LFIS223

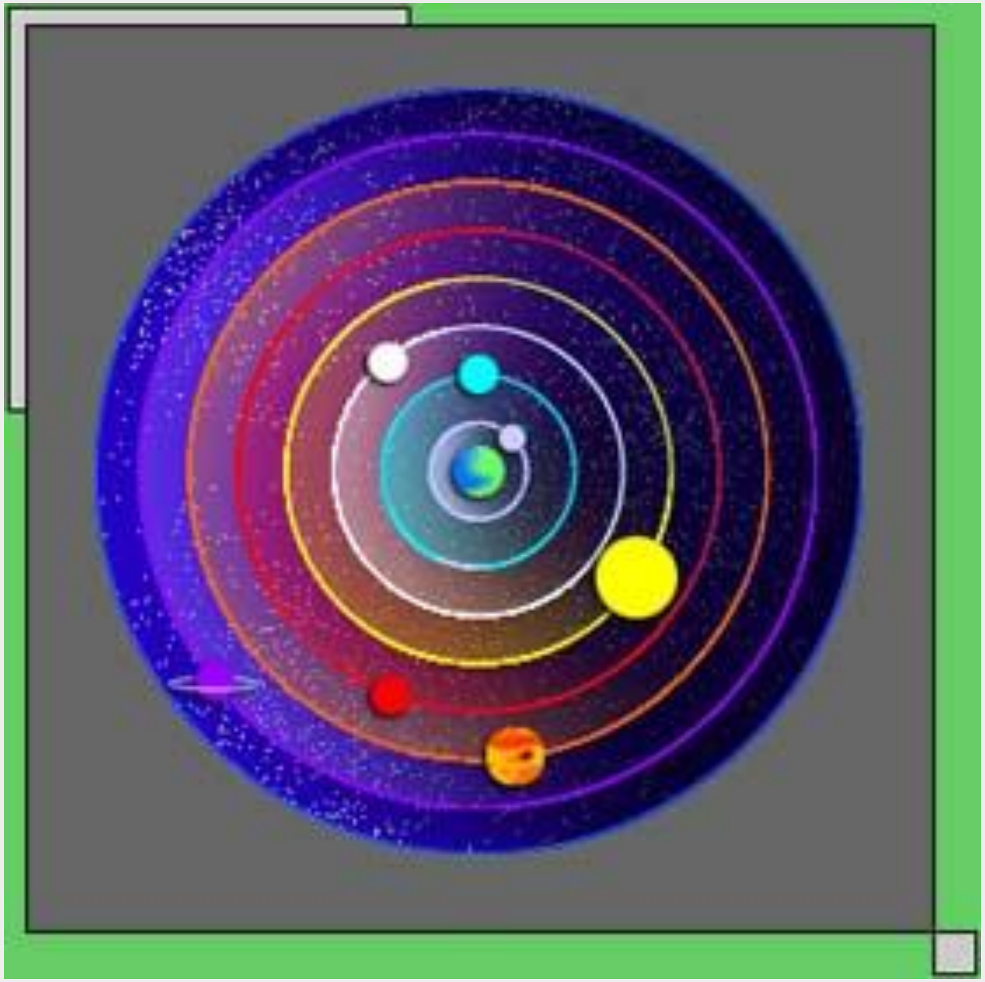
Astronomía General

Mónica Zorotovic

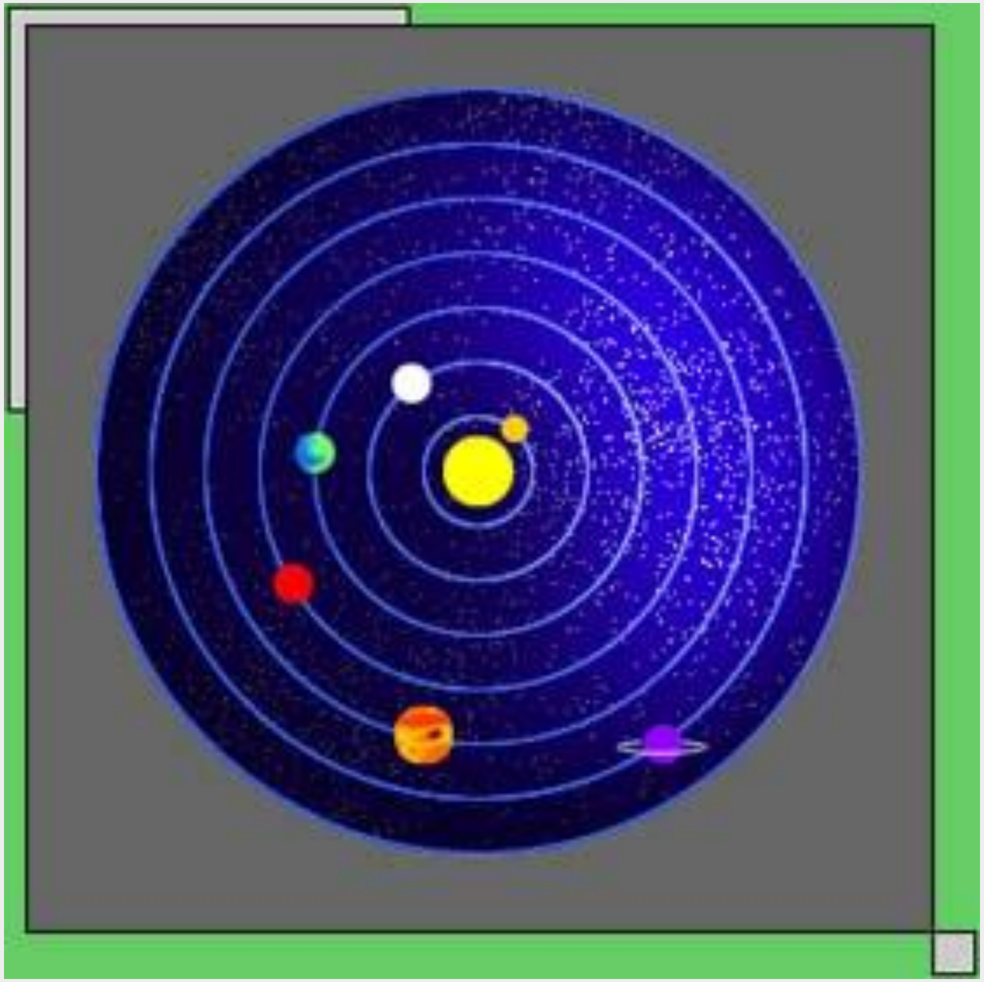
Tema 1:
Sistema solar

Fecha 07/08

Sistema Solar
De Ptolomeo a Copérnico



Modelo geocéntrico

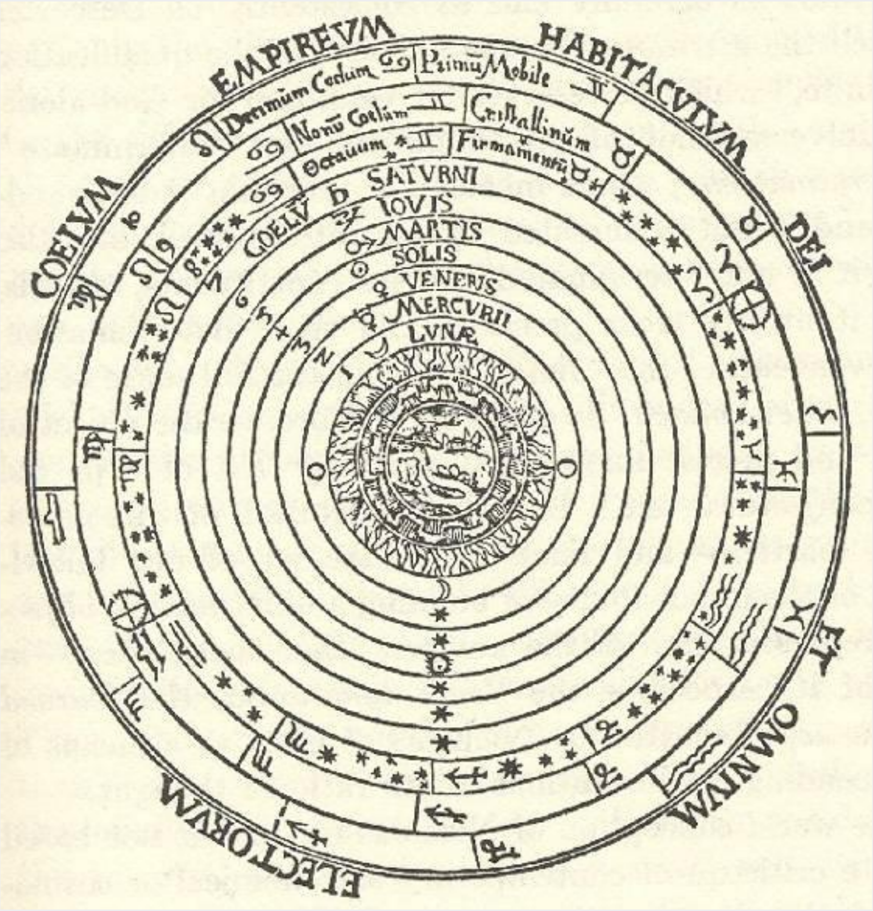


Modelo heliocéntrico

Modelo Geocéntrico

Los astrónomos Griegos desarrollaron un modelo del Universo centrado en la tierra.

