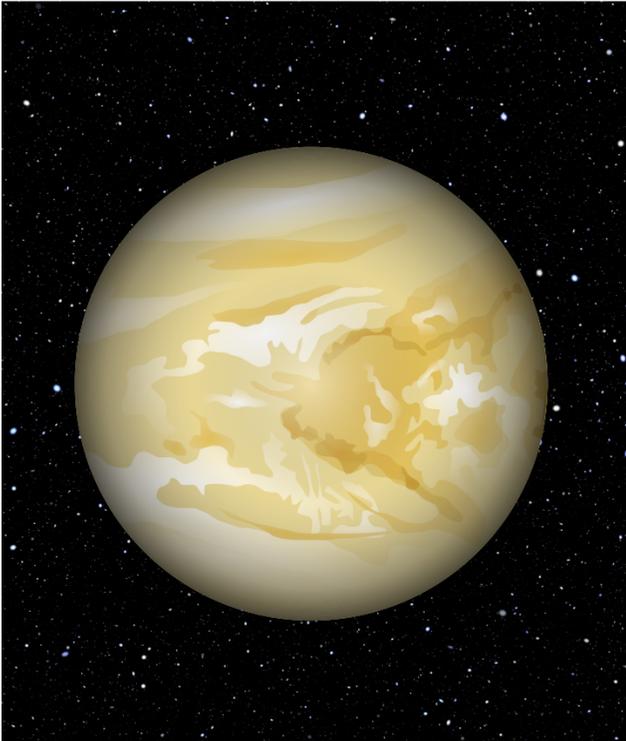


**SIMULACIÓN DE UN VIAJE  
ESPACIAL DESDE LA TIERRA  
HACIA VENUS UTILIZANDO UN  
PROBLEMA SIMPLIFICADO DE  
CUATRO CUERPOS**

SANTIAGO ALVAREZ CORDOBA  
ASESOR: ALBERTO QUIJANO  
UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
PROGRAMA DE FÍSICA



# OBJETIVOS ESPECÍFICOS

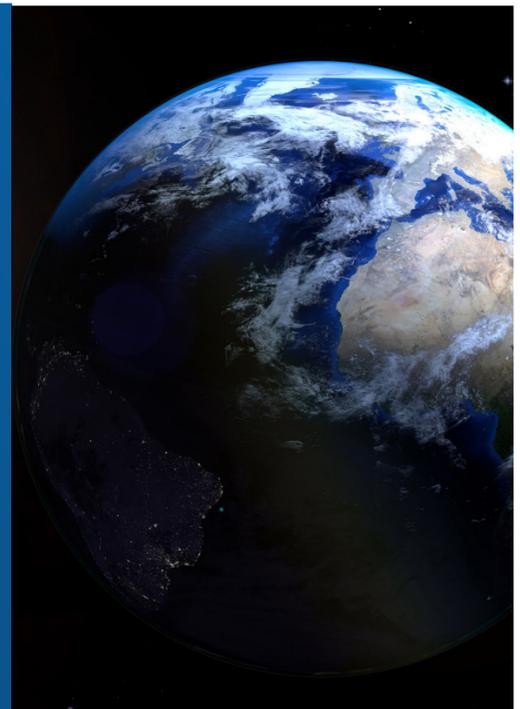


**03**

Disenar un código en Python para resolver el sistema de ecuaciones diferenciales

**04**

Disenar un código en Python para visualizar las trayectorias de la nave bajo diferentes condiciones iniciales



# VIAJE A LA LUNA L1



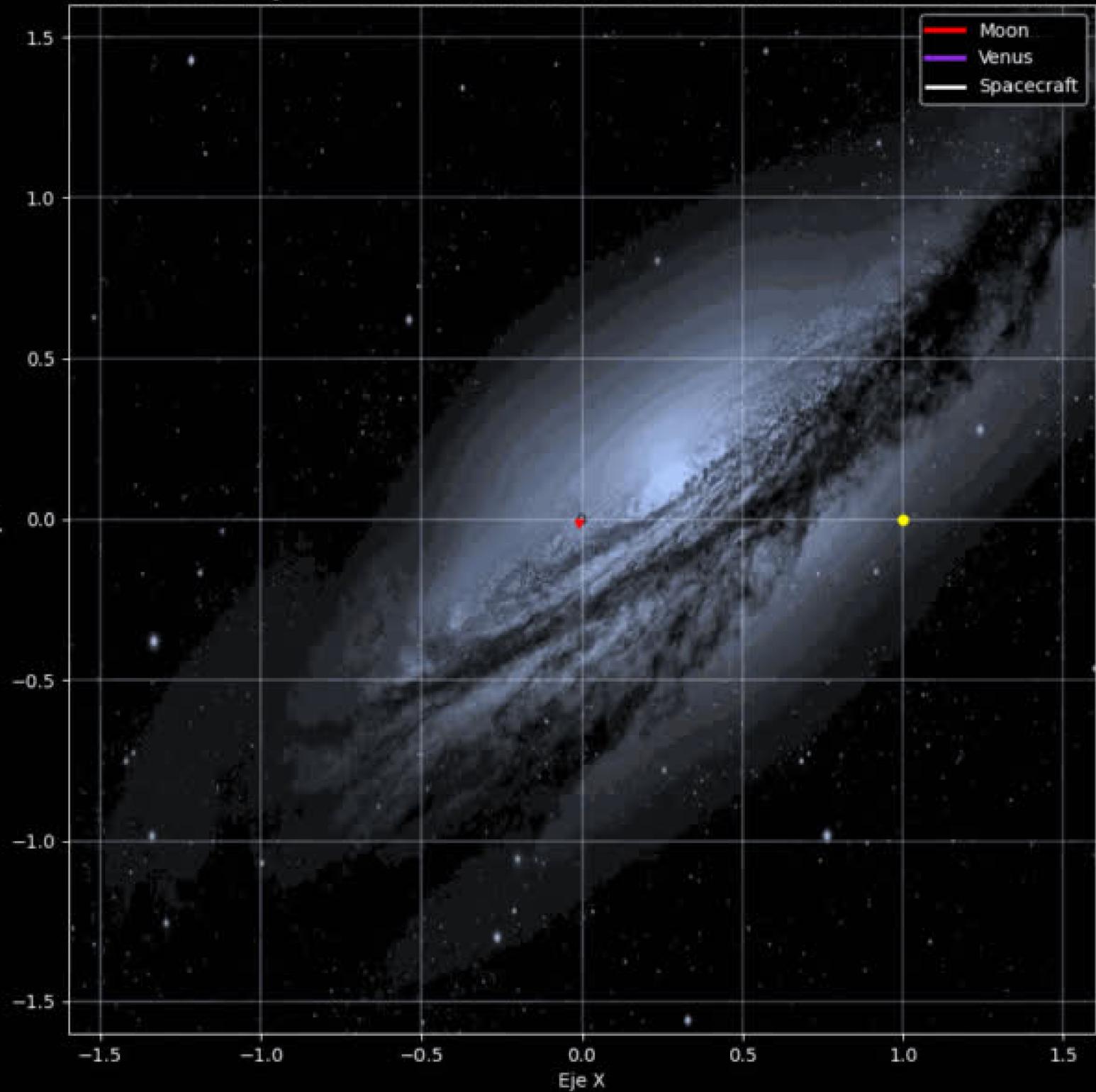
Condición Inicial	Valor	Condición Inicial	Valor
Altura	<b>100.0 km</b>	Ángulo de despegue	<b>-39°</b>
Velocidad Inicial	<b>11.0 km/s</b>	Fase lunar inicial	<b>0°</b>

	Característica	Distancia (km)
<b>1</b>	Menor distancia a la Luna	3409.403
<b>2</b>	Mayor distancia a la Tierra	590841.320
	Característica	Velocidad (km/s)
<b>4</b>	Menor velocidad alcanzada	0.18
<b>5</b>	Mayor velocidad alcanzada	11.00

Tabla 6.3: Característica principales VL2. Día 54.

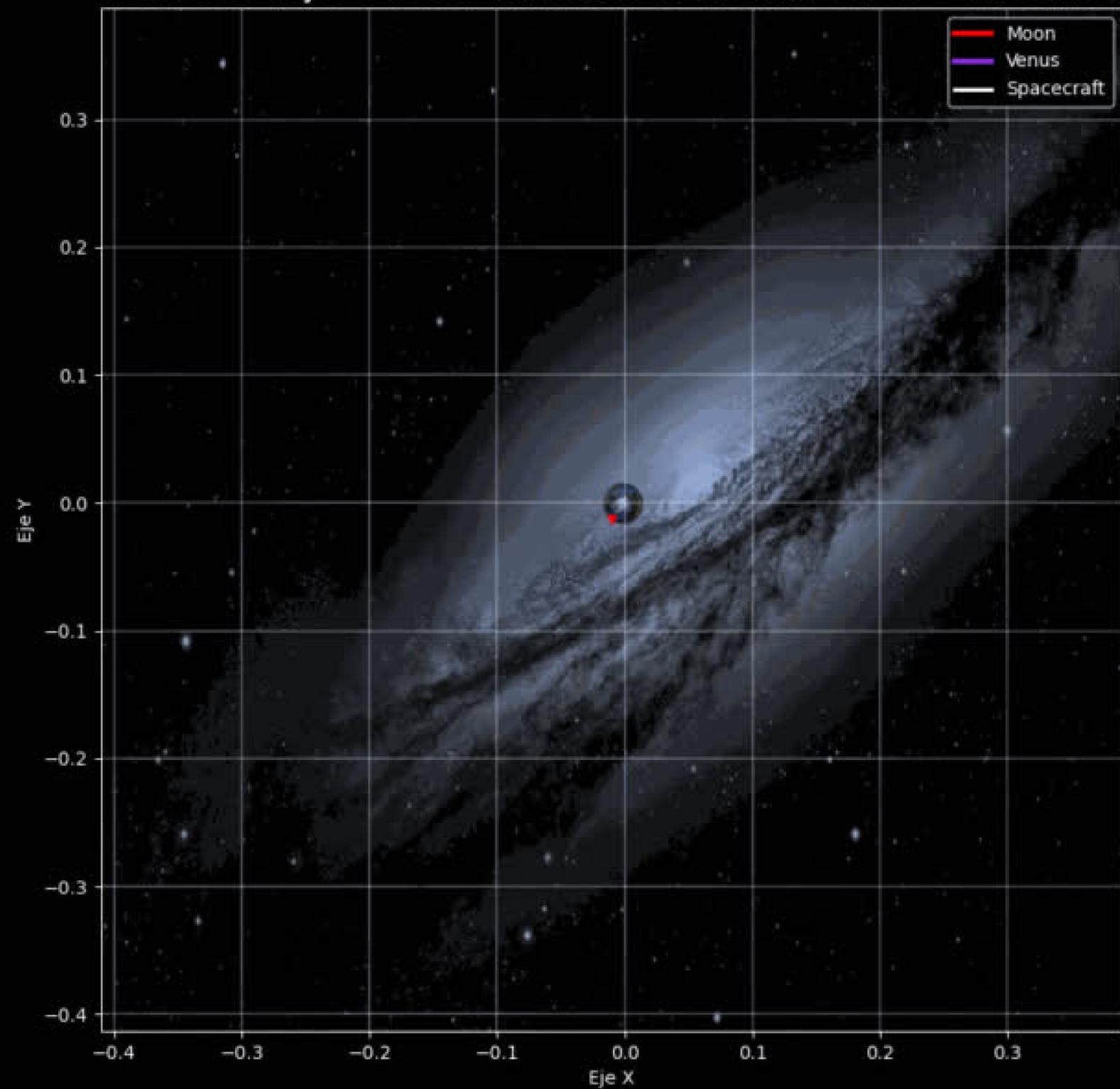
Mkm Venus 133.497

Time:0.0 days 0.389 Mkm Moon 0.006 Mkm Earth 11.0km/s



Mkm Venus 133.497

Time:0.0 days 0.389 Mkm Moon 0.006 Mkm Earth 11.0km/s



# VIAJE A LA LUNA L2



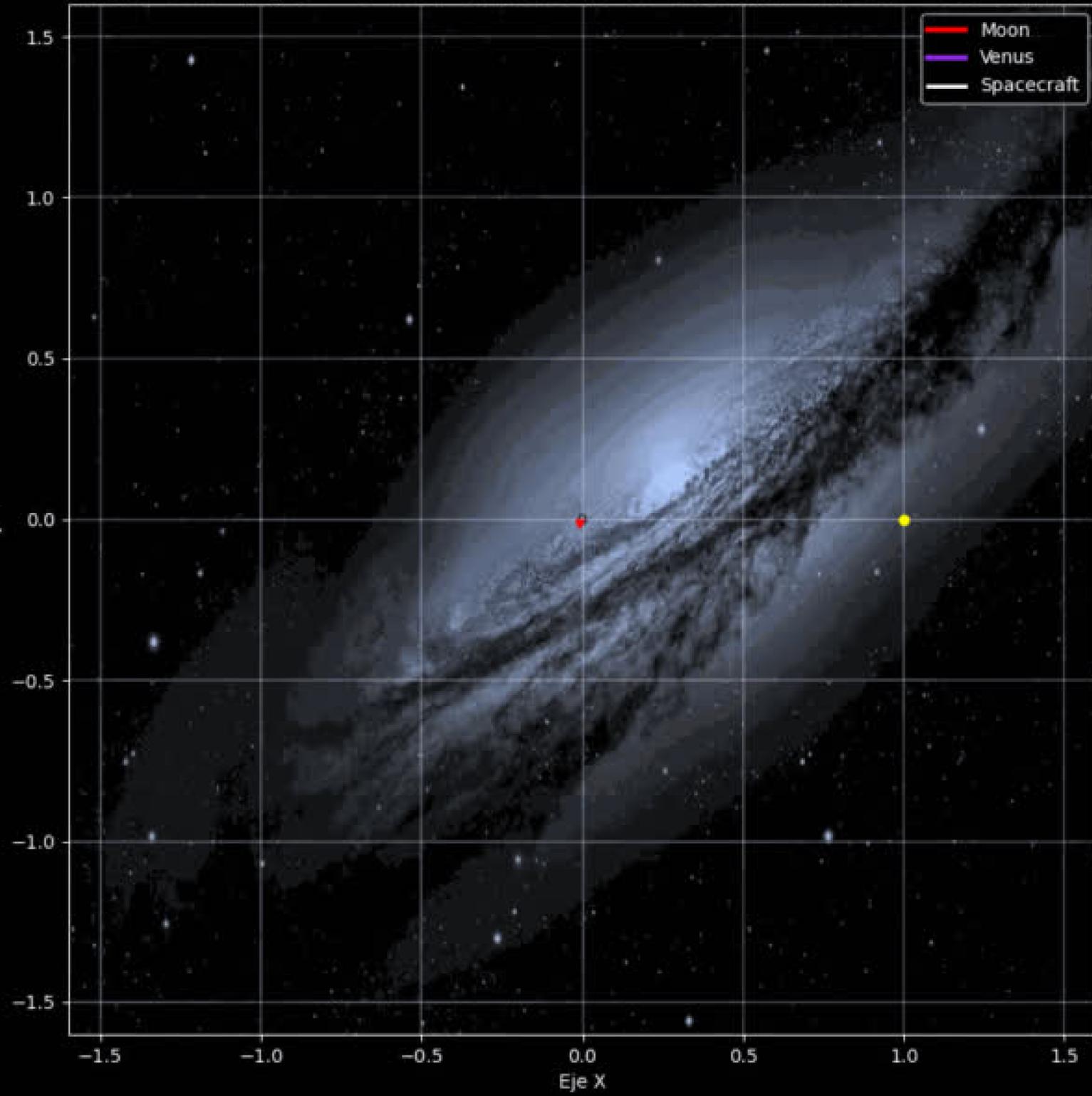
Condición Inicial	Valor	Condición Inicial	Valor
Altura	<b>100.0 km</b>	Ángulo de despegue	<b>-43°</b>
Velocidad Inicial	<b>11.0 km/s</b>	Fase lunar inicial	<b>0°</b>

	Característica	Distancia (km)
<b>1</b>	Menor distancia a la Luna	4849.282
<b>2</b>	Mayor distancia a la Tierra	567859.690 y aumentando
	Característica	Velocidad (km/s)
<b>4</b>	Menor velocidad alcanzada	0.79
<b>5</b>	Mayor velocidad alcanzada	11.00

Tabla 6.5: Características principales VL3. Día 5.

