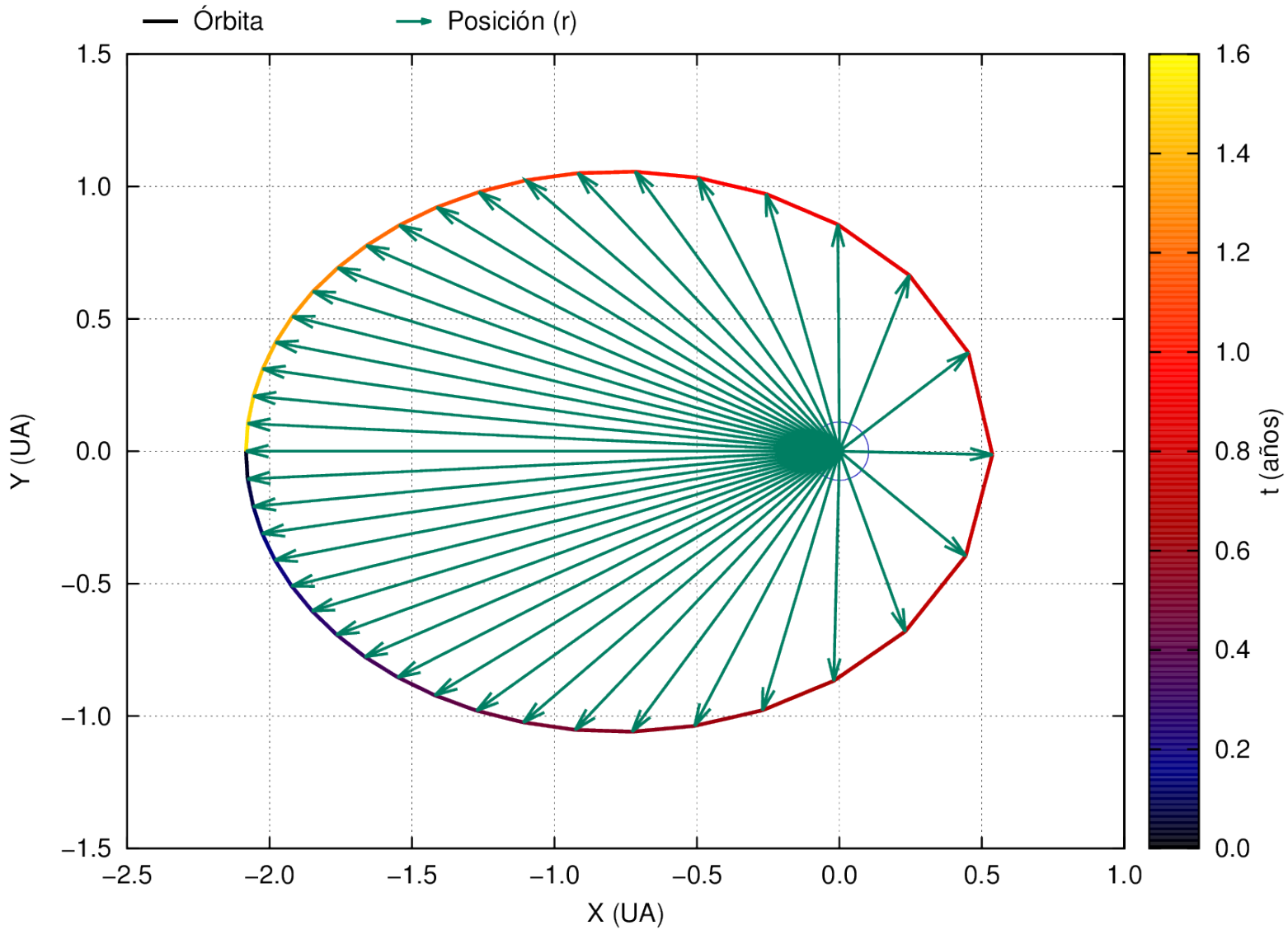




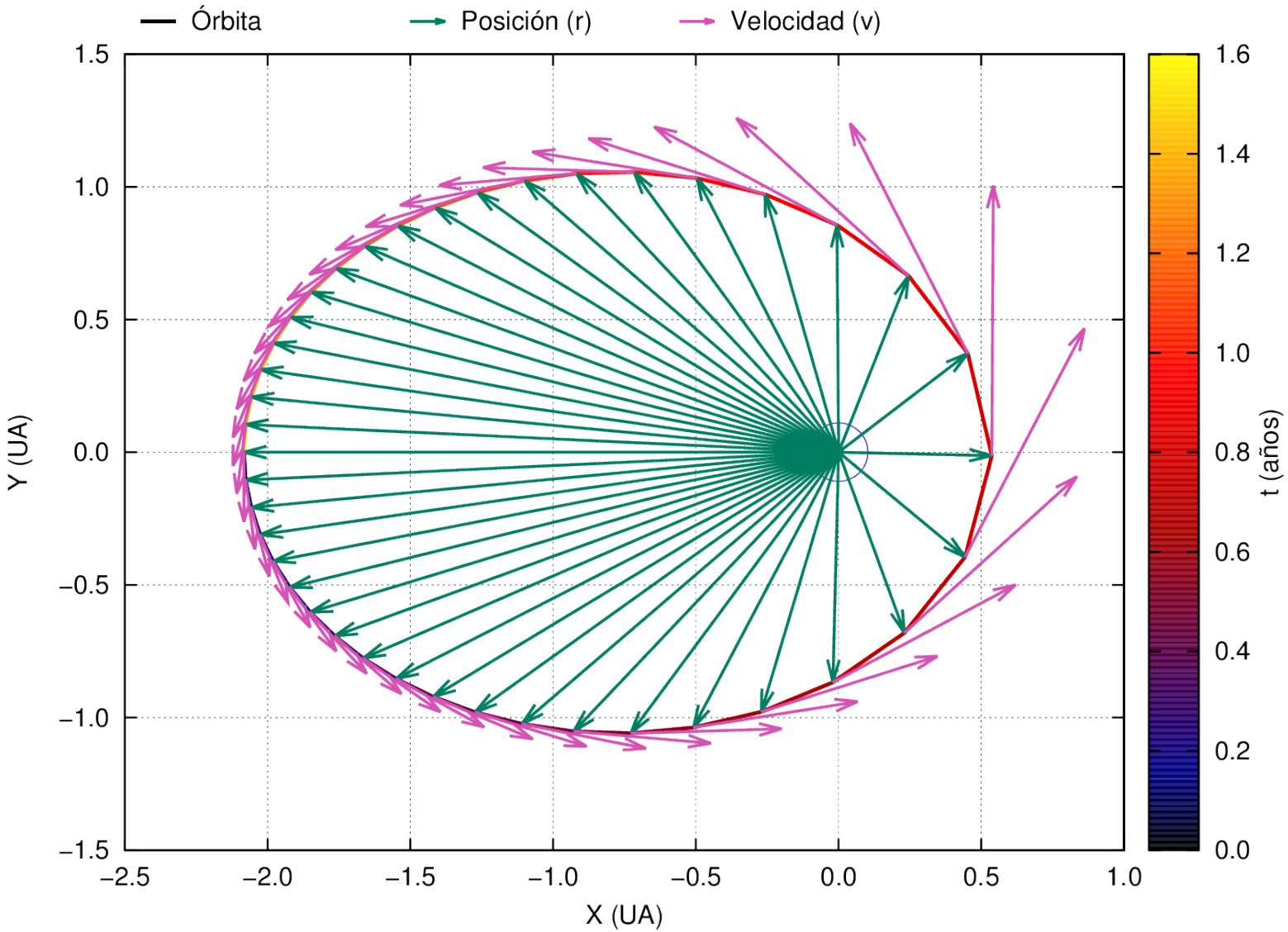
Órbita


Órbita
1.5
1.0
0.5
0.0
−0.5
−1.0
−1.5
Y (UA)
−2.5
−2.0
−1.5
−1.0
−0.5
0.0
0.5
1.0
X (UA)
1.6
1.4
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
t (años)