Suposiciones:
- Tierra esférica, estacionaria, al centro del Universo
- Los cuerpos en el cielo se mueven con movimiento circular y uniforme.



Cosmografía, publicada en 1524

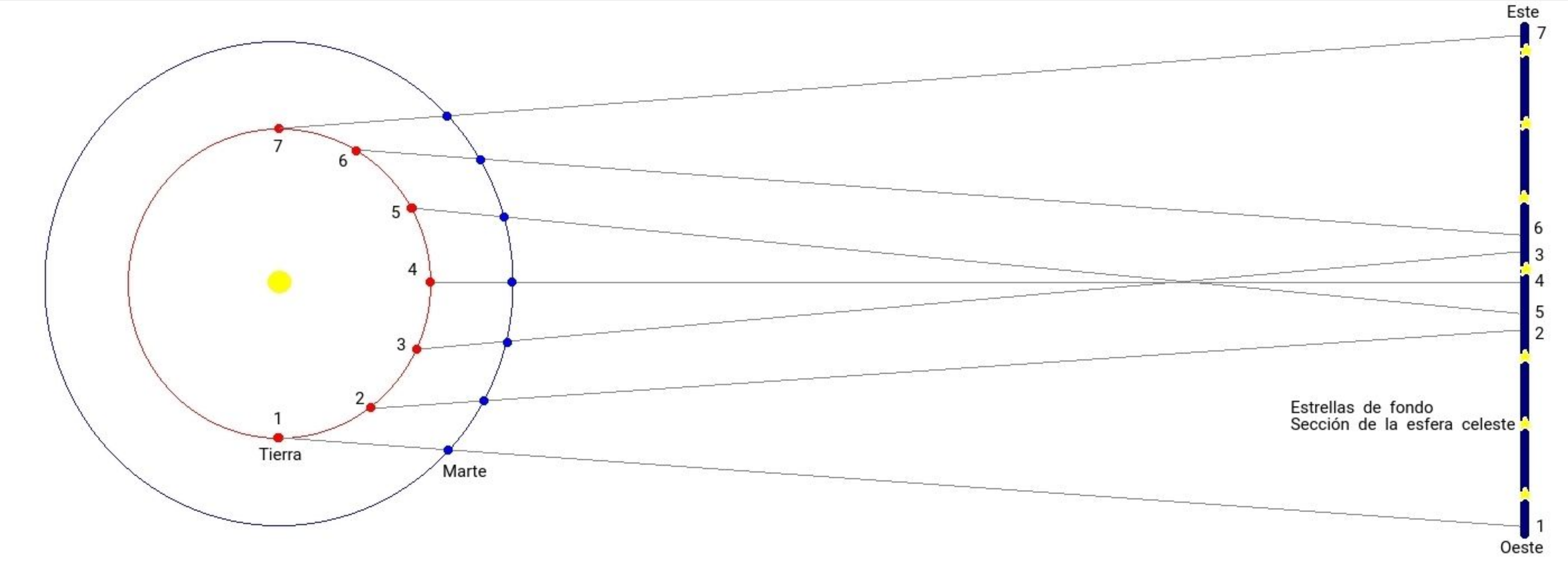
Malas suposiciones → Malas conclusiones

Movimiento Retrógrado

Los planetas se mueven usualmente de oeste a este, aunque dicho movimiento se ve interrumpido durante breves intervalos por un movimiento retrógrado de este a oeste.

El modelo Geocéntrico no podía explicar el movimiento retrógrado de los planetas

Movimiento Retrógrado



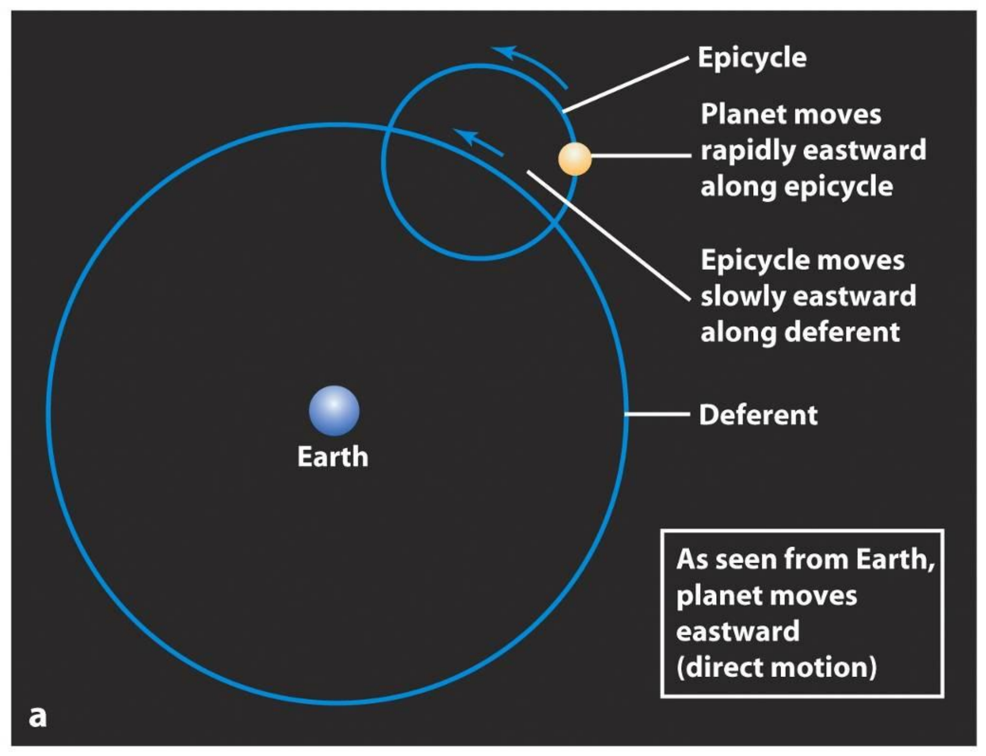
Ejemplo: visto de nuestro planeta, el movimiento de Marte cambia de dirección con respecto a las estrellas de fondo. Entre los puntos 1 y 3 lo vemos de Oeste a Este, de 3 a 5 cambia de dirección y lo vemos de Este a Oeste, y luego de 5 a 7 nuevamente de Oeste a Este.

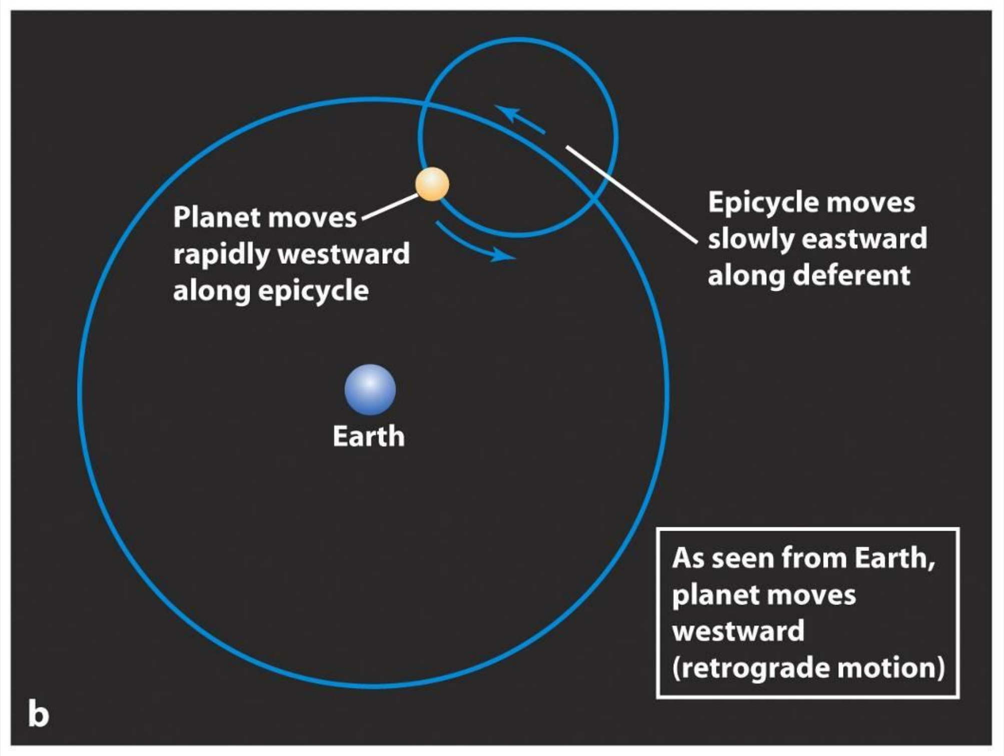
Para los planetas interiores, vemos movimiento retrógrado varias veces al año (cuando ellos nos "adelantan") mientras que para los exteriores, debemos esperar más de un año, cuando nosotros los "adelantamos" (por ejemplo para Marte es aproximadamente cada 2 años)

Ptolomeo y los Epiciclos

Ptolomeo (siglo II) introdujo los epiciclos para explicar el movimiento retrógrado de los planetas.