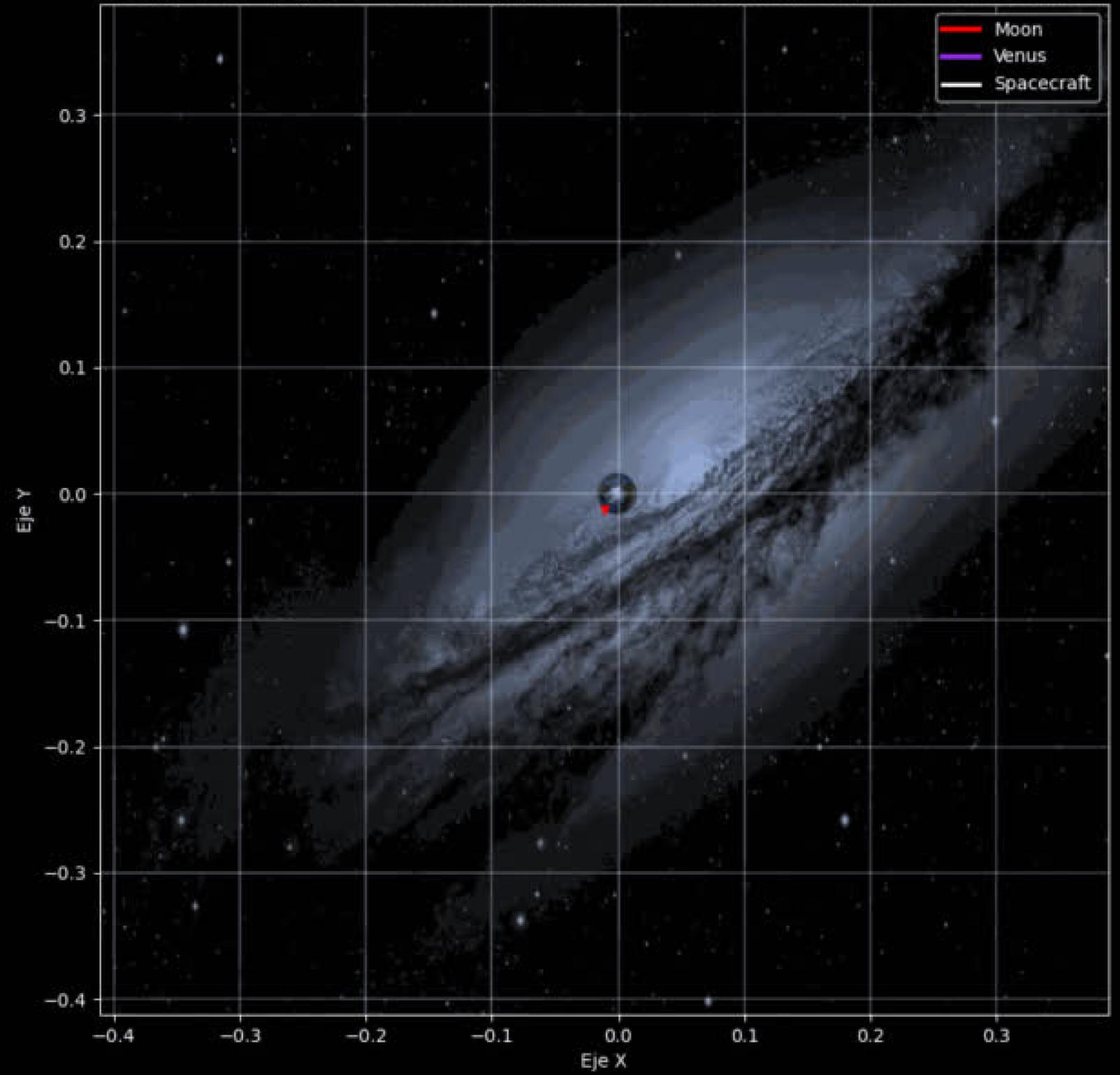
Mkm Venus 133.497

Time:0.0 days 0.389 Mkm Moon 0.006 Mkm Earth 11.0km/s

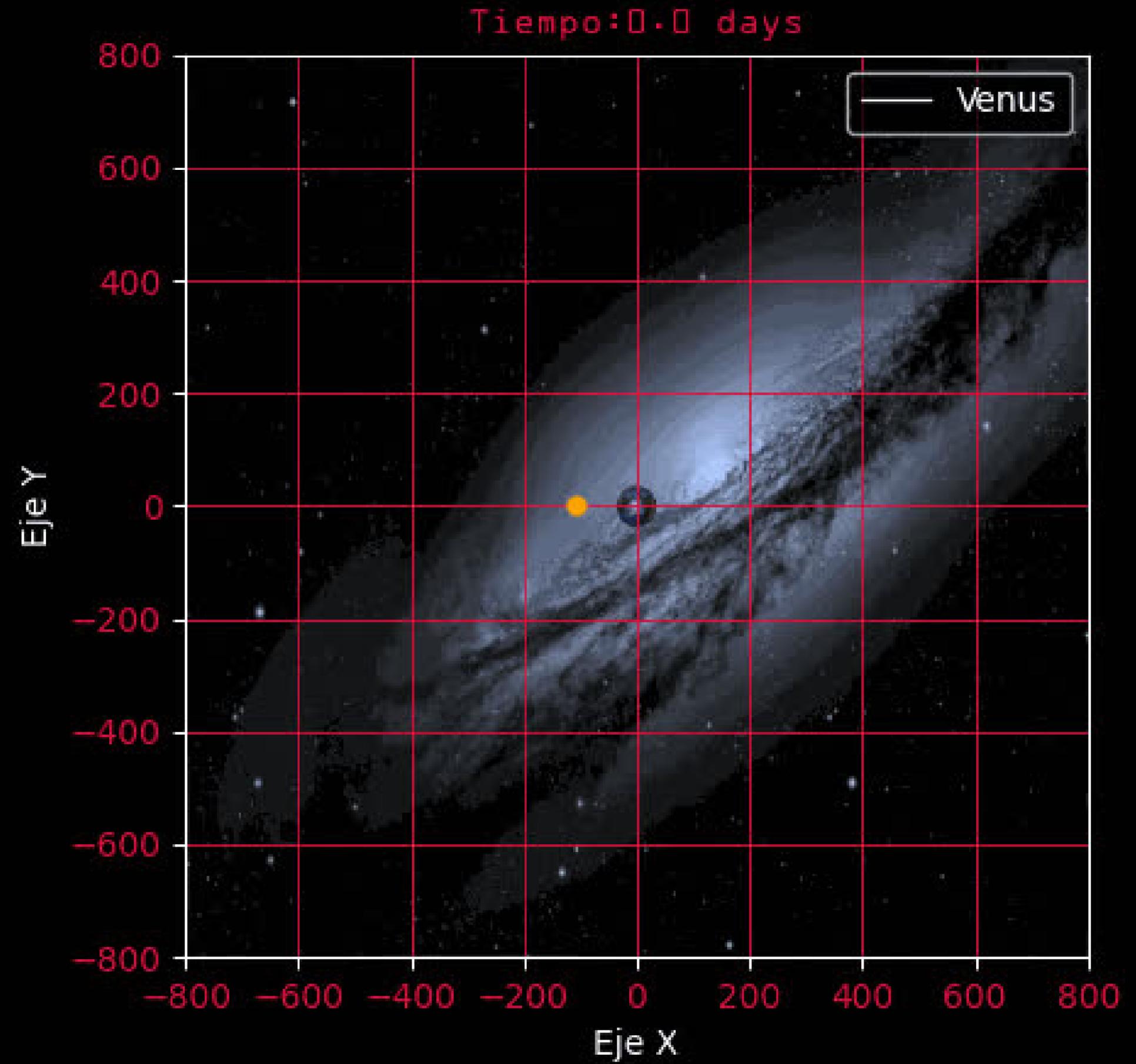


Mkm Venus 133.497

Time:0.0 days 0.389 Mkm Moon 0.006 Mkm Earth 11.0km/s



# DANZA DE VENUS



# VIAJE A VENUS VI



Condición Inicial	Valor	Condición Inicial	Valor	Condición de Venus
Altura	218.0 km	Ángulo de despegue	30°	Fase inicial en días: -96.7430996
Velocidad Inicial	10.9 km/s	Fase lunar inicial	71.1°	

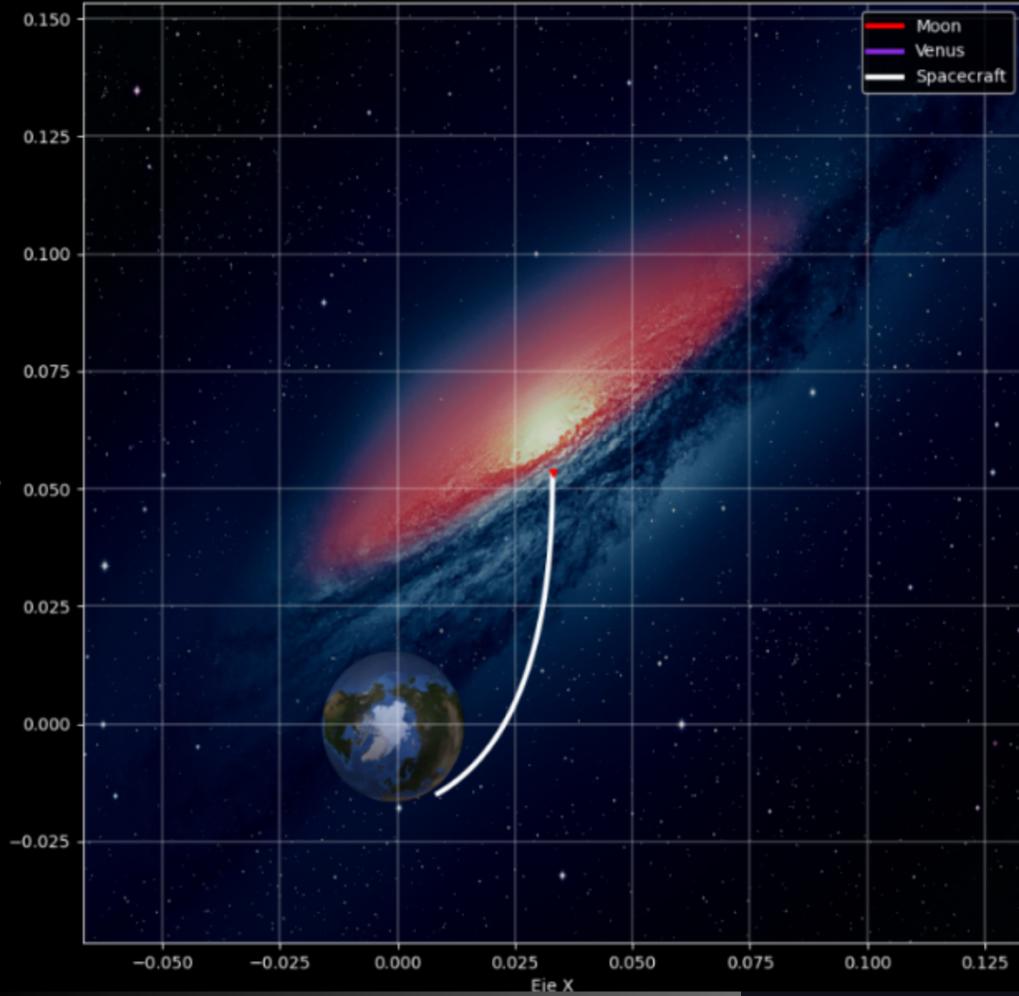
	Característica	Distancia (km)
1	Menor distancia a la Luna	134.525
2	Menor distancia a la Venus	488.084
3	Mayor distancia a la Tierra	43176132.331
	Característica	Velocidad (km/s)
4	Menor velocidad alcanzada	0.75
5	Mayor velocidad alcanzada	10.43

Tabla 6.8: Características principales Fase II. Día 108.