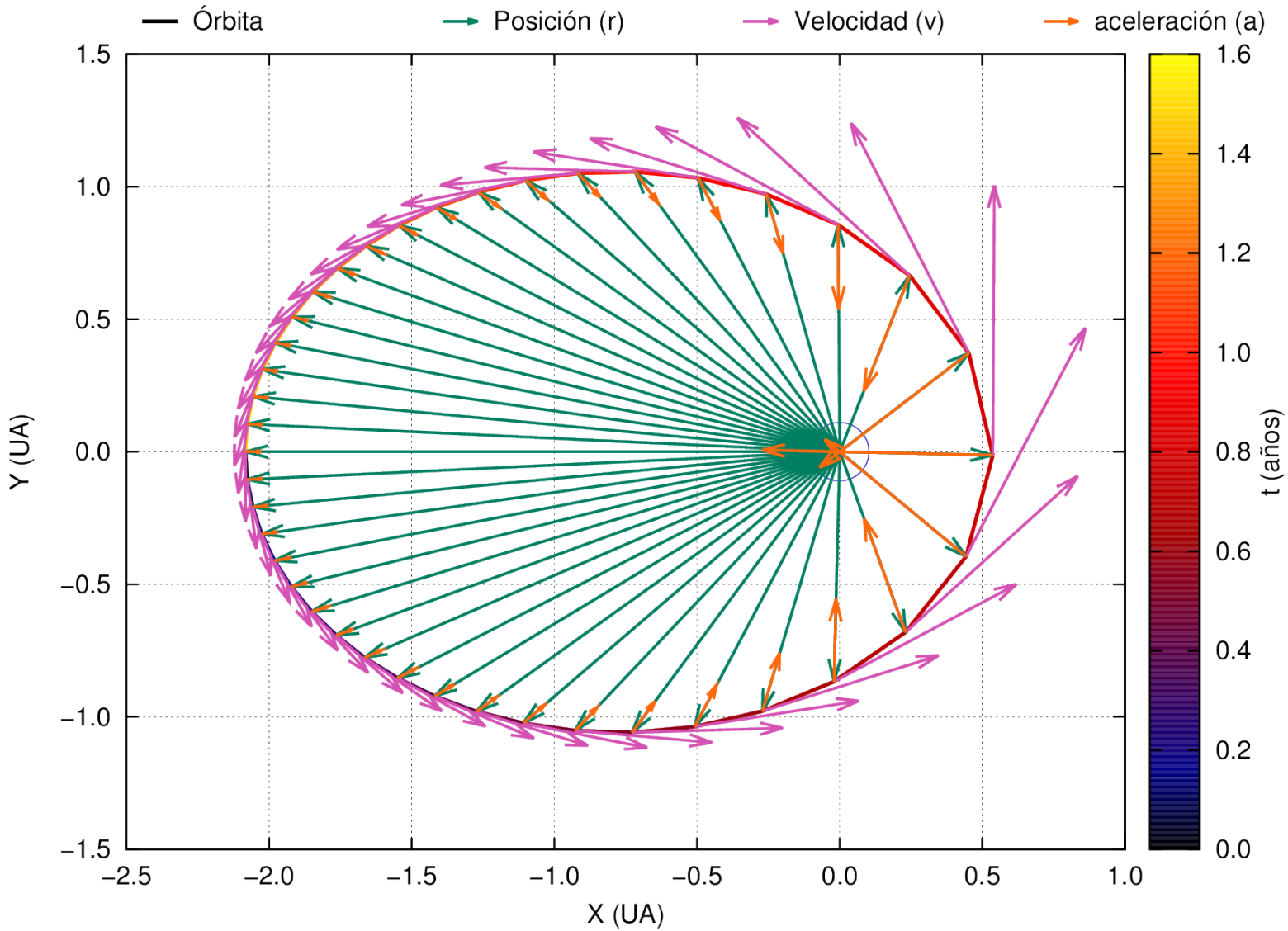
Órbita+posición



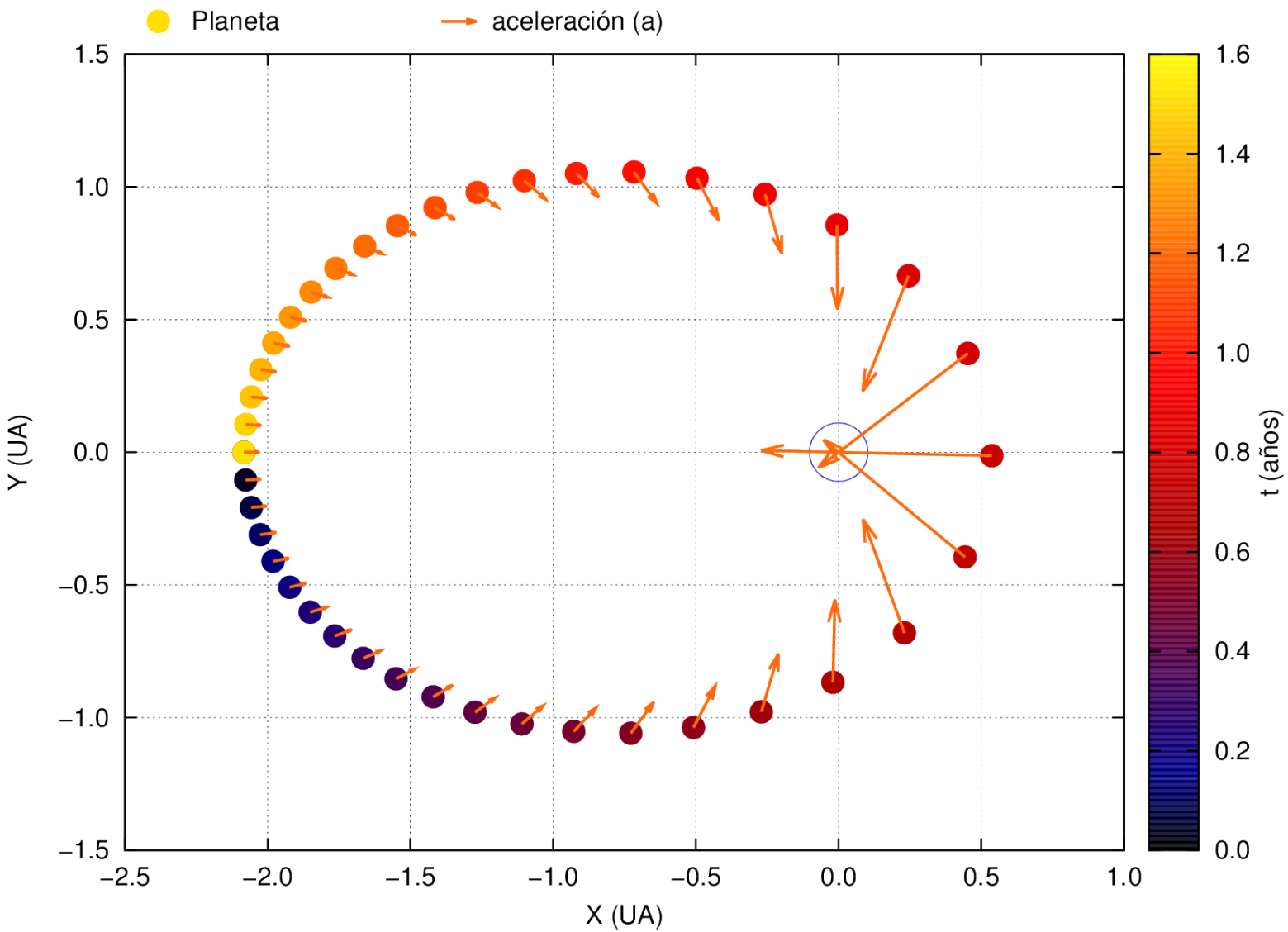