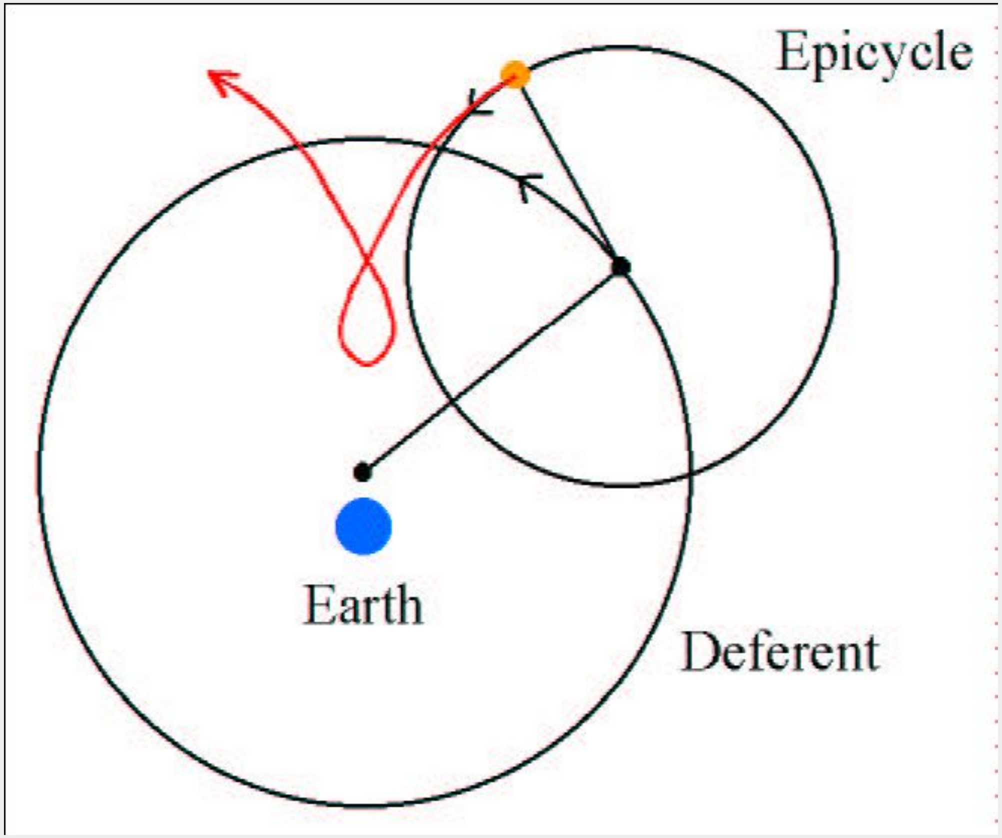
- El planeta se mueve a lo largo de un pequeño círculo llamado Epiciclo
- El centro del Epiciclo se mueve a lo largo de un círculo más grande alrededor de la tierra, llamado Deferente





Ptolomeo y los Epiciclos

La combinación del movimiento en ambos círculos produce el loop que explicaría el movimiento retrógrado.



Pero el modelo de Ptolomeo no se ajustaba a los datos.

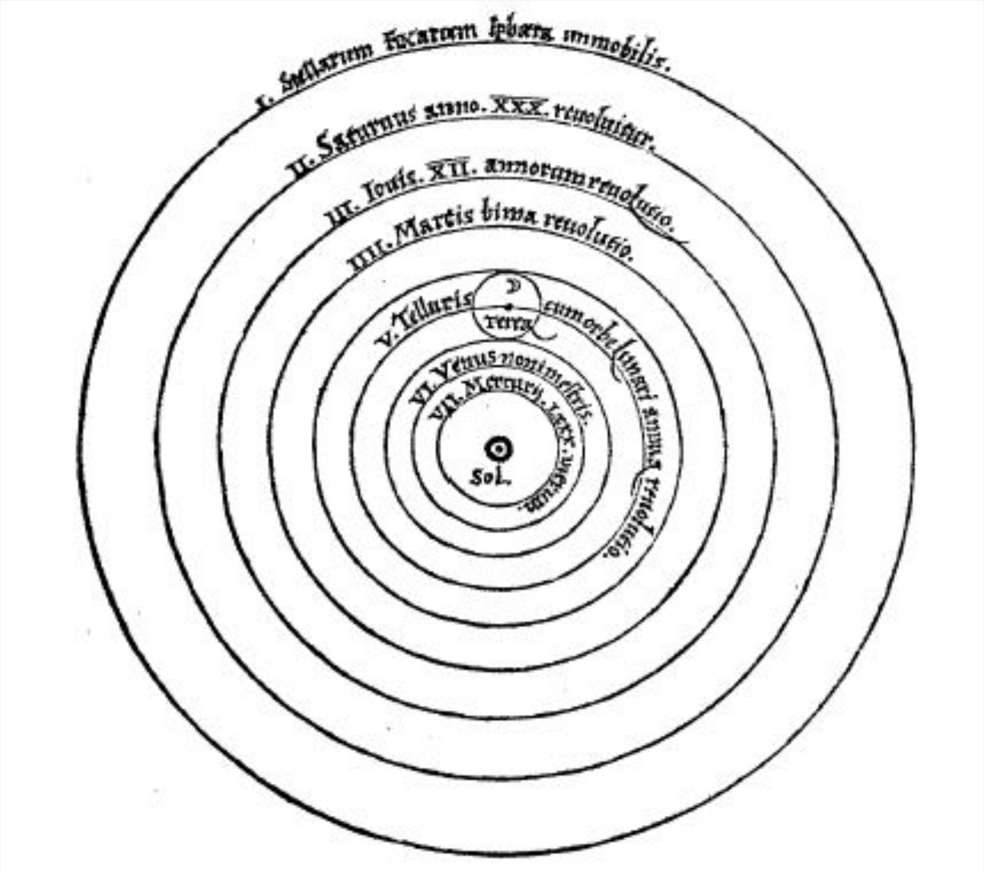
Durante la Edad Media, tuvo que ser modificado, agregando más epiciclos.

El modelo se volvía innecesariamente complicado porque estaba basado en suposiciones erróneas.

Modelo Heliocéntrico
Mikolaj Kopernik (1473-1543)

Dijo que el Sol, no la Tierra, estaba en el centro del Universo.

- Sol en el centro
- La Tierra gira alrededor del Sol
- La Tierra gira alrededor del eje

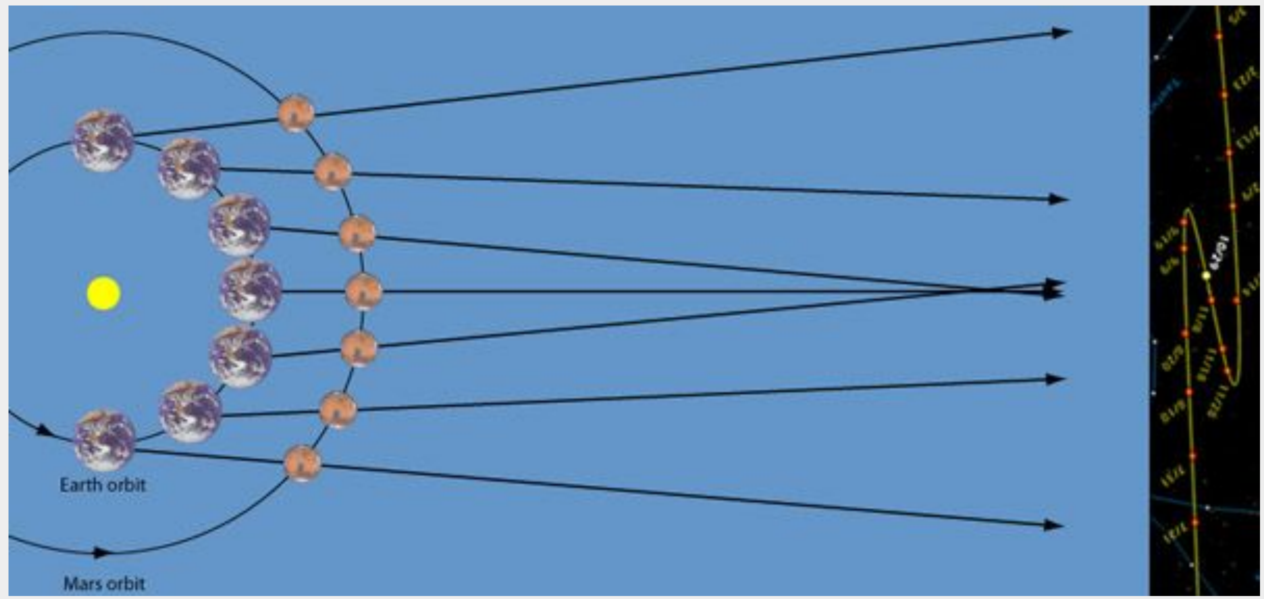


Modelo Heliocéntrico

En el modelo heliocéntrico de Copérnico, el movimiento retrógrado de los planetas se explica naturalmente, si los planetas más alejados del Sol se mueven más lentamente.