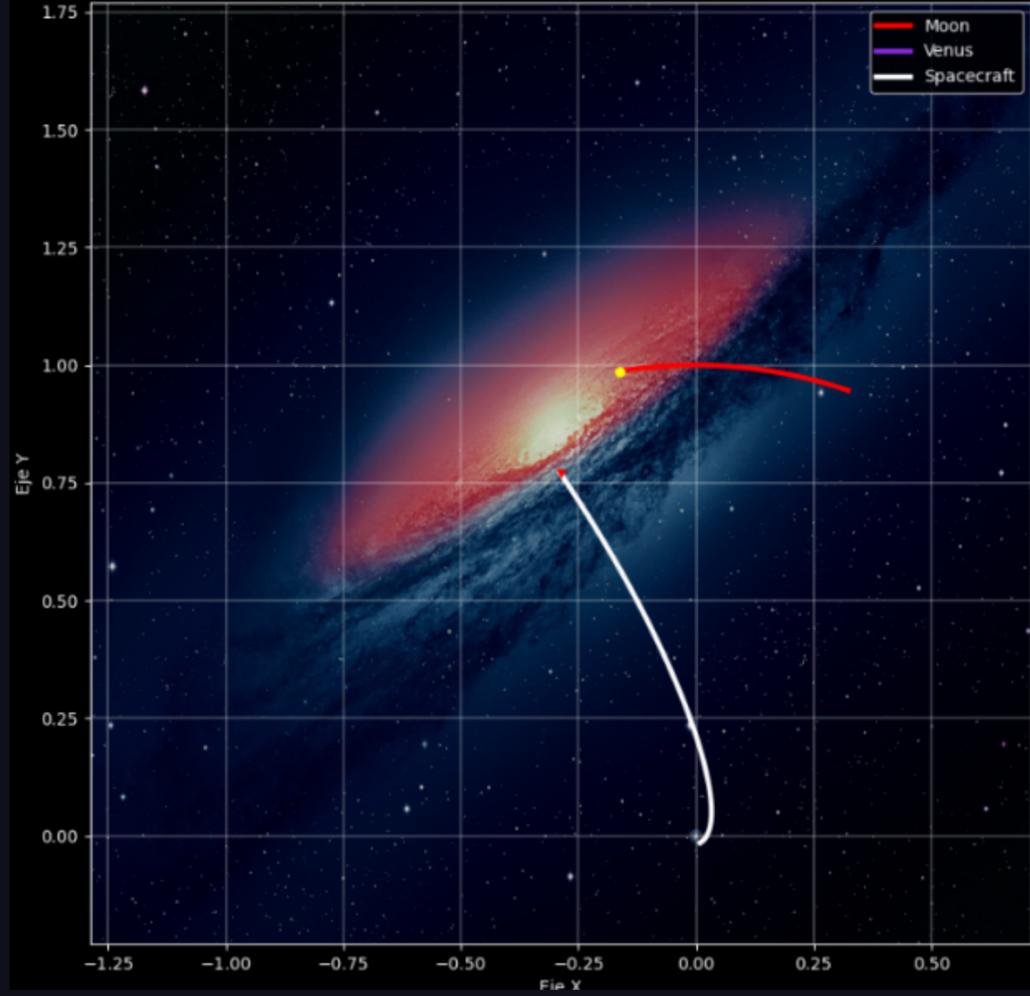
Mkm Venus 132.907

Time:0.044 days 0.361 Mkm Moon 0.024 Mkm Earth 5.59km/s



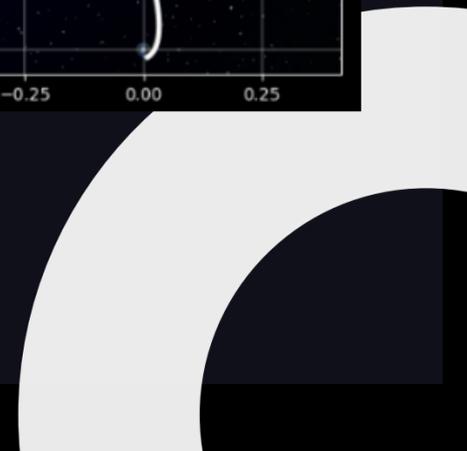
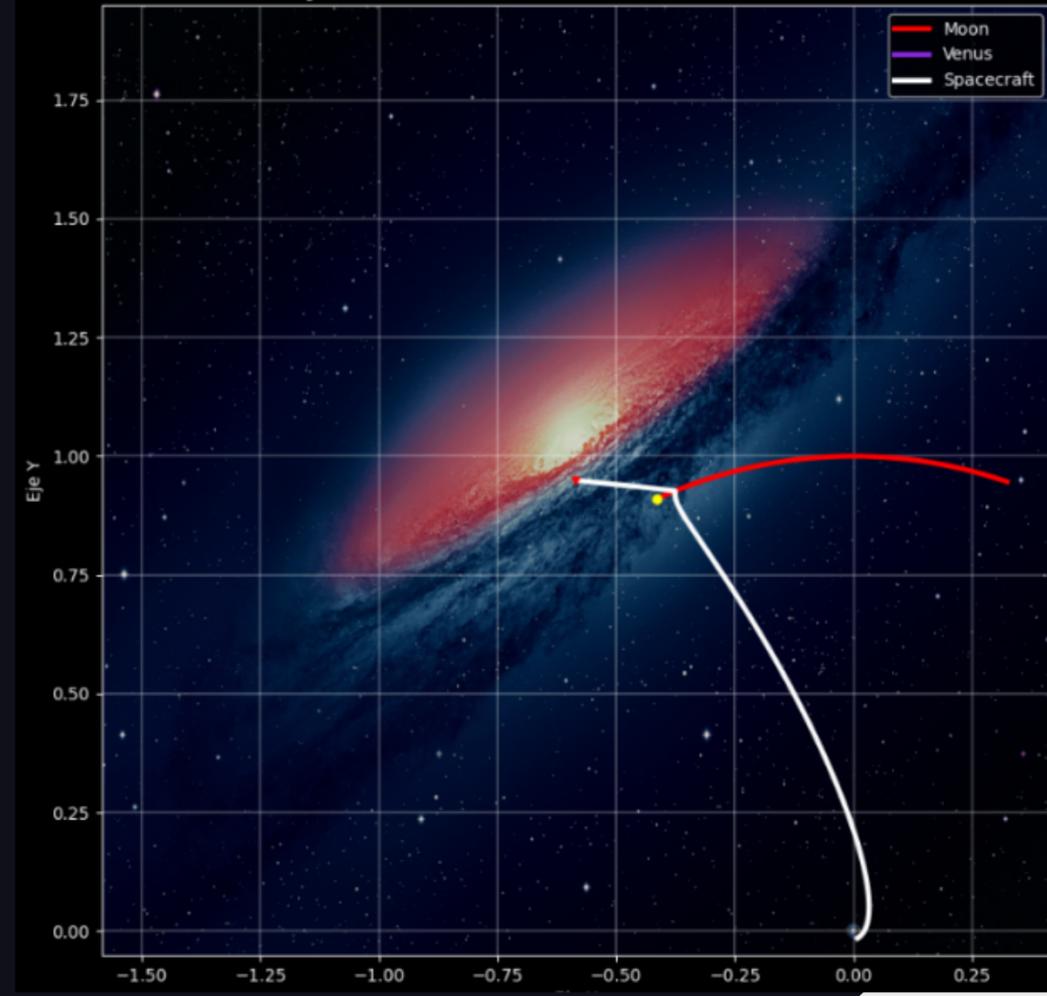
Mkm Venus 130.241

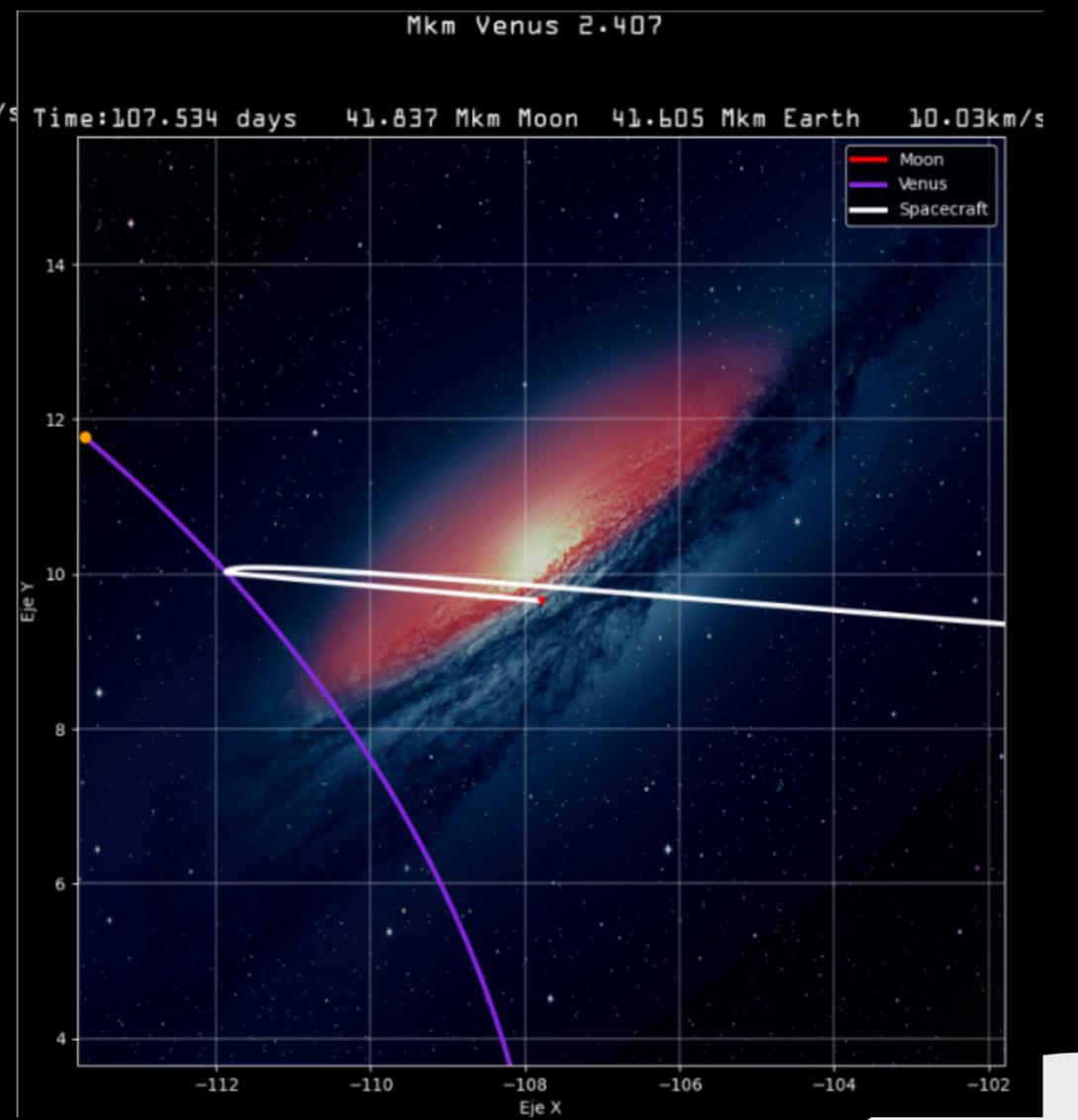
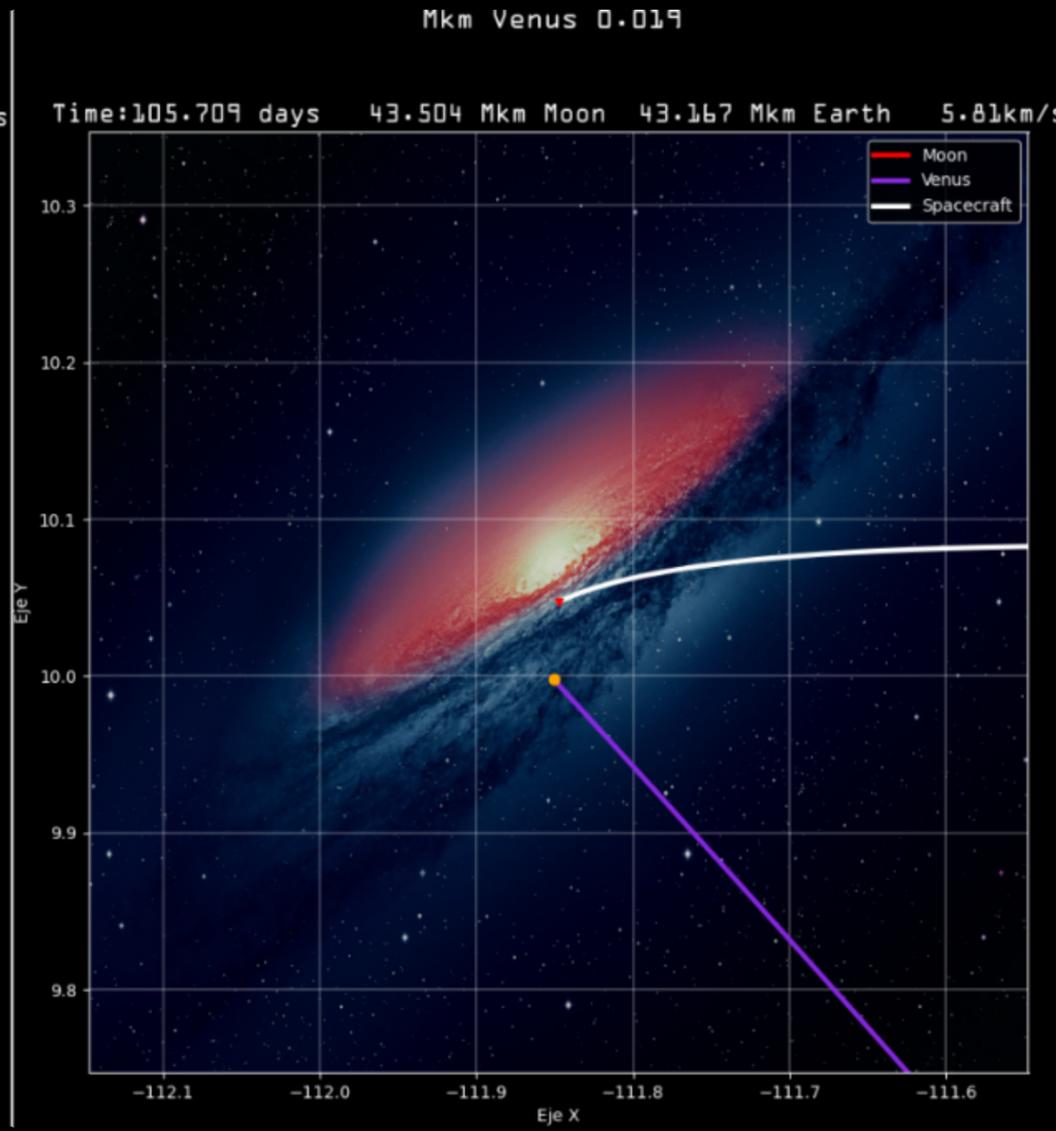
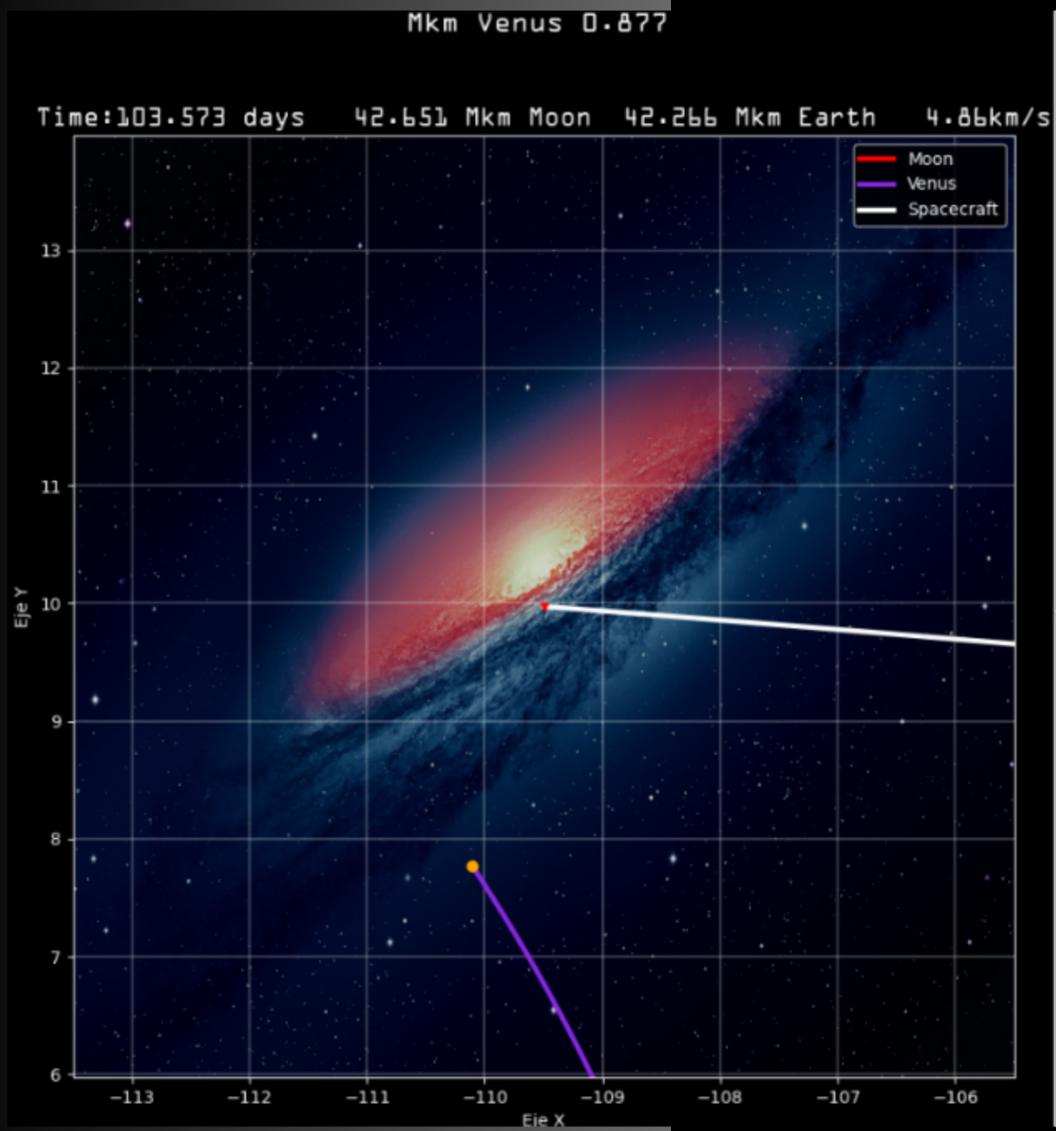
Time:2.149 days 0.096 Mkm Moon 0.316 Mkm Earth 0.91km/s