Órbita+posición+velocidad



Órbita+posición+velocidad+aceleración

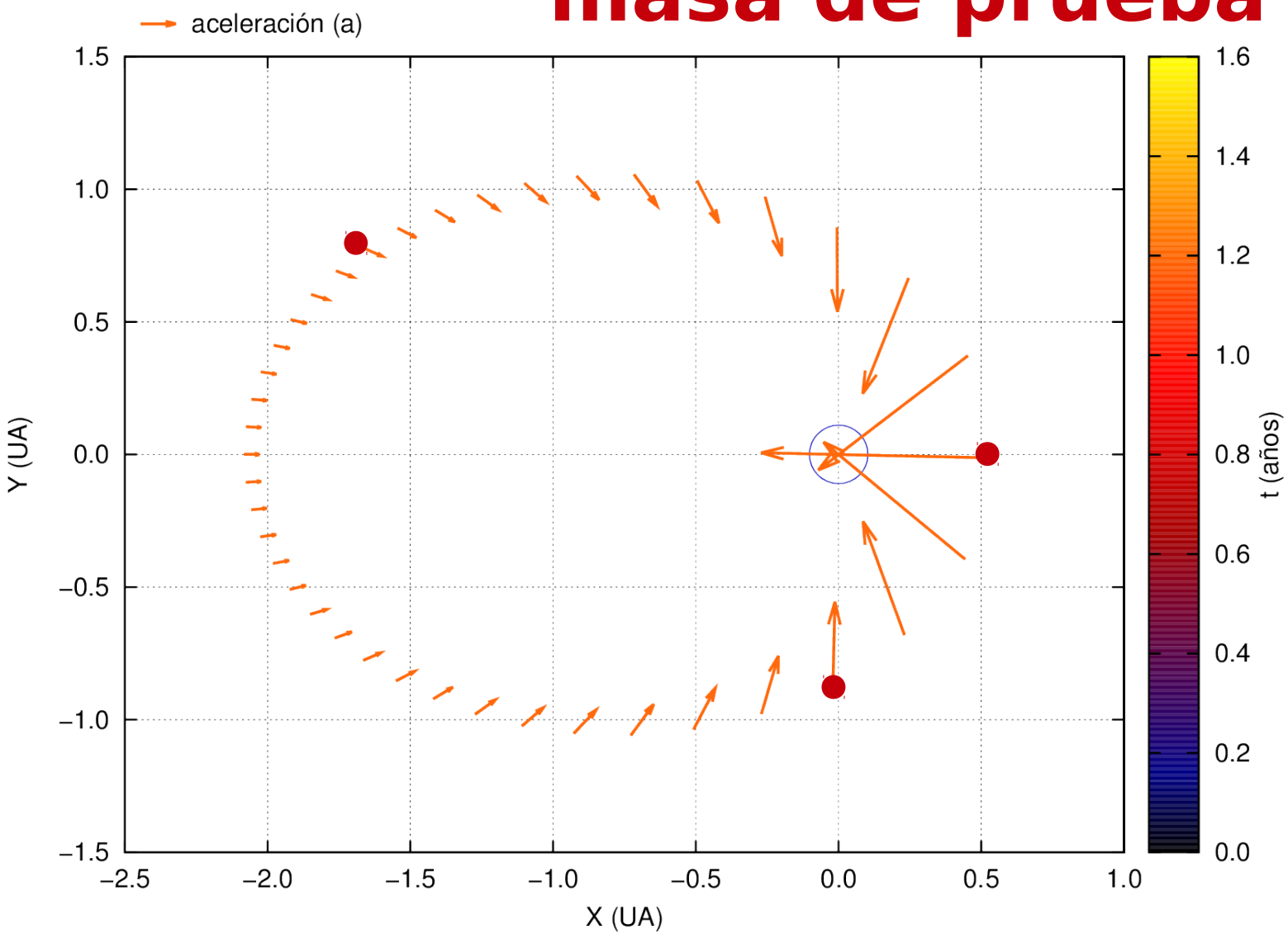


planeta+aceleración

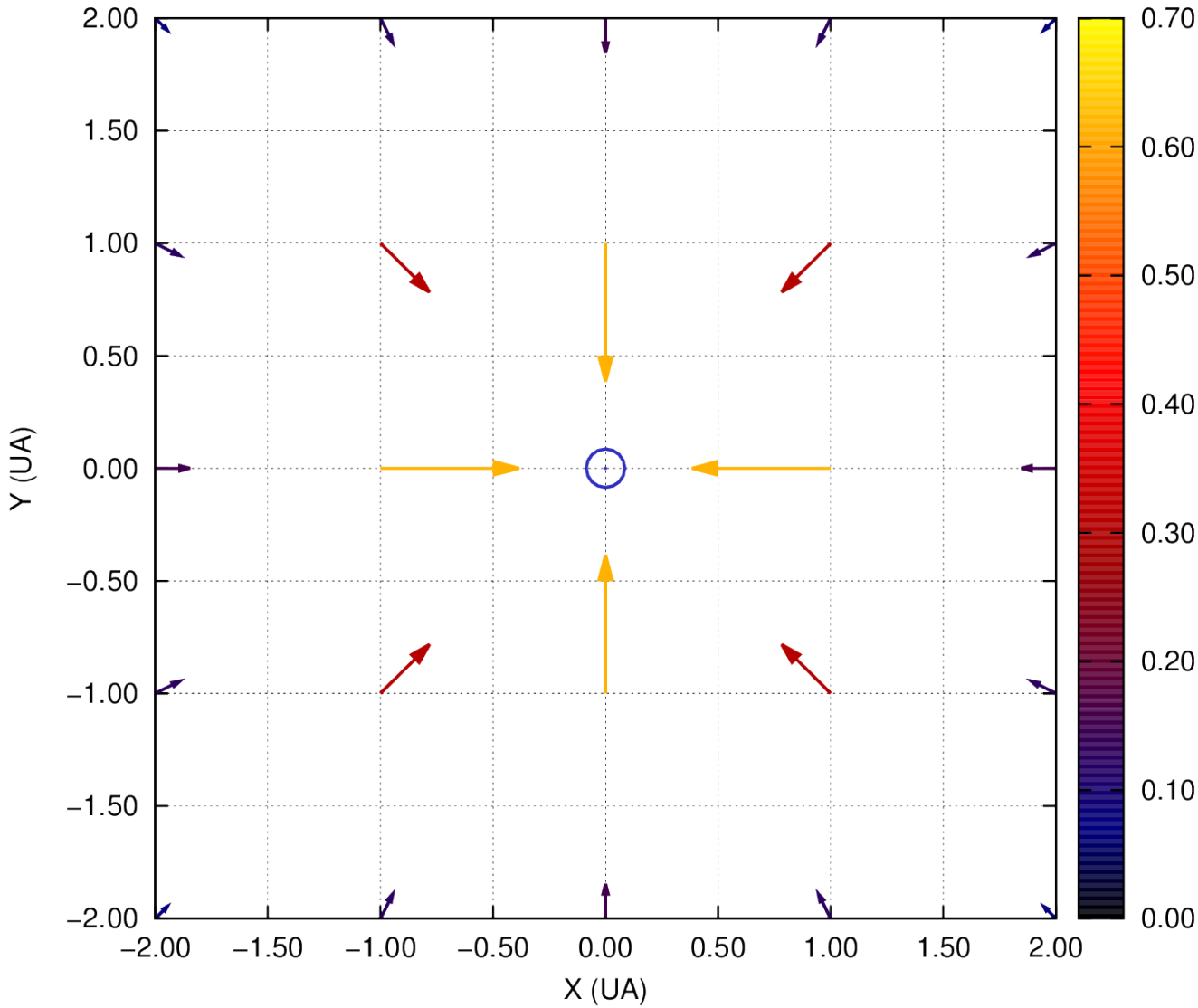