Ejemplo: Tierra y Marte

V_{orb} de la Tierra ~ 30 km/seg
V_{orb} de Marte ~ 24 km/seg



Modelo Heliocéntrico

Revolución:
- La Tierra no está en el centro.
- La Tierra se está moviendo.
- La Tierra es solo otro planeta.
- El espacio es grande, REALMENTE grande.

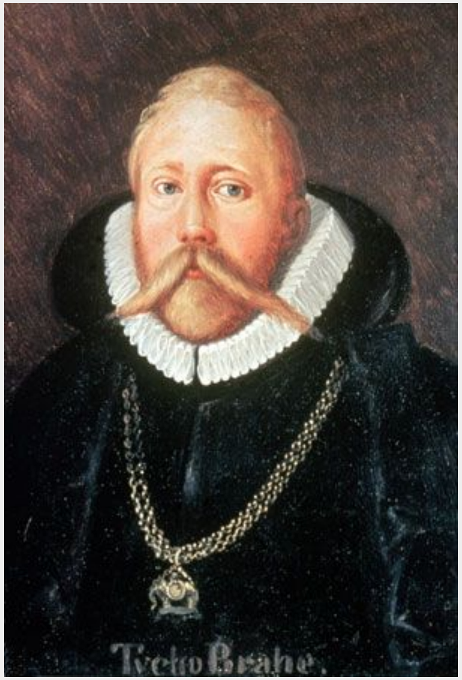
Aspectos conservadores del modelo copernicano:
- Aún asume movimientos circulares y uniformes.
- Epiciclos aún requeridos

Tycho, Kepler & Galileo

“E pur si muove!”

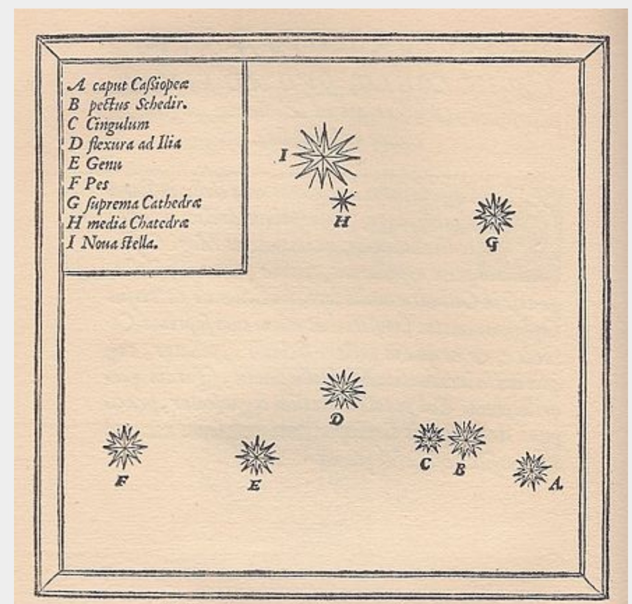
(Y sin embargo se mueve)

Tycho Brahe (1546 - 1601)



Descubrió una 'estrella nueva' (una supernova en la constelación de Casiopea), lo que derribó la antigua noción de cielos perfectos e inmutables.

Hizo mediciones muy precisas de las posiciones de los planetas.



Diſtantiam verò huius ſtellæ à fixis aliquibus in hac Caſsiopeiæ conſtellatione, exquiſito inſtrumento, & omnium minutorum capacj, aliquoties obſeruaui. Inueni autem eam diſtare ab ea, quæ eſt in pectore, Schedir appellata B, 7. partibus & 55. minutis: à ſuperiori

verò

Johannes Kepler (1571 – 1630)

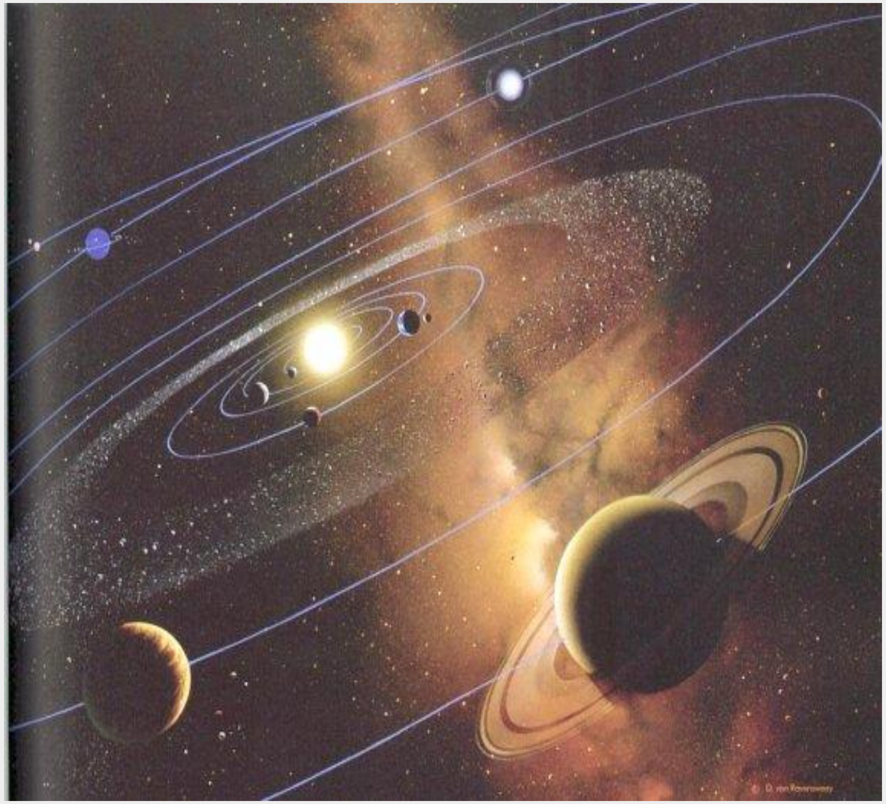
Asistente de Tycho Brahe, usó sus datos para estudiar matemáticamente el movimiento de los planetas.

Logró encontrar una solución sólo tras abandonar las ideas de:

Movimiento circular
y
Movimiento uniforme

Los planetas se mueven alrededor del sol en órbitas elípticas, con velocidades no uniformes.

Leyes de Kepler



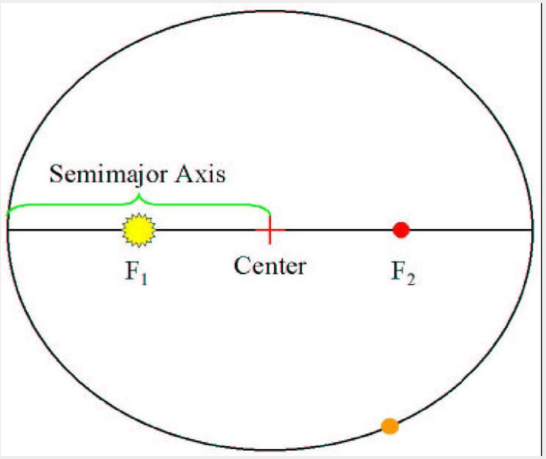
1) Todos los planetas se mueven en órbitas elípticas, con el sol en uno de sus focos.