Mkm Venus 128.818

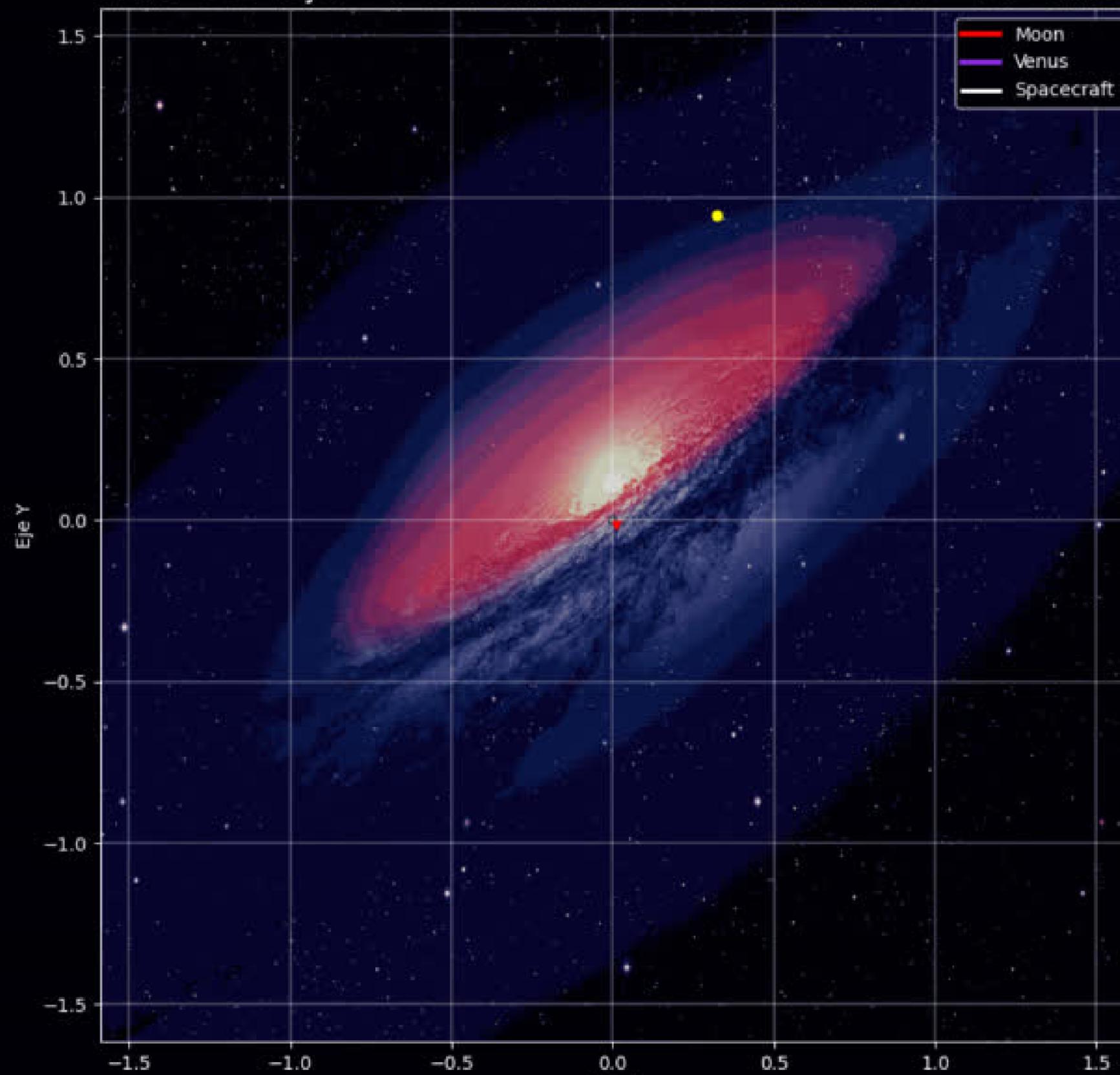
Time:3.293 days 0.067 Mkm Moon 0.429 Mkm Earth 5.06km/s