aceleración=Fuerza / masa

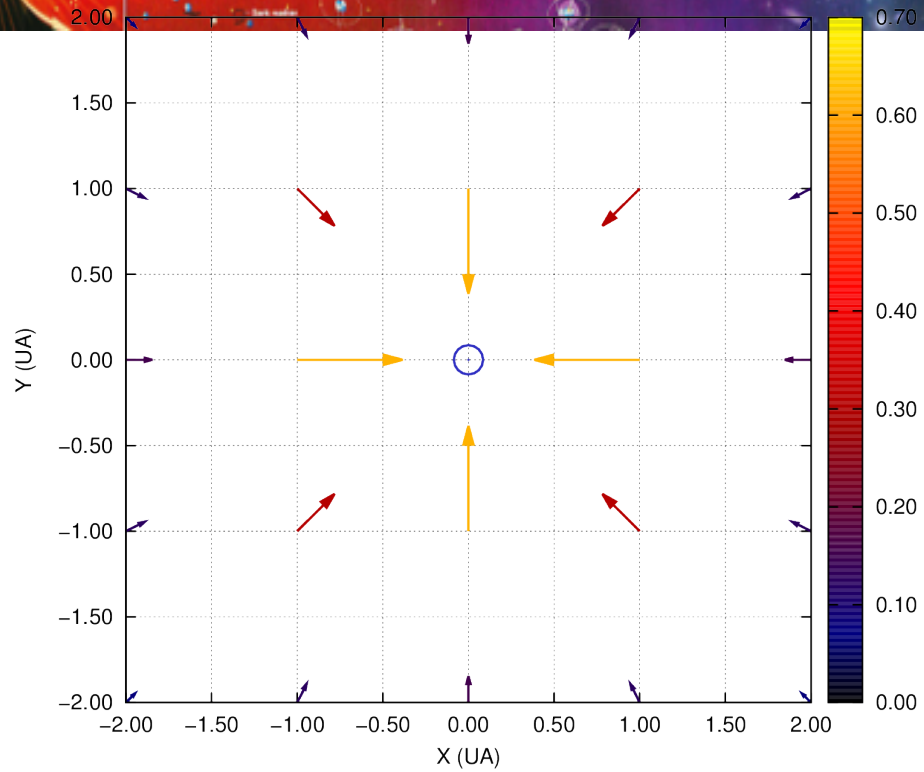
masa de prueba



Muevo la masa de prueba en el plano z=0



Muevo la masa de prueba en el plano z=0 → "Campo gravitatorio"