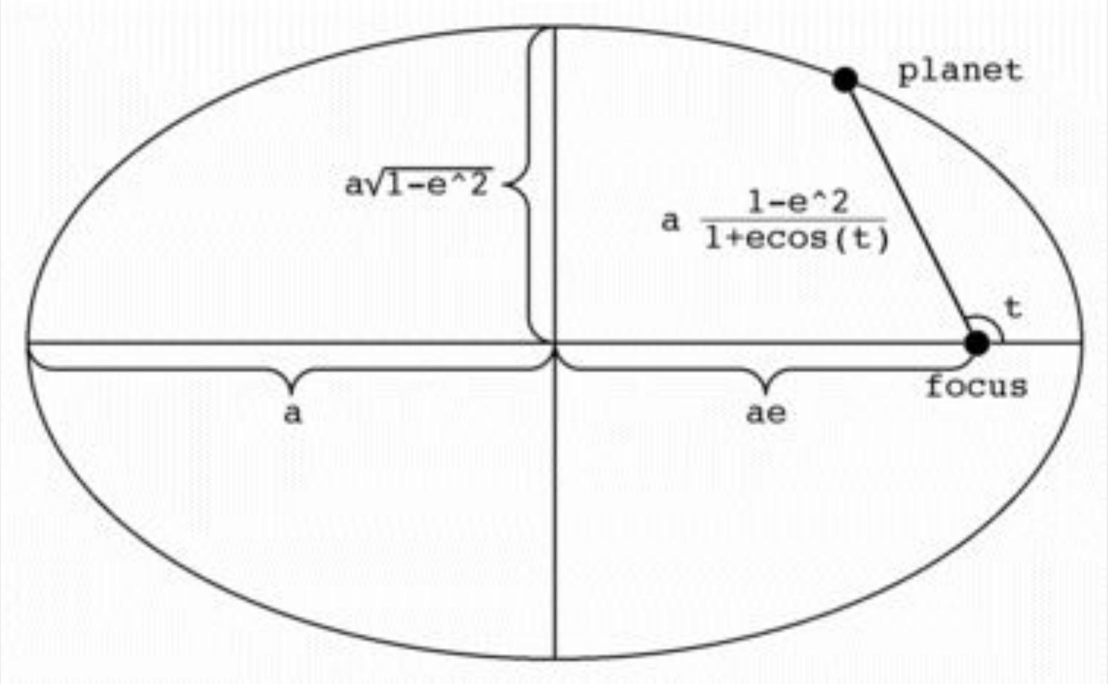
2) La línea que conecta el sol con el planeta barre áreas iguales en tiempos iguales.

3) El cuadrado del periodo orbital de cualquier planeta es proporcional al cubo del promedio de la distancia entre el sol y el planeta.

Primera ley de Kepler

Generalización (newton): cualquier objeto ligado a otro por la ley de los inversos cuadrados se moverá en órbita elíptica, con el otro cuerpo en uno de los focos (el segundo foco está vacío).





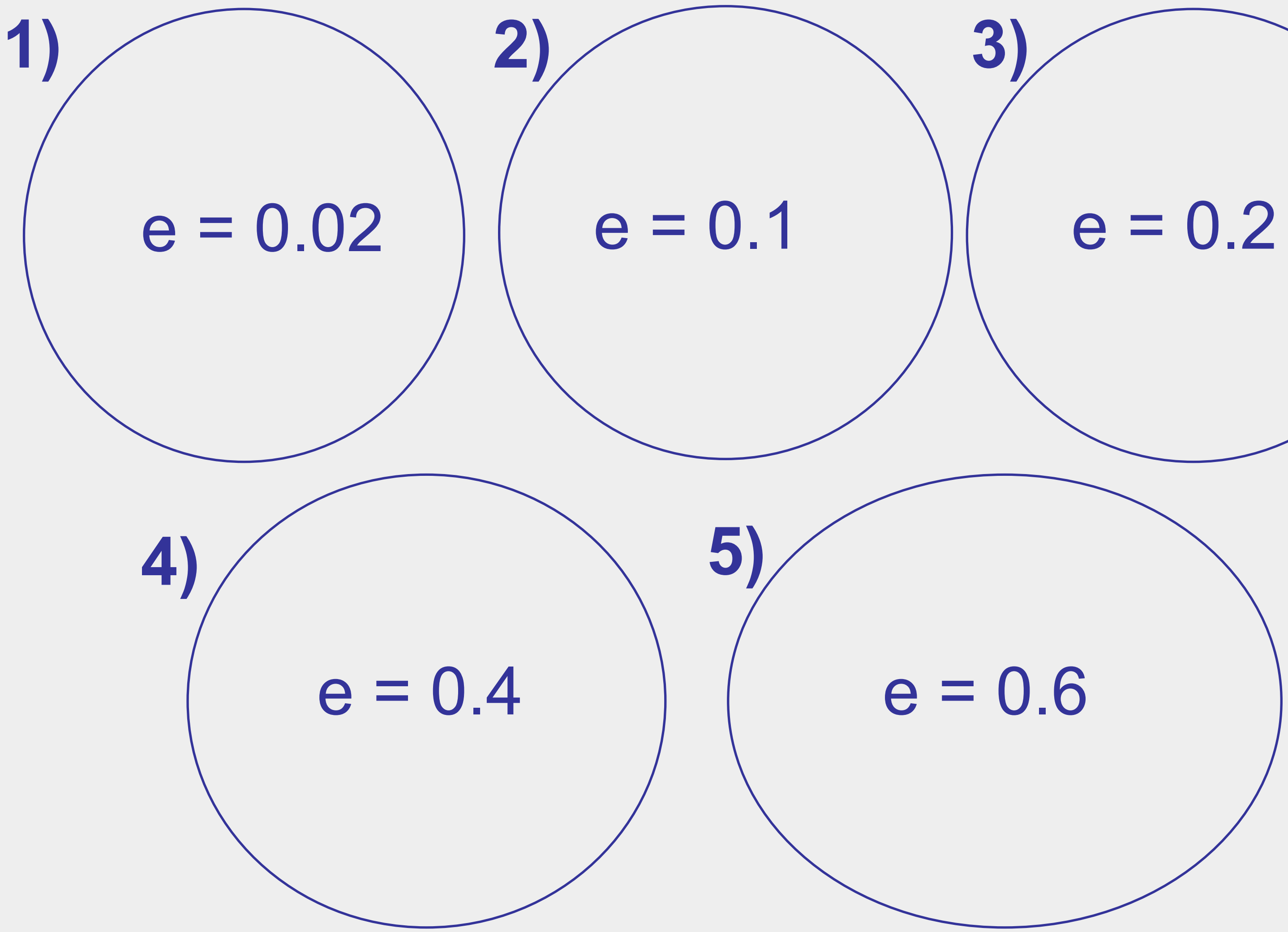
a = Semieje mayor

b = Semieje menor

e = Excentricidad

ae = Distancia de un foco al centro de la elipse

Excentricidad de elipses

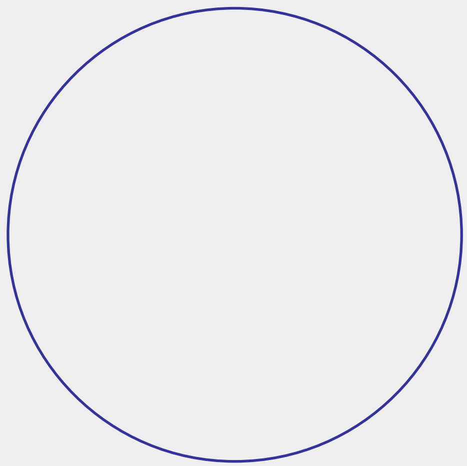


Las órbitas circulares tienen excentricidad cero, y aumenta a medida que la elipse es más pronunciada