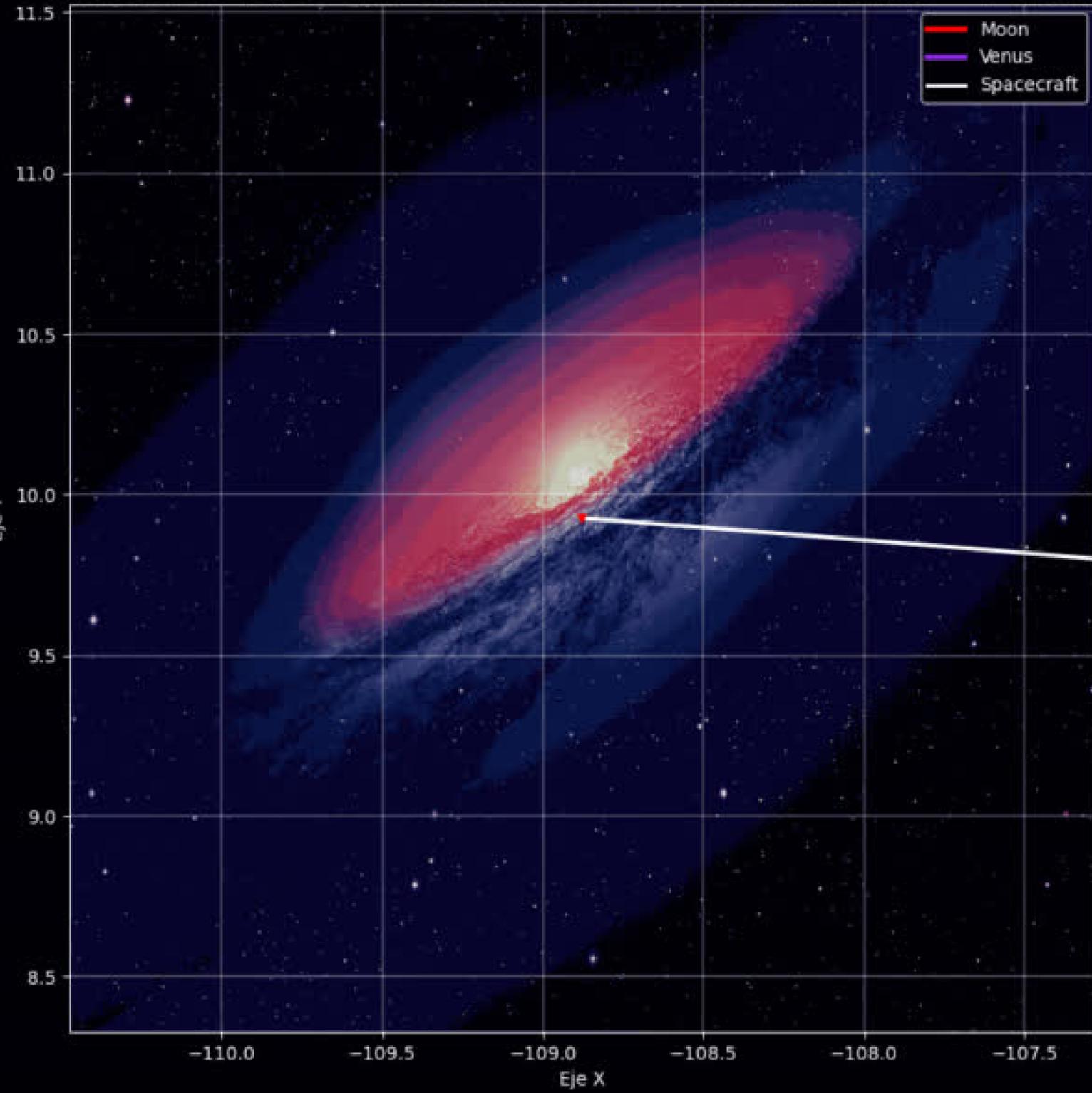
Mkm Venus 132.971

Time:0.0 days 0.389 Mkm Moon 0.007 Mkm Earth 10.9km/s



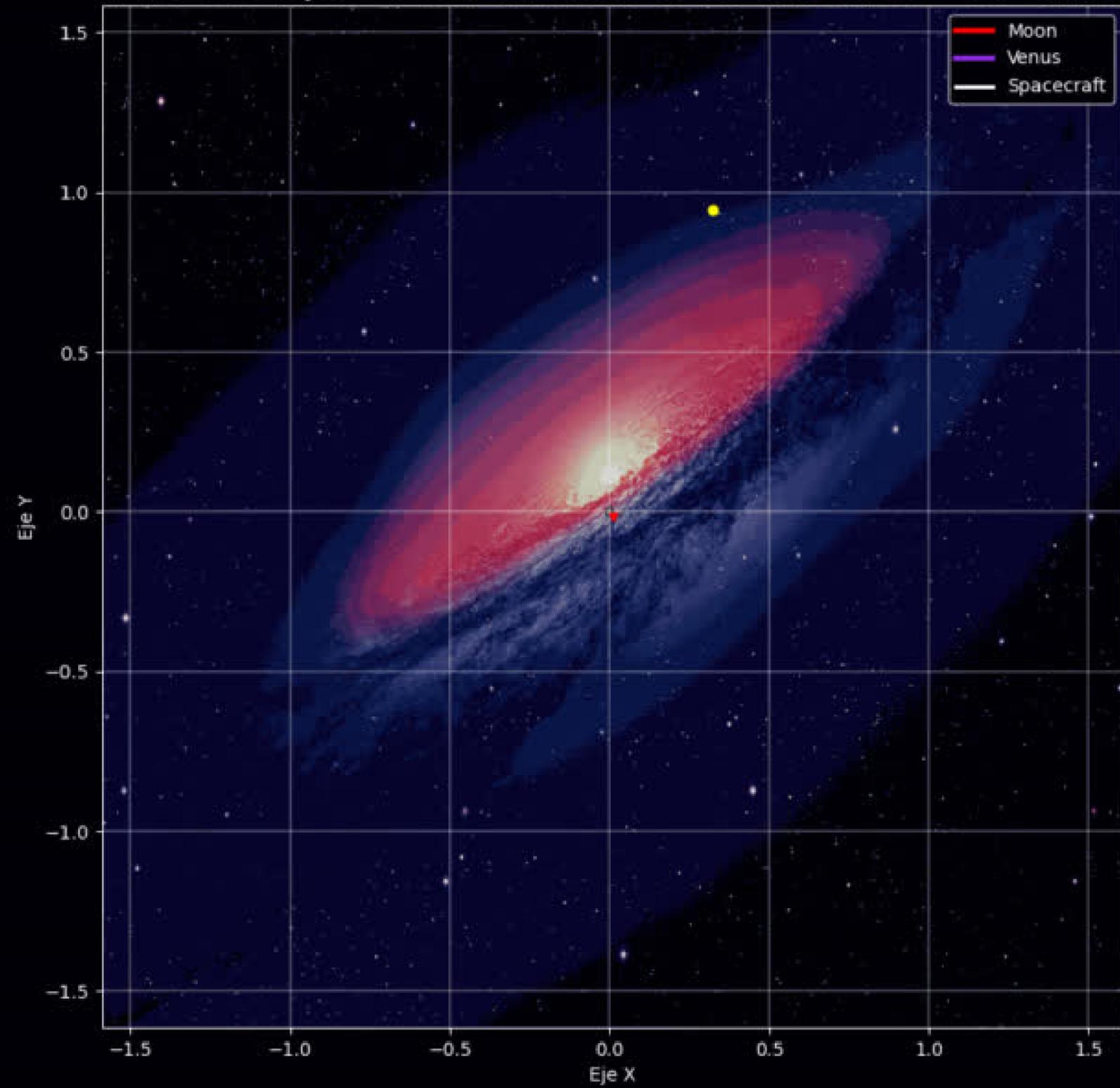
Mkm Venus 1.114

Time:103.0 days 42.408 Mkm Moon 42.026 Mkm Earth 4.86km/s



Mkm Venus 132.971

Time:0.0 days 0.389 Mkm Moon 0.007 Mkm Earth 10.9km/s



# VIAJE A VENUS VII



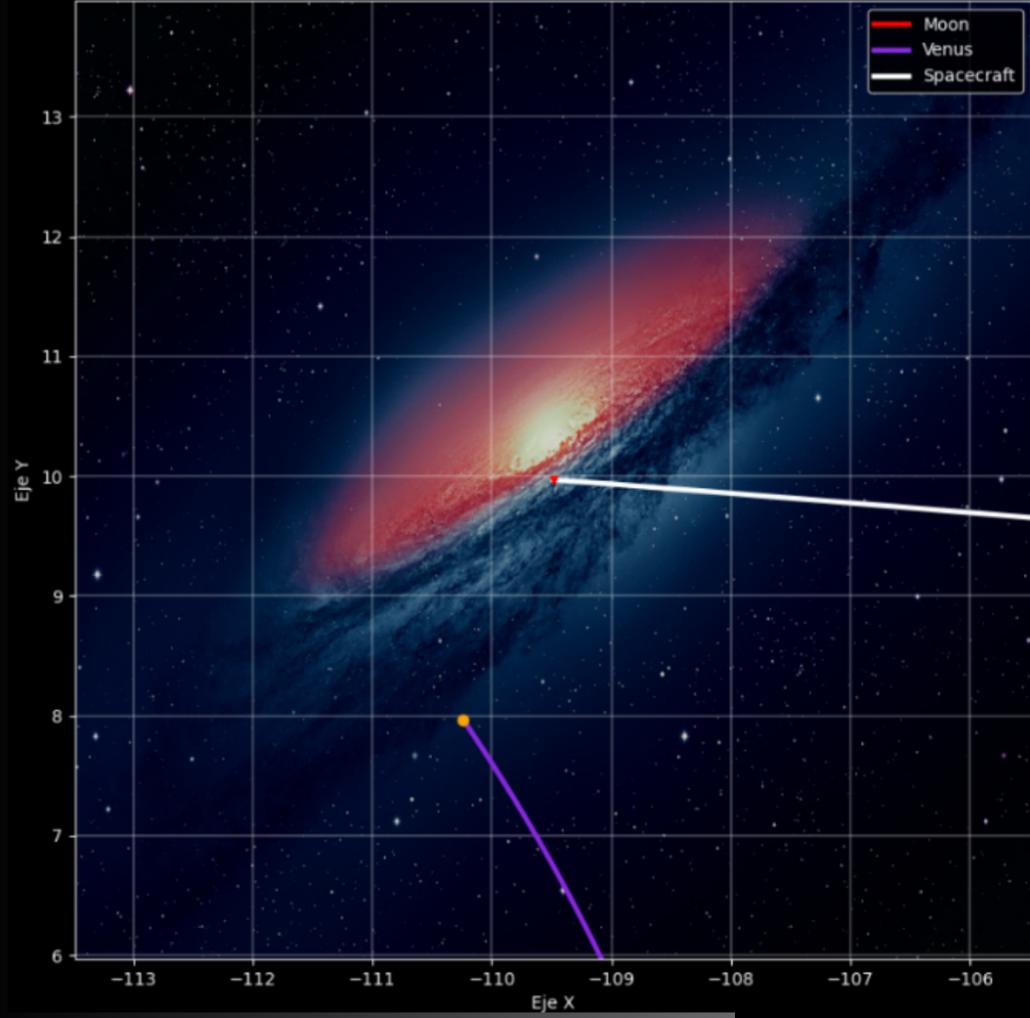
Condición Inicial	Valor	Condición Inicial	Valor	Condición de Venus
Altura	218.0 km	Ángulo de despegue	30°	Fase inicial en días: -96.55
Velocidad Inicial	10.9 km/s	Fase lunar inicial	71.1°	

	Característica	Distancia (km)
1	Menor distancia a la Luna	134.525
2	Menor distancia a la Venus	61914.894
3	Mayor distancia a la Tierra	65603768.441 y aumentando
	Característica	Velocidad (km/s)
4	Menor velocidad alcanzada	0.75
5	Mayor velocidad alcanzada	10.9

Tabla 6.12: Características principales viaje completo. Día 144.