$$\vec{F}(r) = \frac{G\,M\,m}{|\vec{r}|^2}\,\hat{r}$$

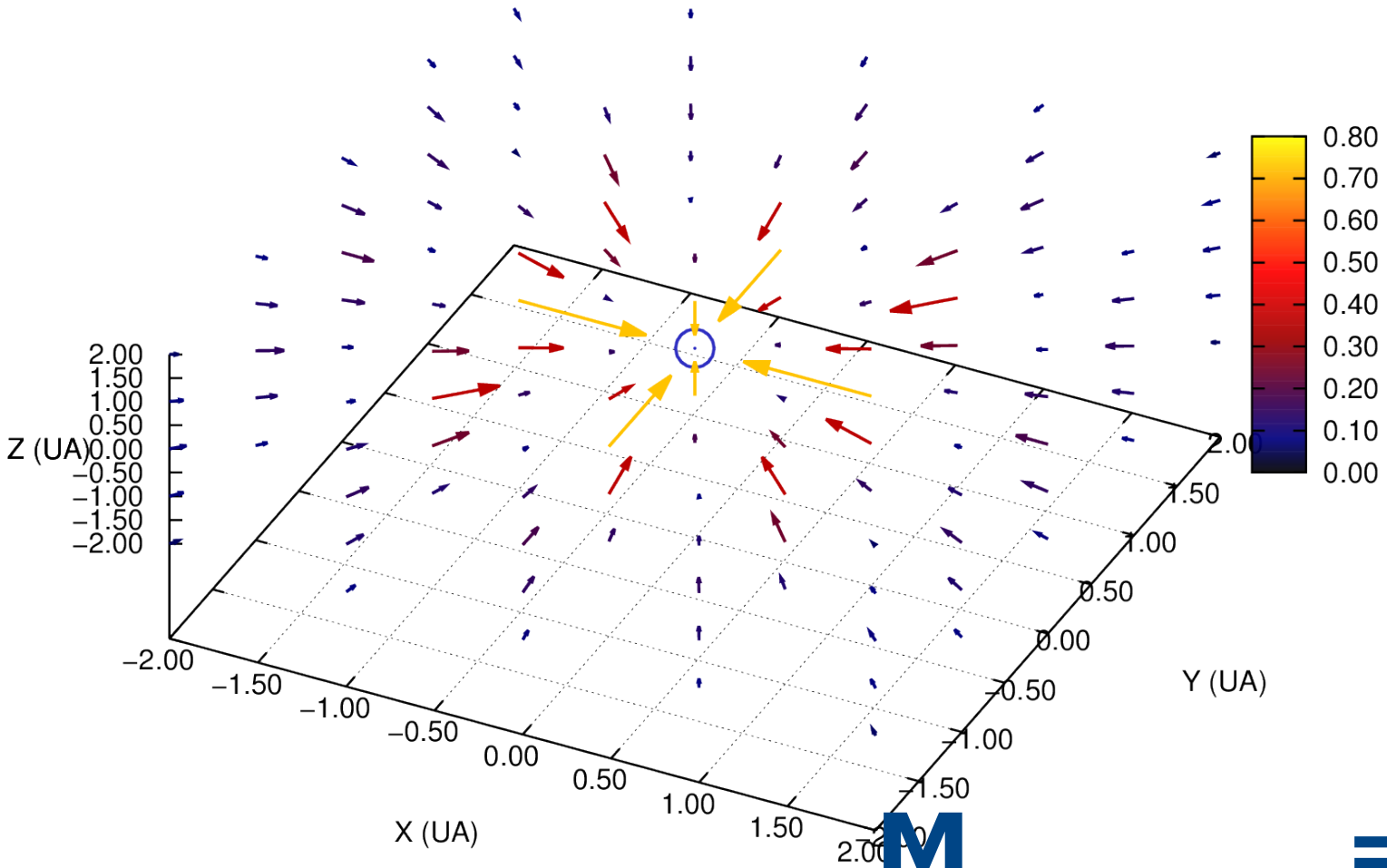
$$\vec{F}(r) = m\left[\left(\frac{G\,M}{|\vec{r}|^2}\right)\hat{r}\right]$$

$$\vec{F}(r) = m\,\vec{g}(r)$$

$$\boxed{\vec{g}(r) = \left(\frac{G\,M}{|\vec{r}|^2}\right)\hat{r}}$$

g(r) es un *campo vectorial*. A cada punto **r** del espacio le asigna el vector **g(r)**

g(r) representa al campo gravitatorio de la estrella HD171028D



$M_{HD171028D} = 0.99\ M_S$