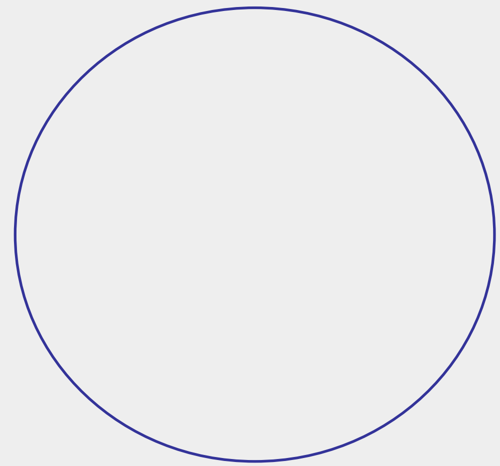
Excentricidad de los planetas

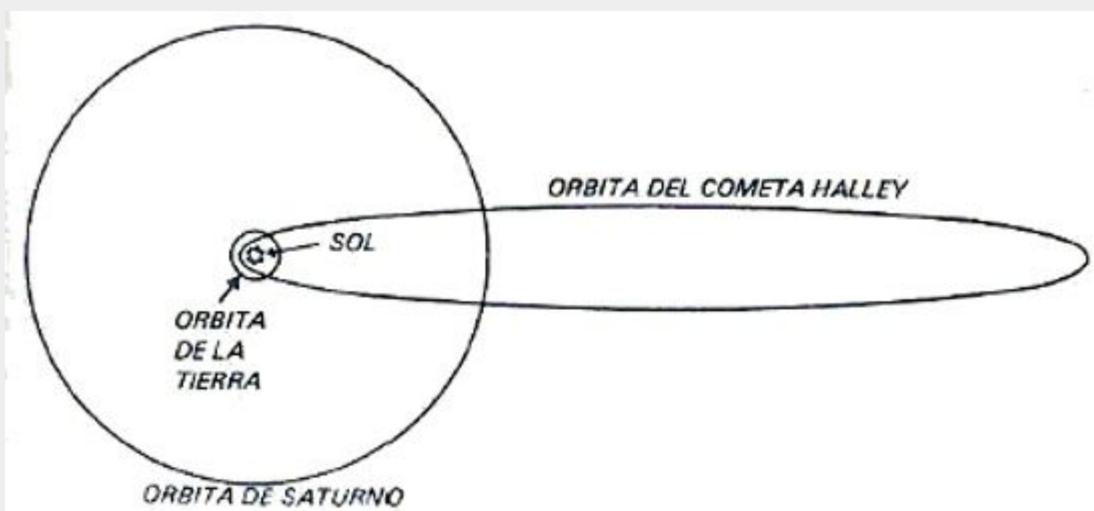
Las órbitas de los planetas son casi indistinguibles de órbitas circulares.

Tierra: e = 0.0167



Plutón: e = 0.248



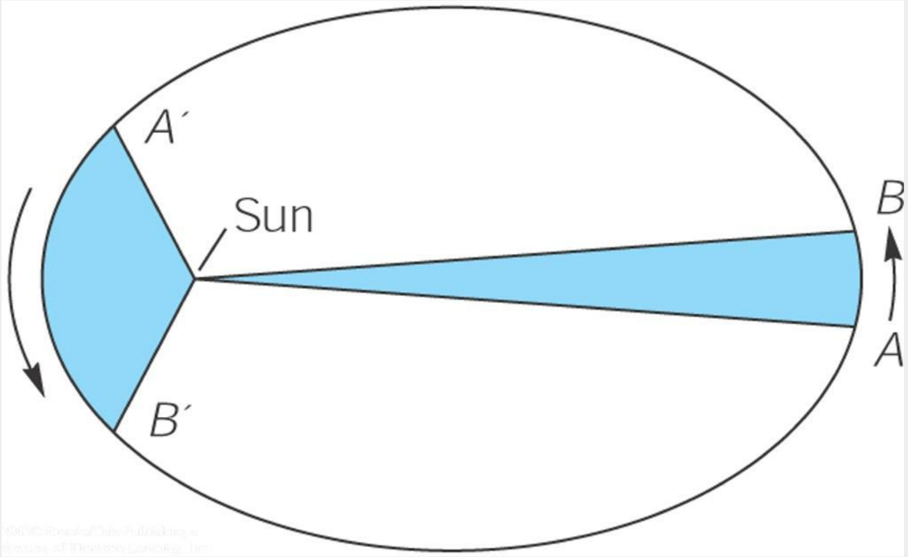


Cometa Halley
e = 0.97

Segunda ley de Kepler

La línea que conecta el sol con el planeta barre áreas iguales en tiempos iguales.

Si de A a B se demora el mismo tiempo que de A’ a B’, el área de A a B es igual al área de A' a B'



Esto implica que el planeta se mueve más rápido cuando está más cerca del sol (en el perihelio), y más lento cuando está más lejos (afelio).

Ejemplo: Marte, se mueve a ~26.5 km/s en su perihelio (a 1.381 AU del sol) y a ~22 km/s en su afelio (a 1.666 AU).

Tercera ley de Kepler

El cuadrado del periodo orbital de un planeta es proporcional al cubo del promedio de su distancia a su estrella.

$$P^2 = Ka^3 \qquad K = \frac{4\pi^2}{GM}$$

Donde "P" es el periodo orbital del planeta, "a" su distancia promedio a la estrella que orbita, y K una constante que solo depende de la masa de la estrella

Para una órbita alrededor del sol

$$K_s = \frac{4\pi^2}{GM_s} = 2.97 \times 10^{-19}\ s^2/m^3$$

Ejercicio 1: Sabiendo que la tierra demora $3{,}15 \times 10^7$ segundos en girar alrededor del sol, y que la distancia promedio al sol es $\sim 1{,}496 \times 10^{11}$ m, demuestre que la masa del Sol es de $1{,}99 \times 10^{30}$ Kg. (Use $G = 6{,}673 \times 10^{-11}\ Nm^2/kg^2$)

Tercera ley de Kepler

Si el periodo se mide en años y la distancia en Unidades Astronómicas, la relación para los planetas que giran en torno al sol es:

$$\boxed{P_y^{\,2} = a_{AU}^{\,3}}$$

AU = Unidad Astronómica ~ 1.496×10^{11} m. Es la distancia promedio del sol a la tierra.

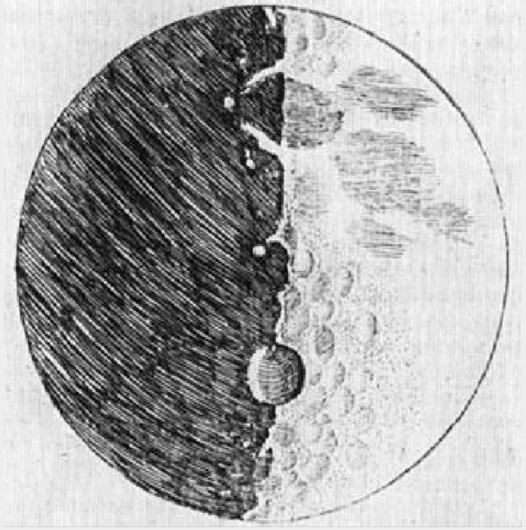
Ejemplo: Para la órbita de marte

$$P = 1.881 \ \text{yr} \qquad P^2 = 3.54$$
$$a = 1.524 \ AU \qquad a^3 = 3.54$$

Galileo Galilei (1564-1642)

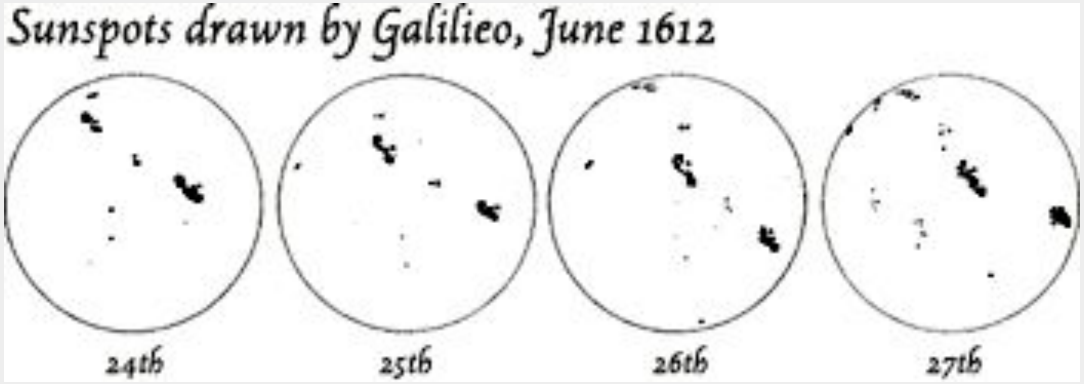
Fue uno de los primeros en observar el cielo con un telescopio (1609).

Sus observaciones dieron apoyo al modelo heliocéntrico.



Además revelaron que:
- La luna no es perfecta (tiene cráteres)
- El sol tampoco es perfecto, tiene manchas.

El movimiento de las manchas solares le
Indicó que el Sol rota.



Y si el sol rota
¿por qué no la tierra?