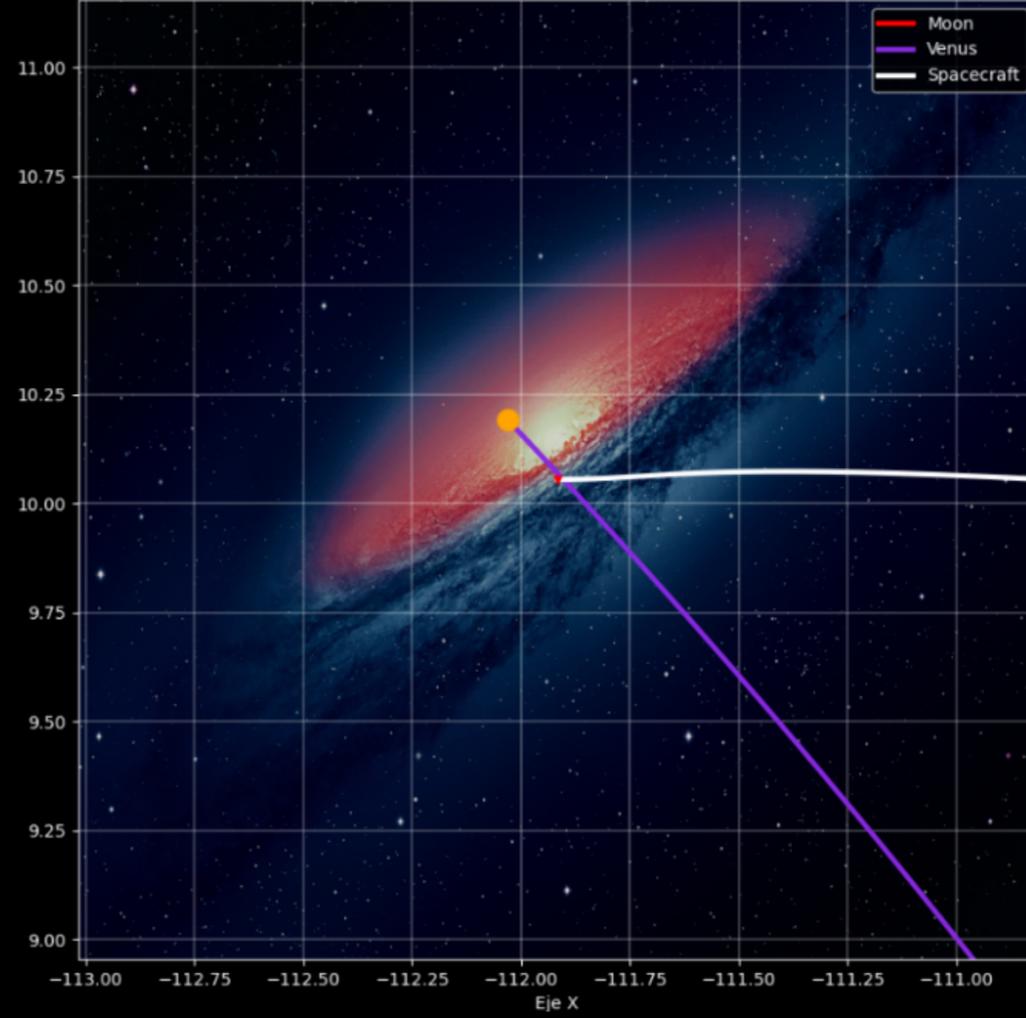
Mkm Venus 0.822

Time:103.56 days 42.646 Mkm Moon 42.262 Mkm Earth 4.87km/s



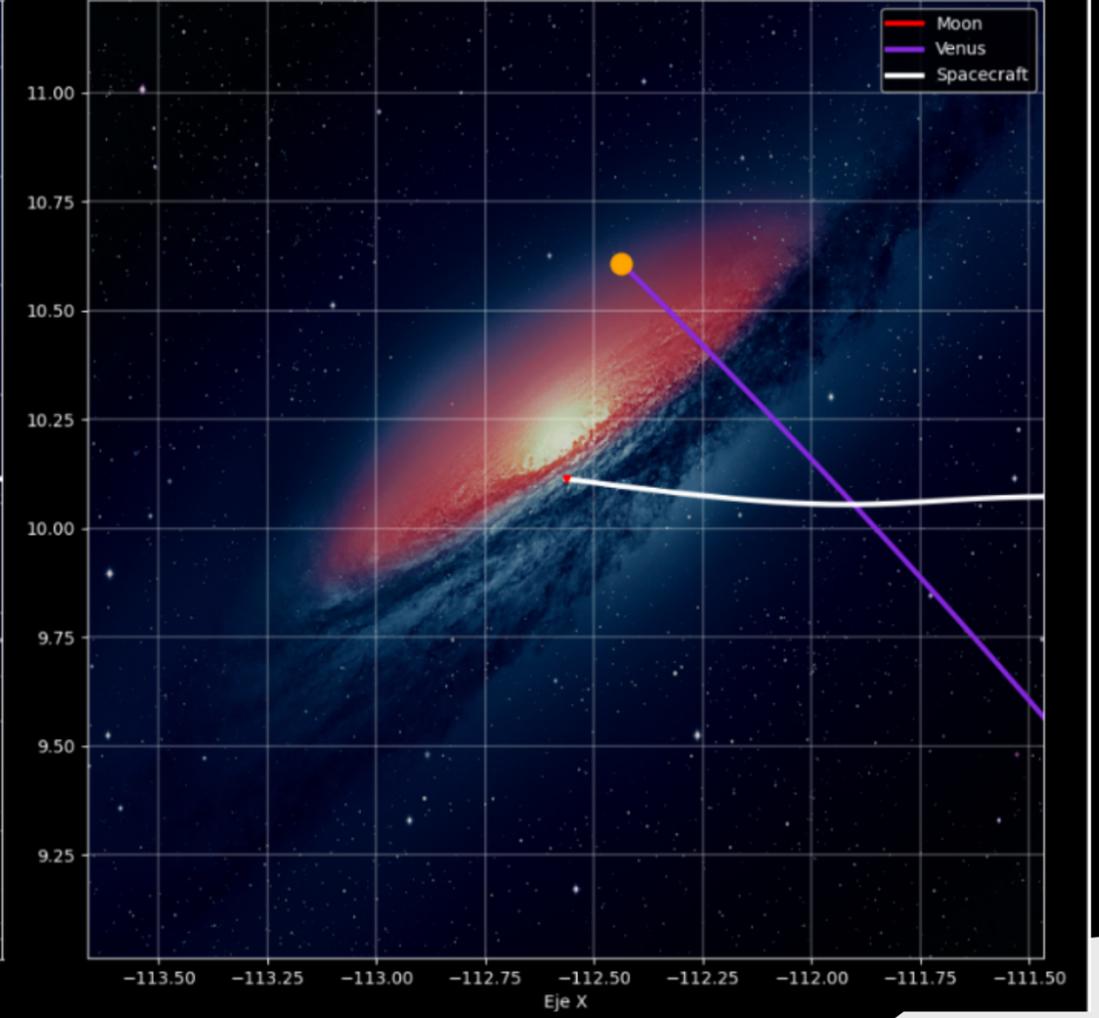
Mkm Venus 0.068

Time:105.709 days 43.531 Mkm Moon 43.195 Mkm Earth 6.61km/s



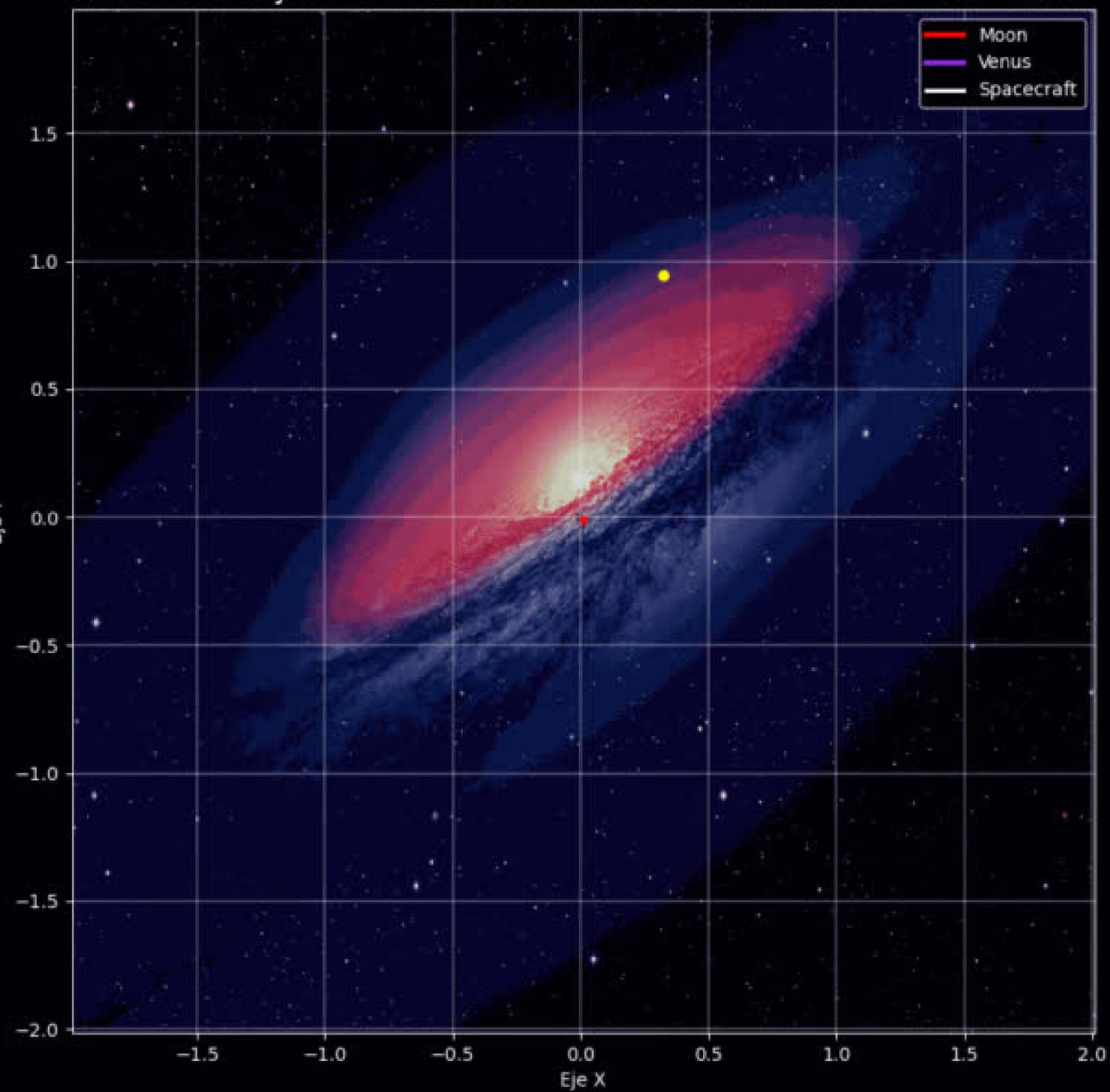
Mkm Venus 0.197

Time:106.131 days 43.761 Mkm Moon 43.444 Mkm Earth 6.88km/s



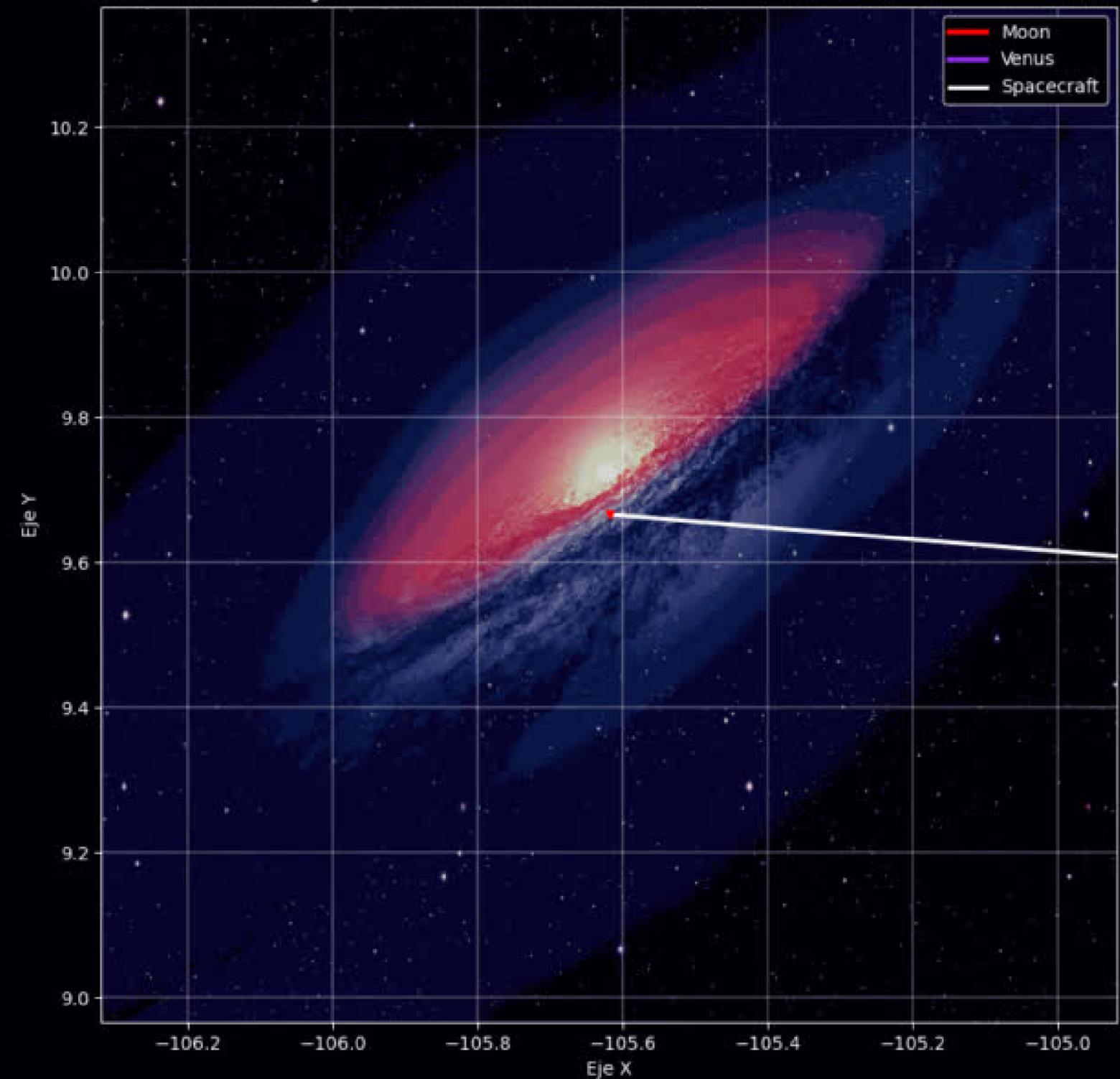
Mkm Venus 132.753

Time:0.0 days 0.389 Mkm Moon 0.007 Mkm Earth 10.9km/s



Mkm Venus 2.406

Time:100.0 days 41.038 Mkm Moon 40.77 Mkm Earth 4.84km/s



# VIAJE A VENUS VIII

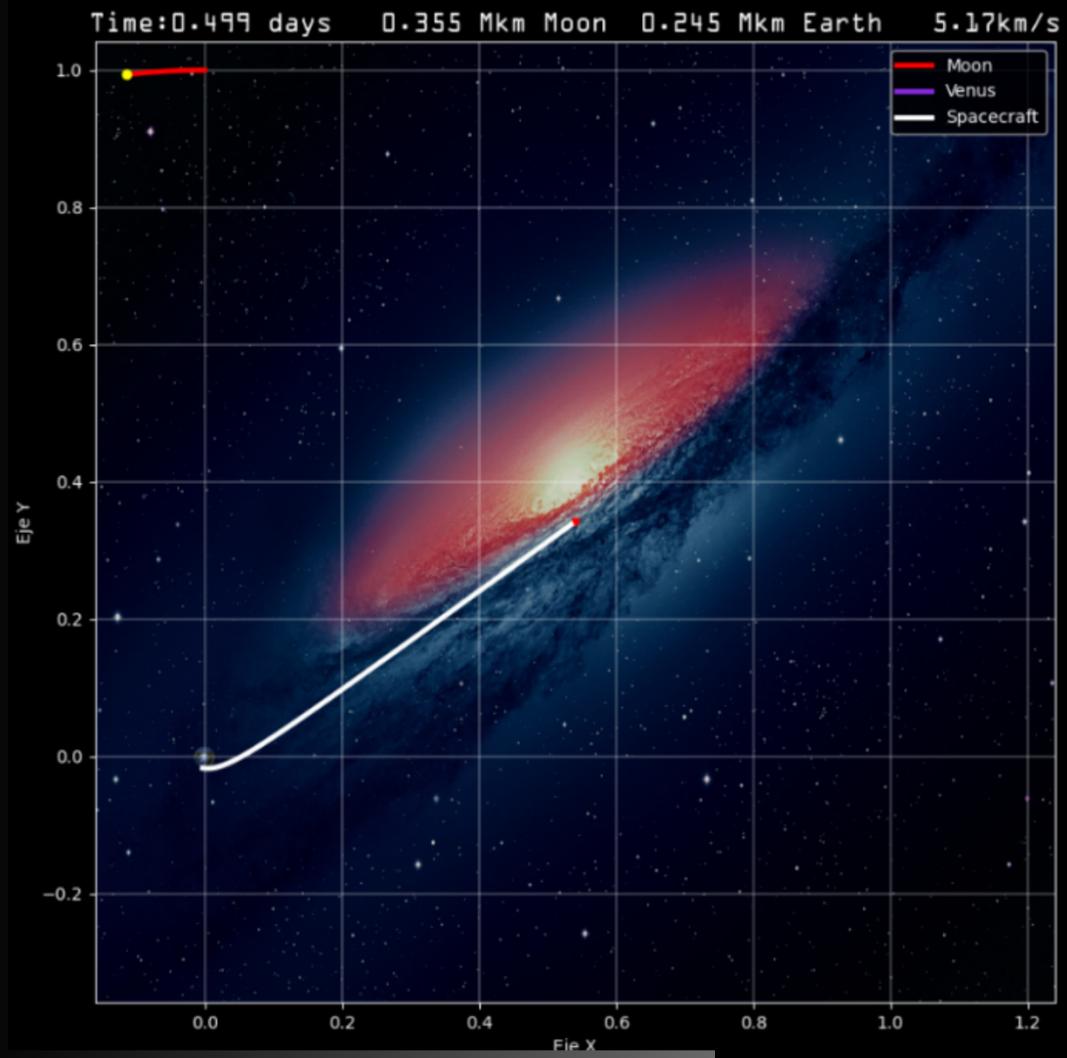


Condición Inicial	Valor	Condición Inicial	Valor	Condición de Venus
Altura	218.0 km	Ángulo de despegue	-10°	Fase inicial en días: 487.65723
Velocidad Inicial	12.0 km/s	Fase lunar inicial	90.0°	

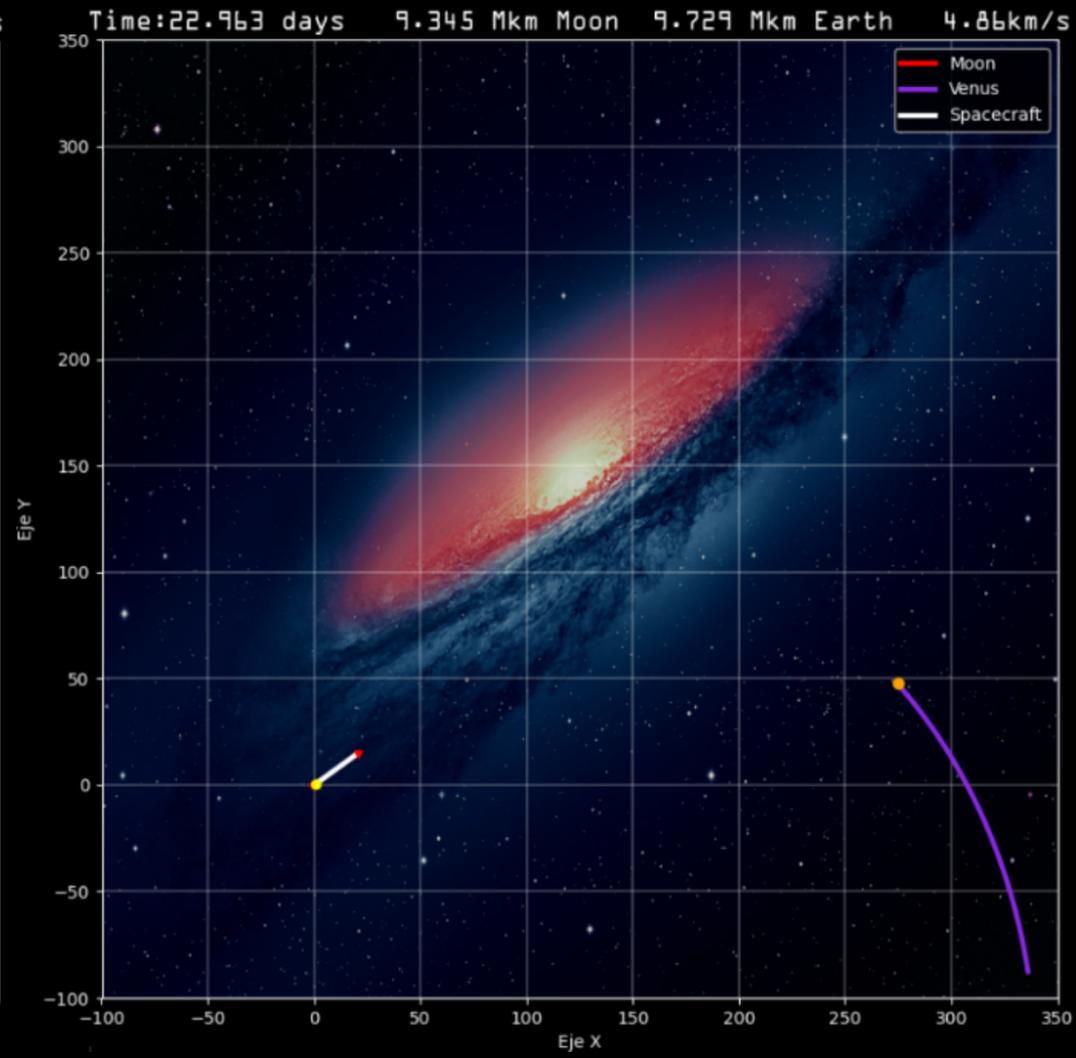
	Característica	Distancia (km)
1	Menor distancia a la Luna	344314.876
2	Menor distancia a la Venus	4242.266
3	Mayor distancia a la Tierra	41431442.411
	Característica	Velocidad (km/s)
3	Menor velocidad alcanzada	3.58
4	Mayor velocidad alcanzada	12.0

Tabla 6.15: Características principales Fase II. Día 102.