Júpiter y Venus

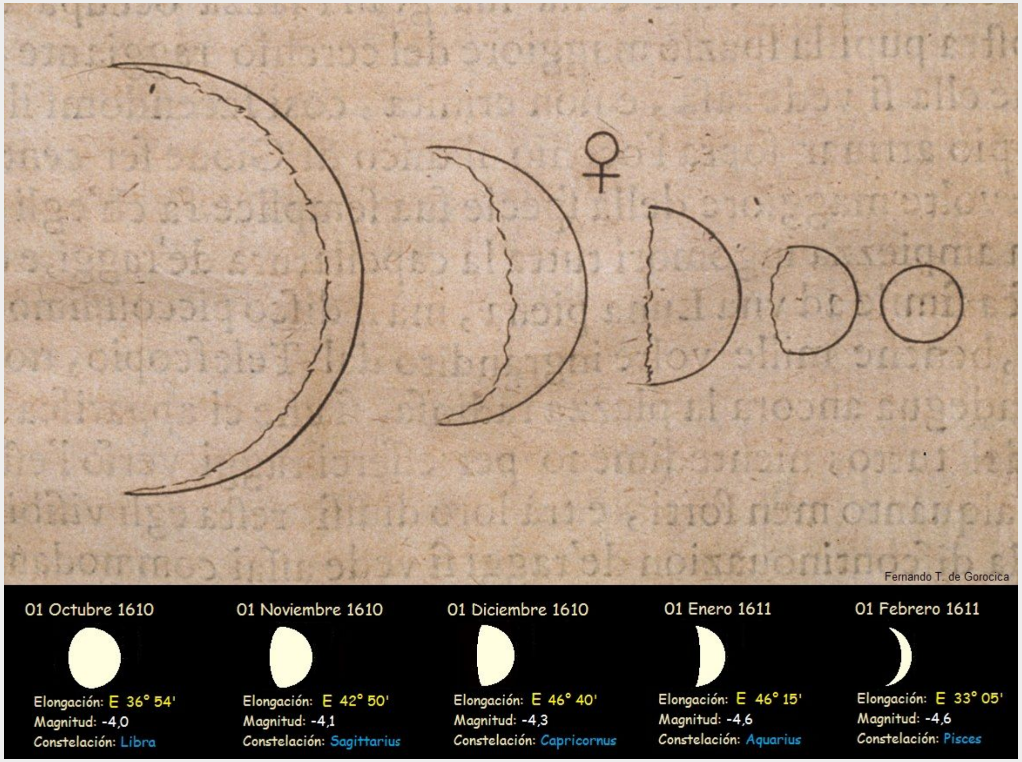
- Observó que Júpiter también tenía lunas (4 lunas "galileanas": Io, Europa, Ganímedes y Calisto).

La Tierra NO es el centro de todas las órbitas en el universo.

- Y que Venus muestra fases como las de la Luna.

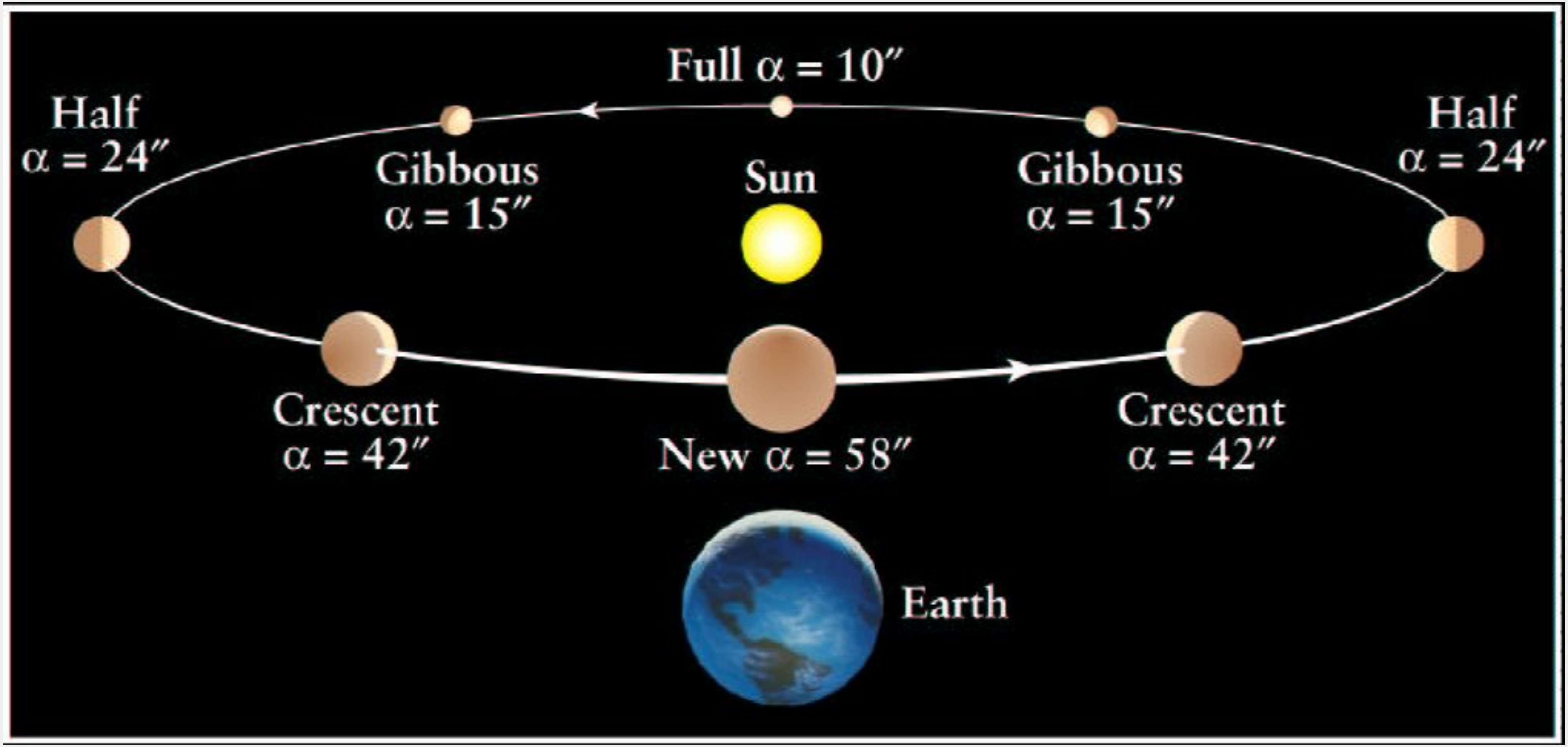
Se ve más grande cuando está casi nuevo, y más pequeño cuando está lleno.

Si todo girara alrededor de la tierra, venus sólo podría mostrar fase nueva y creciente.

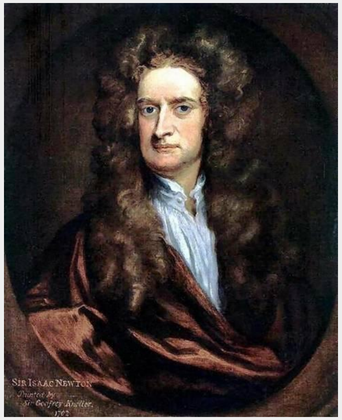


Fases de Venus

En el modelo heliocéntrico, Venus puede tener todas las fases, y su tamaño angular es más pequeño cuando está lleno que cuando es nuevo.



Isaac Newton (1643-1727)



Descubrió las 3 leyes de movimiento y la ley de gravitación universal.

Tres leyes de Movimiento:

(1) Ley de inercia: Un objeto permanece en reposo, o se mueve en línea recta a velocidad constante, a menos que actúe sobre él una fuerza externa.

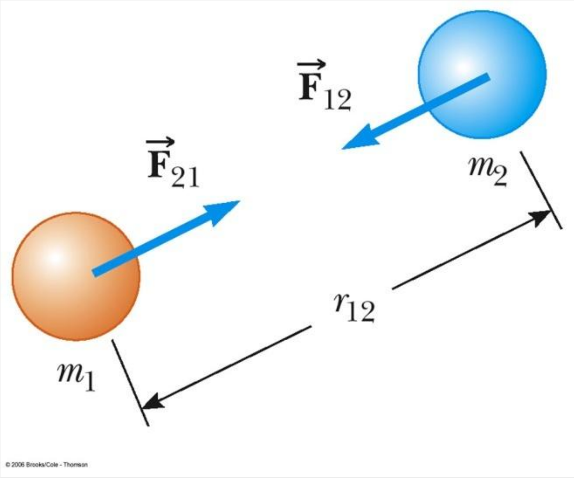
(2) Principio fundamental: La aceleración de un objeto es directamente proporcional a la fuerza, e inversamente proporcional a la masa.

(3) Acción y reacción: Por cada acción, hay una reacción igual y opuesta. Es decir, todas las fuerzas vienen en pares. Cada vez que A ejerza una fuerza sobre B, B ejerce una fuerza sobre A que es igual en tamaño (magnitud) y dirección, pero en sentido opuesto.