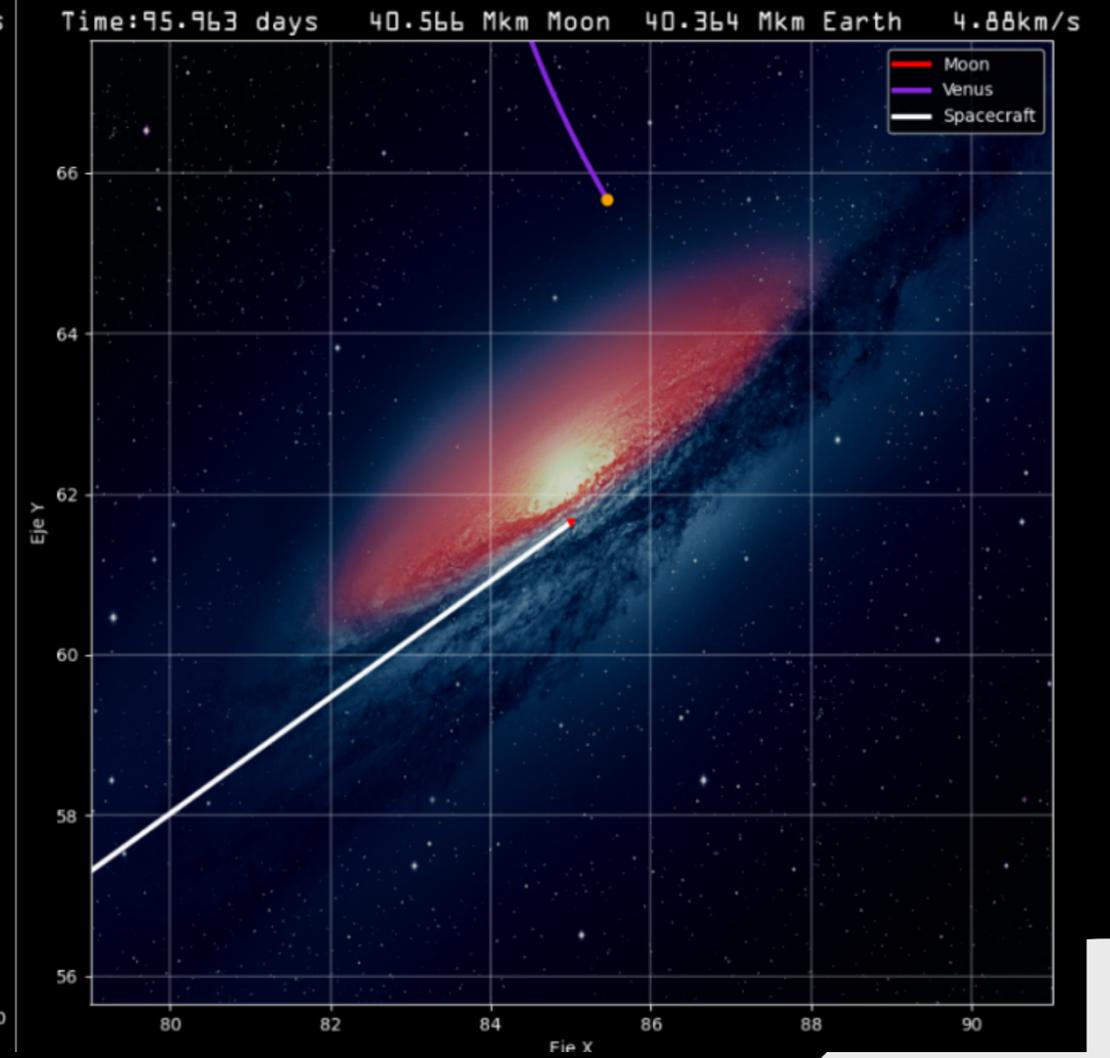
Mkm Venus 132.763



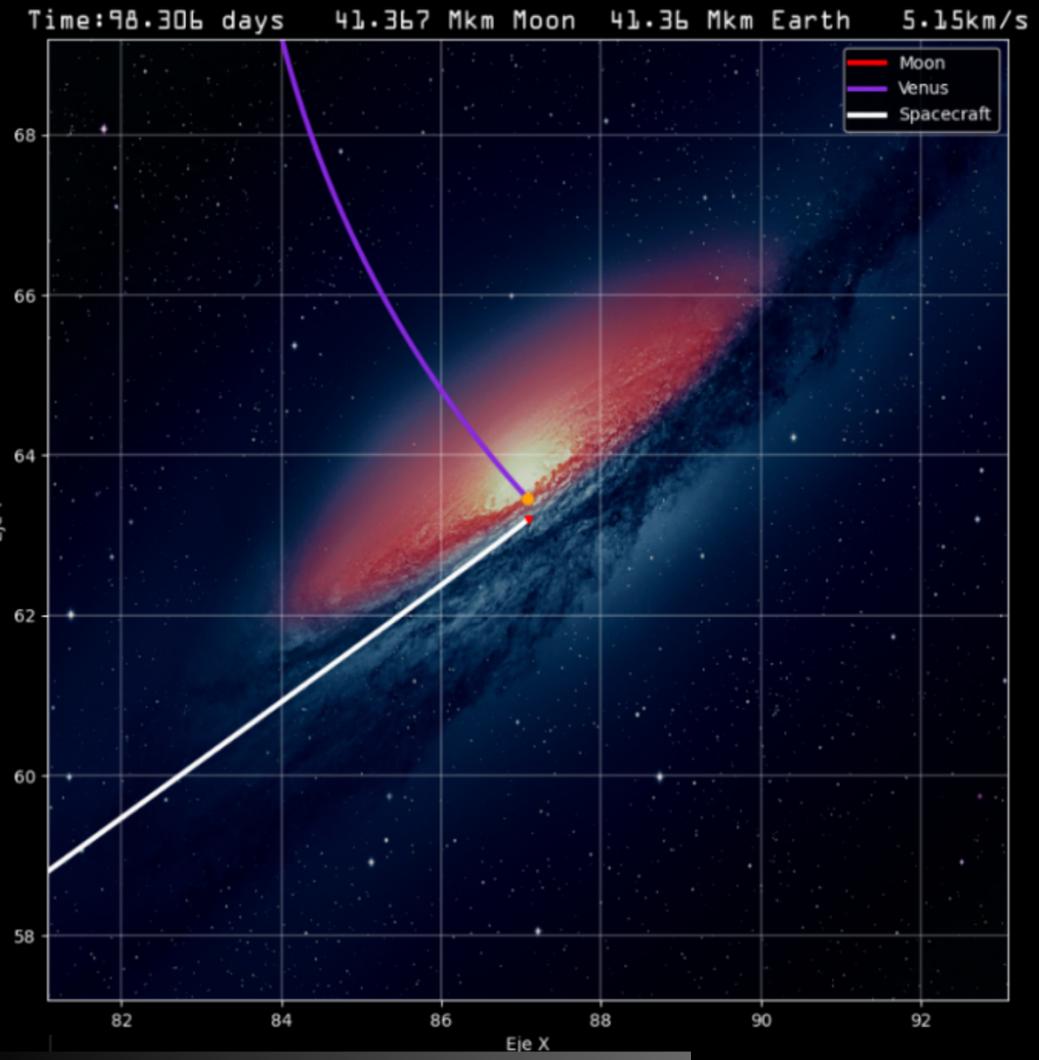
Mkm Venus 98.486



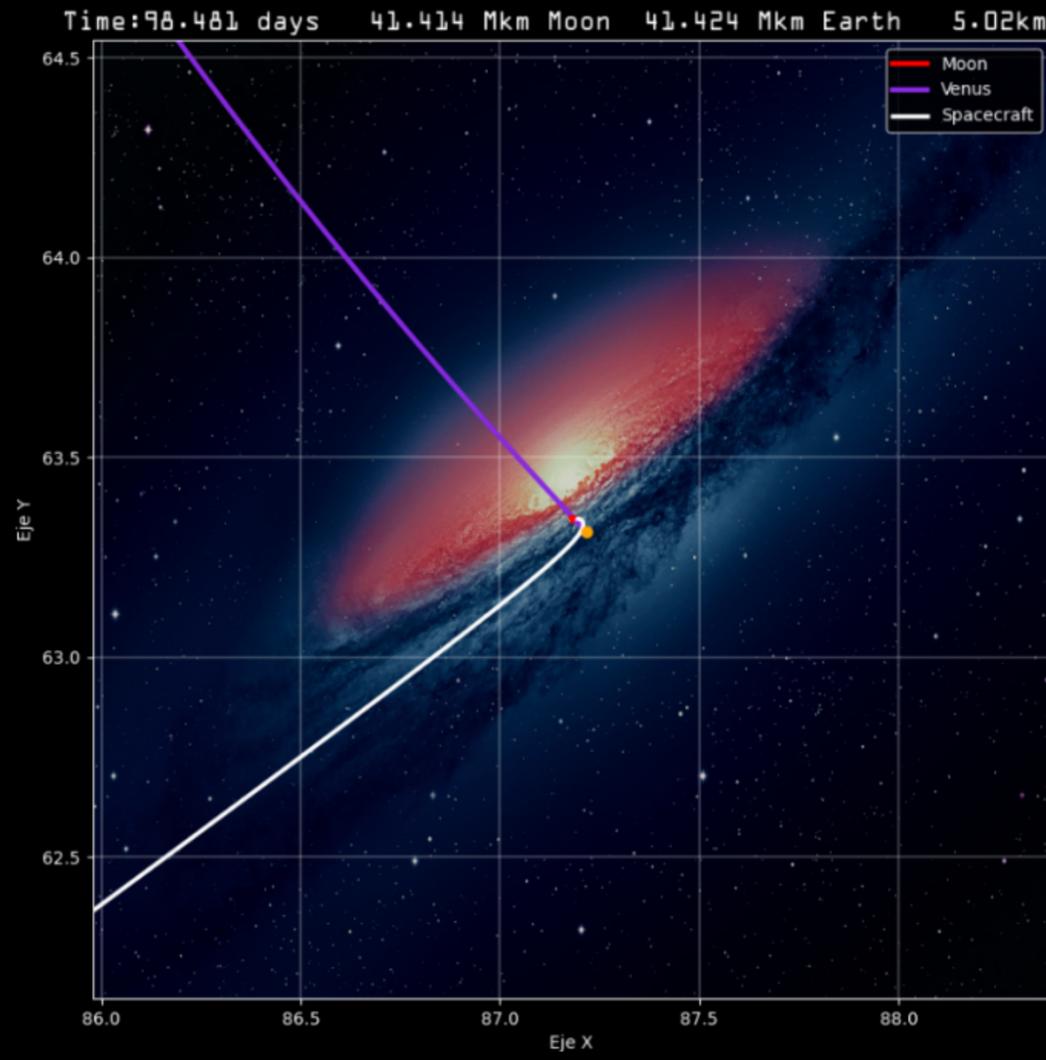
Mkm Venus 1.556



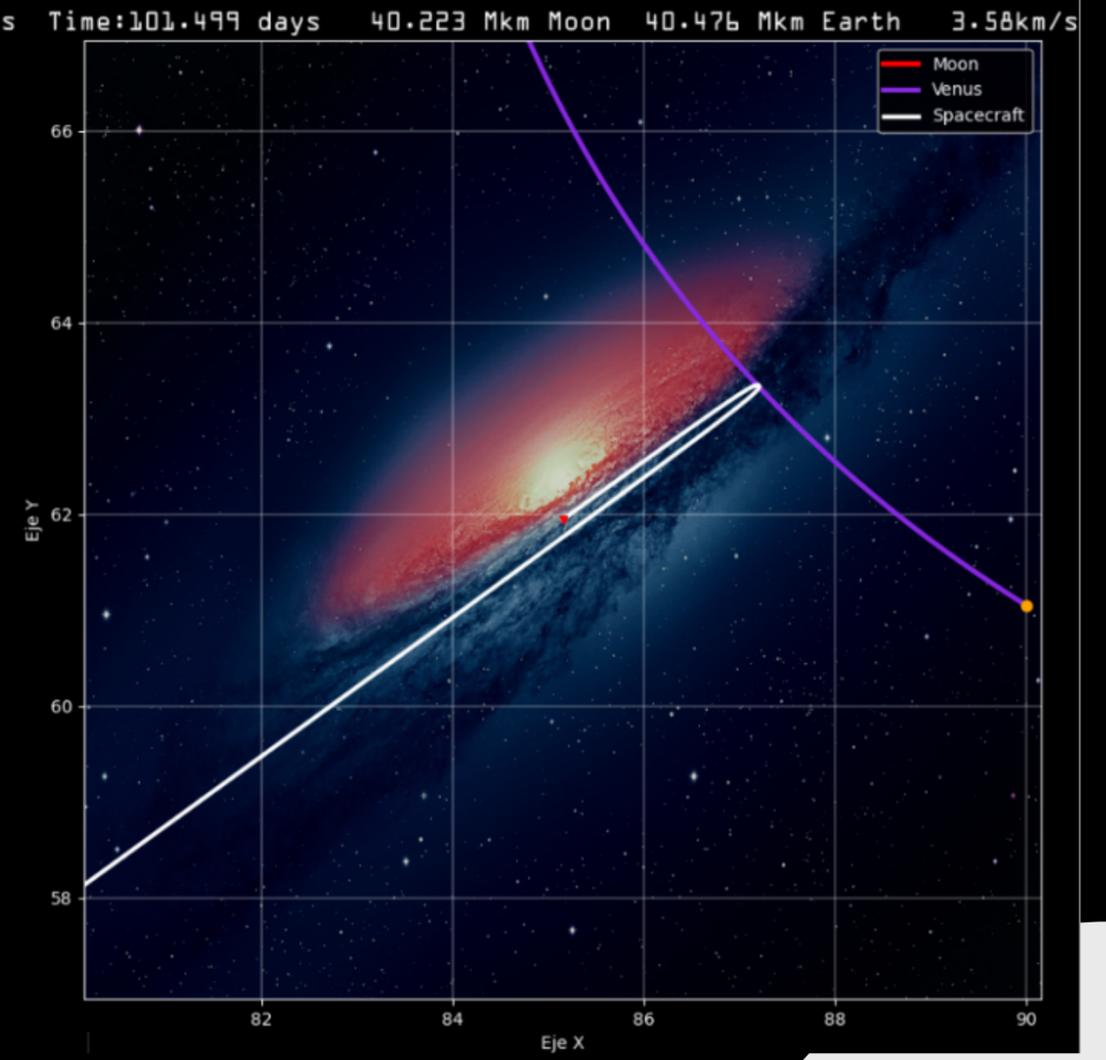
Mkm Venus 0.103



Mkm Venus 0.019

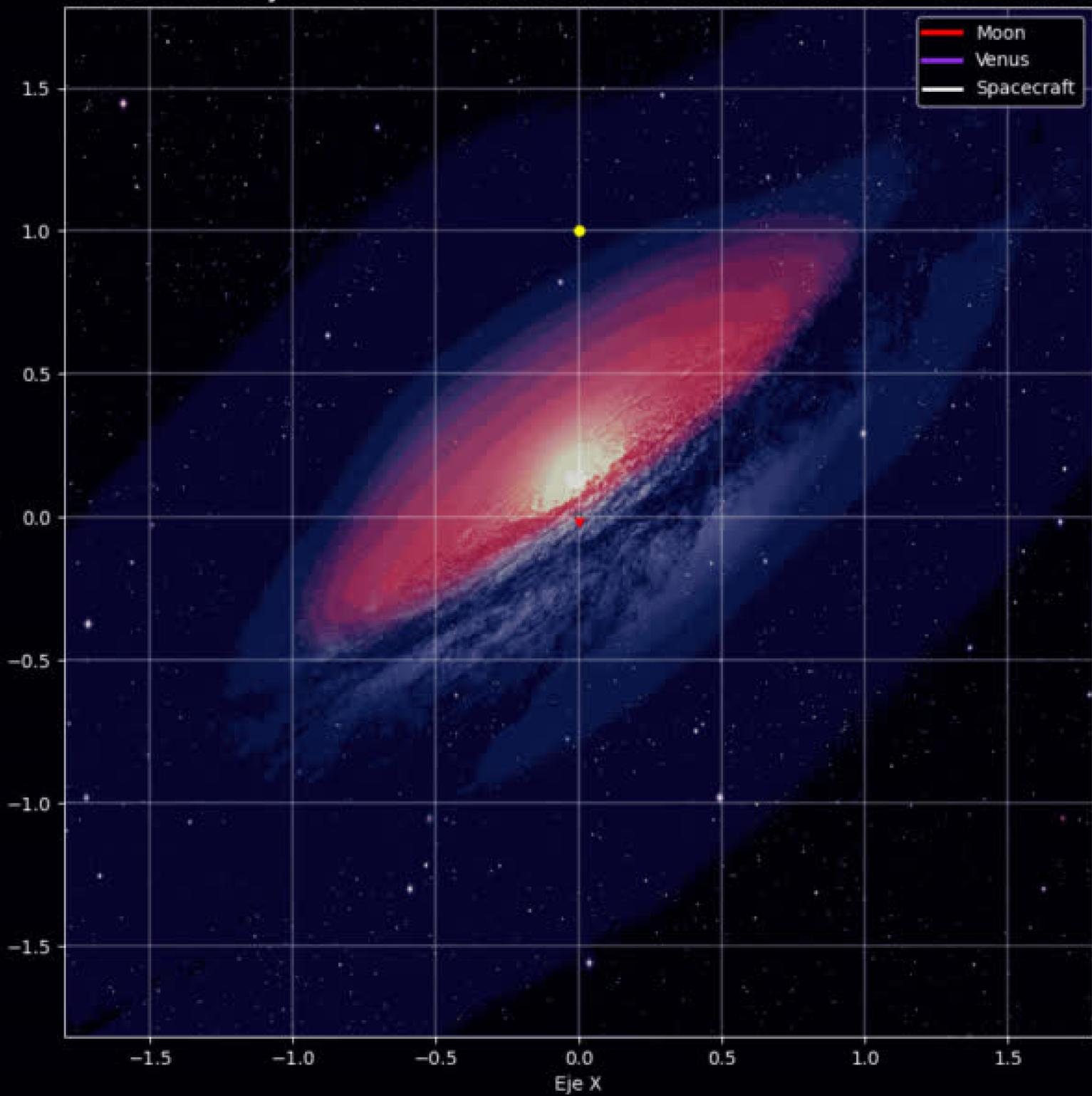


Mkm Venus 1.895



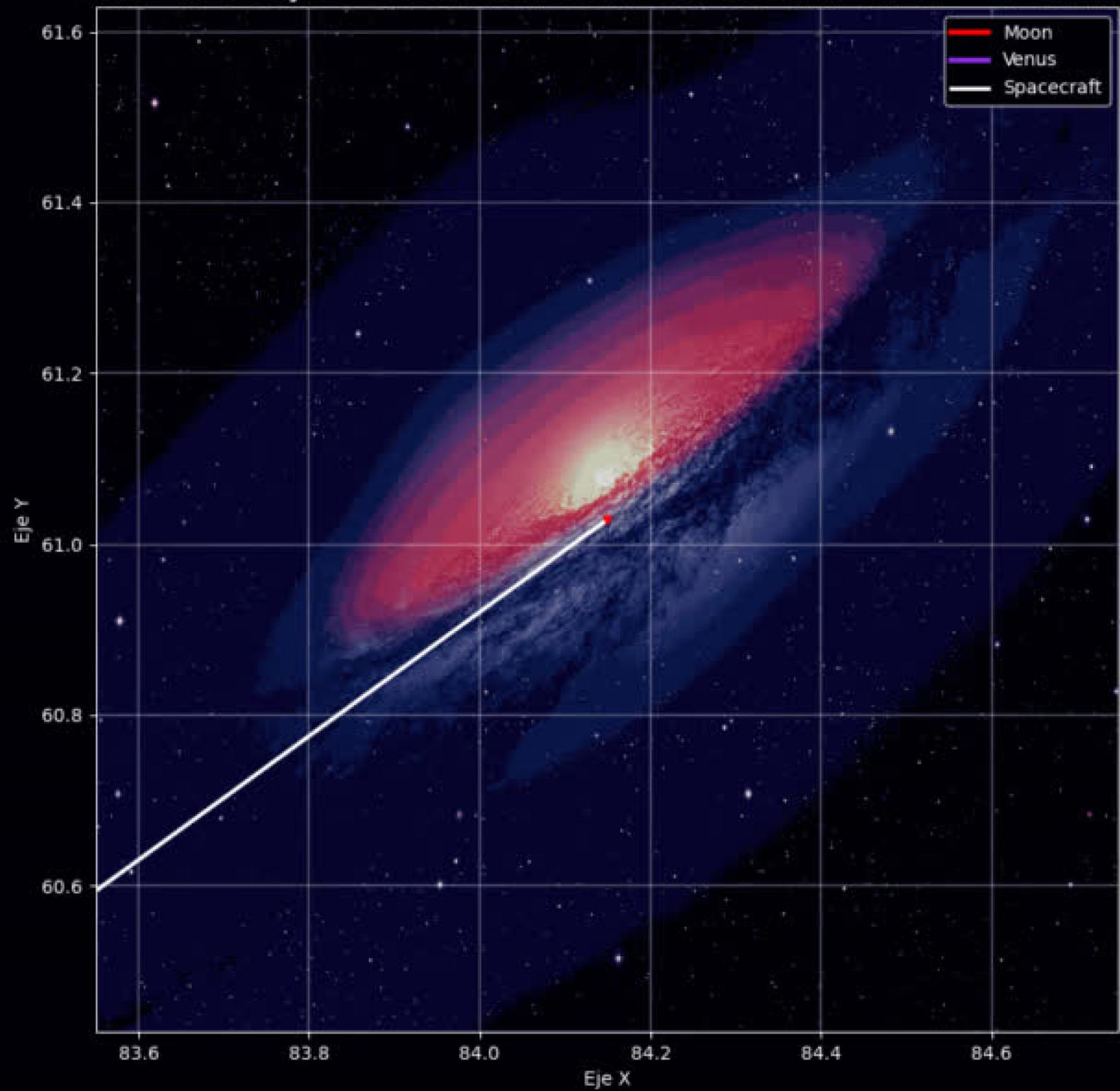
Mkm Venus 133.494

Time:0.0 days 0.391 Mkm Moon 0.007 Mkm Earth 12.0km/s



Mkm Venus 2.19

Time:95.0 days 40.227 Mkm Moon 39.958 Mkm Earth 4.88km/s



# Conclusiones

- En cuanto a los viajes a la Luna, se obtuvieron los resultados proporcionados por Danby (1997). Estos resultados sirven como base para demostrar que el código funciona correctamente y genera resultados coherentes. Dado que no existen referencias específicas para las trayectorias de cuatro cuerpos simuladas en este estudio, los resultados obtenidos a partir de las trayectorias lunares validan la eficacia del código en general.



# Conclusiones

- Los viajes simulados ofrecen la oportunidad de visualizar diversos fenómenos relacionados con los campos gravitacionales, como la asistencia gravitatoria, que se utiliza con frecuencia para alterar la dirección y la magnitud de la velocidad según sea conveniente. En el caso del Viaje a Venus I, se aprovecha este fenómeno en varias ocasiones: en la Luna, para redirigir la nave hacia Venus y aumentar su velocidad, y en Venus, para modificar la dirección de la nave y permitir su retorno a la Tierra, además de aumentar su velocidad en el proceso.



# Conclusiones

- El Viaje a Venus II se llevó a cabo para demostrar la sensibilidad del problema ante cambios en las condiciones iniciales. Concretamente, un pequeño cambio de 0.19 días (aproximadamente 4.56 horas) en la fase inicial de Venus, se reflejó en una trayectoria completamente diferente después de la interacción con Venus. Además, al elegir las condiciones iniciales adecuadas, también se puede modificar la trayectoria subsiguiente a la interacción con Venus para enviar la nave hacia una dirección específica, como el Sol u otro planeta. De esta manera, es posible aprovechar aún más el código para obtener diversas trayectorias útiles en problemas más específicos. Este tipo de viajes se utiliza ampliamente para modificar la trayectoria de naves espaciales y sondas en la exploración espacial.



# Conclusiones

- El Viaje a Venus III proporcionó evidencia para demostrar la utilidad e importancia de la asistencia gravitatoria. En este viaje, a diferencia de V1, la Luna no se utilizó para acelerar la nave, lo que requirió una velocidad inicial mucho mayor para lograr un viaje similar. Específicamente, la velocidad de la nave se incrementó en 1.1km/s, lo cual, en términos de combustible, resulta en un aumento en la carga de la nave y una reducción en la carga útil, lo que genera un incremento significativo en el costo general del viaje. Además, este viaje demostró que la asistencia gravitatoria de los cuerpos celestes no siempre se traduce en un aumento de velocidad, ya que en el viaje de regreso la nave perdió velocidad después de interactuar con Venus. Estas maniobras también son útiles en situaciones donde se requiere reducir la velocidad, por ejemplo, para lograr aterrizajes más controlados y minimizar los riesgos.



# Conclusiones

- Este proyecto y sus resultados presentan características únicas que, al menos en el ámbito universitario, no se han abordado previamente. Por ejemplo, se implementaron dos condiciones iniciales adicionales relacionadas con las posiciones de Venus y la Luna. Además, el programa desarrollado permite obtener datos clave del viaje en cualquier momento dado, como la distancia de la nave respecto a Venus, la Tierra y la Luna, así como su velocidad en diferentes puntos de la trayectoria. Esto facilita un estudio más detallado de los viajes y también ayuda a determinar las condiciones iniciales necesarias para un viaje específico. Se demostró que pequeños cambios en estas condiciones iniciales tienen un impacto significativo en la trayectoria de la nave, lo que subraya la complejidad y sensibilidad de este tipo de problemas.



# Conclusiones

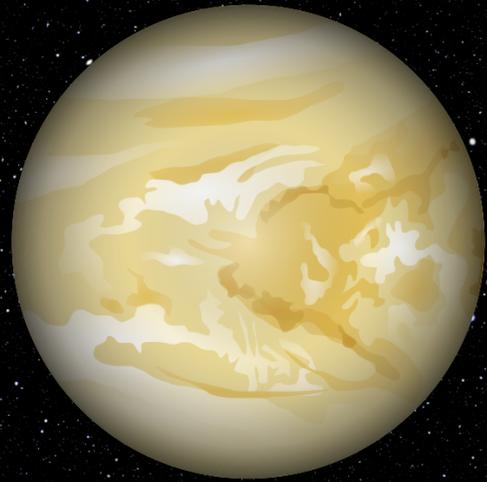
- Es importante destacar que debido a la naturaleza del problema, existe una amplia gama de trayectorias posibles tanto para los viajes a la Luna como para los viajes a Venus. Dado el gran número de combinaciones de las cinco condiciones iniciales, es posible explorar una multitud de trayectorias útiles e interesantes al variar adecuadamente cualquiera de estas condiciones.



# RECOMENDACIONES

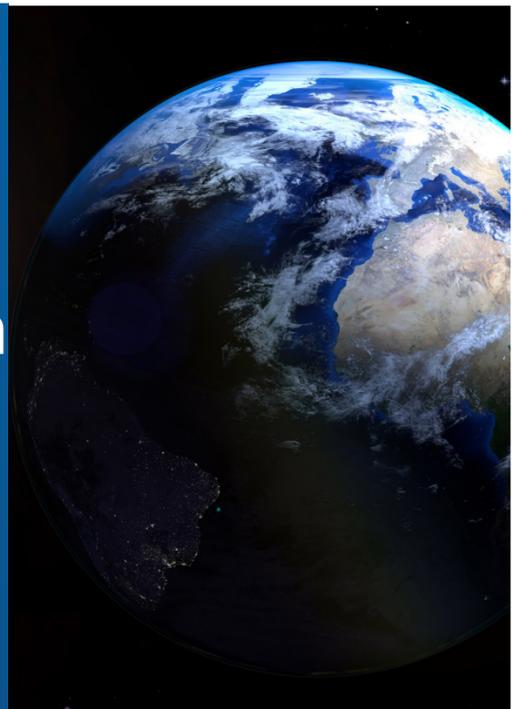
**01**

Establecer condicionales para tener control sobre la nave y realizar maniobras más complejas



**02**

Como un reto mayor, se podría considerar el volumen de los cuerpos celestes, realizando un tratamiento tridimensional



# REFERENCIAS

- 1 Kleppner, D., & Kolenkow, R. (2014). An introduction to mechanics. Cambridge University Press.
- 2 Fitzpatrick, R. (2012). An introduction to celestial mechanics. Cambridge University Press.
- 3 Barbosa, J. G. P. (2012). Elementos de astronomía de posición. Universidad Nacional de Colombia.
- 4 Chapra, S. C., & Canale, R. P. (2011). Numerical methods for engineers (Vol. 1221). New York: Mcgraw-hill.
- 5 Danby, J. A. (1997). Computer modeling: from sports to spaceflight... from order to chaos.
- 6 Basante, C. (2013). Órbitas de transferencia libre en un sistema tierra-luna.



The background features a dark blue space scene with a view of Earth from space on the left and the Moon's surface in the foreground. A semi-transparent dark blue rectangle is centered in the middle, containing the text. To the right of the rectangle is a small grey circle, and in the bottom right corner, there are two overlapping semi-transparent grey circles.

**GRACIAS!**