Ley Universal de Gravitación

Todas las partículas del universo se atraen unas a otras con una fuerza que es directamente proporcional al producto de las masas, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

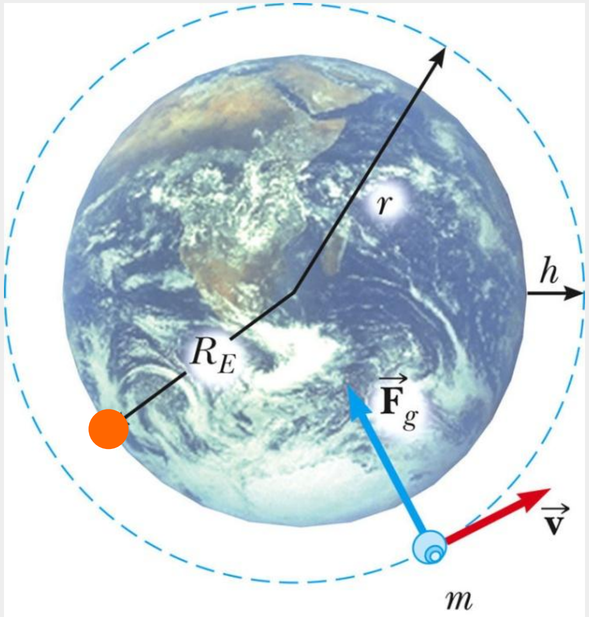


G = 6.673 x 10^{-11} N m² /kg²
es la constante universal de gravitación

Caída libre y fuerza gravitacional

Consideremos un objeto de masa m en la superficie terrestre

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2} = G\frac{mM_E}{R_E^{\ 2}}$$



Aceleración a_g debida a la gravedad

$$G\frac{mM_E}{R_E^{\ 2}} = ma_g$$

Ejercicio 2: sabiendo que el radio de la tierra en el Ecuador es 6378,1 km mientras que en el polo es 6356,8 km, calcule la diferencia en la aceleración de gravedad para ambos sitios.

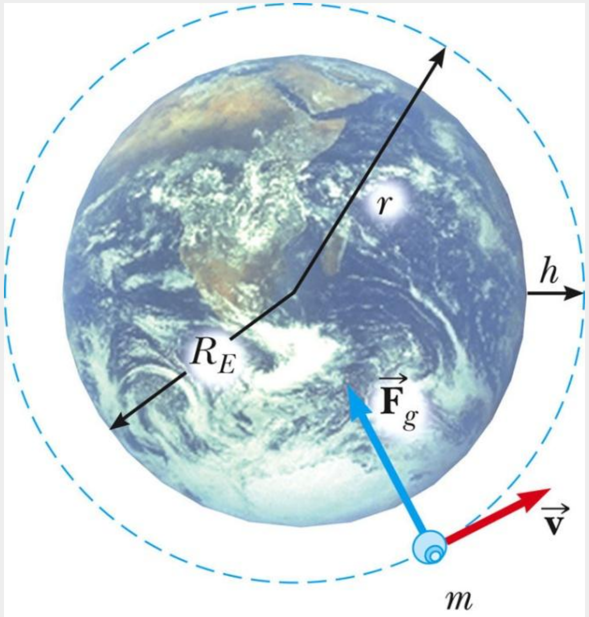
Use:

$G = 6{,}673 \times 10^{-11}$ Nm²/kg²

$M_E = 5{,}9742 \times 10^{24}$ Kg

Caída libre y fuerza gravitacional

Si ahora el objeto se encuentra a una altura h sobre la superficie de la tierra



$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2} = G\frac{mM_E}{(R_E + h)^2}$$

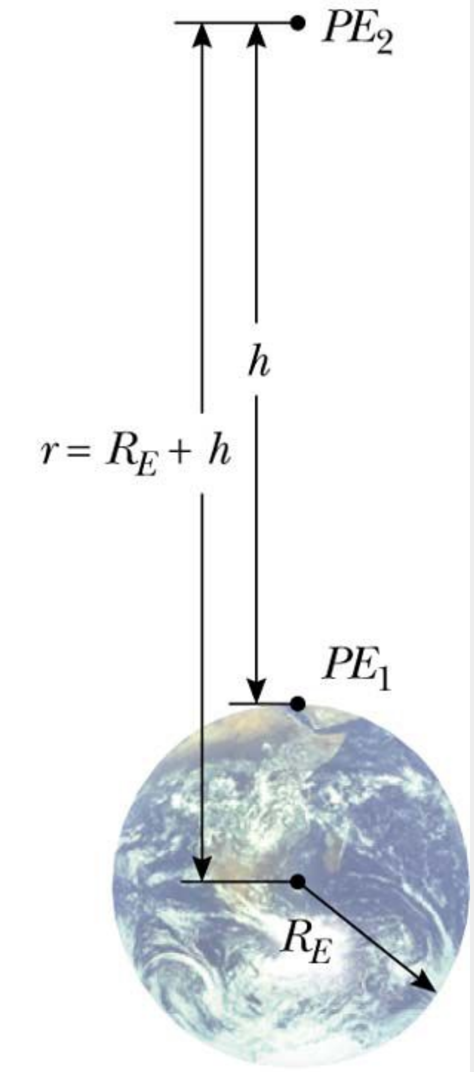
$$a_g = G\frac{M_E}{(R_E + h)^2}$$

La aceleración a_g disminuye con la altura

Energía Potencial Gravitacional

La energía potencial de un objeto a distancia r del centro de la tierra es

$$U = -G\frac{M_E m}{r}$$



La energía potencial se hace cero a distancia infinita, por lo tanto la energía potencial gravitacional de la tierra en cualquier otro punto es negativa (atractiva).

Conservación de energía

$$E = K + U = \frac{1}{2}mv^2 - G\frac{M_E m}{r}$$

Energía de las órbitas

Un planeta se mantiene moviéndose en su órbita gracias a la **fuerza centrípeta** que produce la fuerza de gravedad. Para órbitas circulares:

$$F = \frac{mv^2}{r} = G\frac{Mm}{r^2}$$

Esto implica que: $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{GMm}{2r}$ $\qquad v_{orb} = \sqrt{\frac{GM}{r}}$

Reemplazando en la ecuación de energía:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{GMm}{r} = \frac{GMm}{2r} - \frac{GMm}{r} \qquad E = -\frac{GMm}{2r} \text{ (circular orbits)}$$

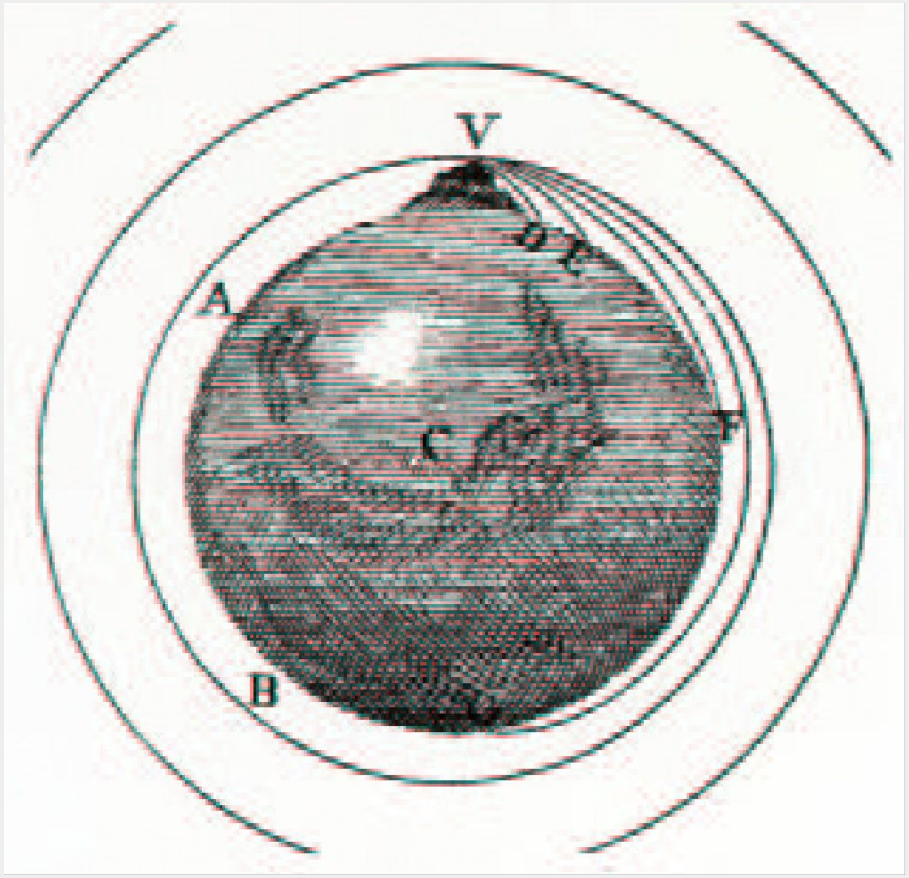
Notar que la energía total es negativa, y es la mitad de la energía potencial

En órbitas elípticas, r se reemplaza por a $\qquad E = -\frac{GMm}{2a}$ (elliptical orbits)

Satélites Artificiales

Newton dijo que para poner un objeto en órbita, bastaba con lanzarlo a una velocidad lo suficientemente grande.

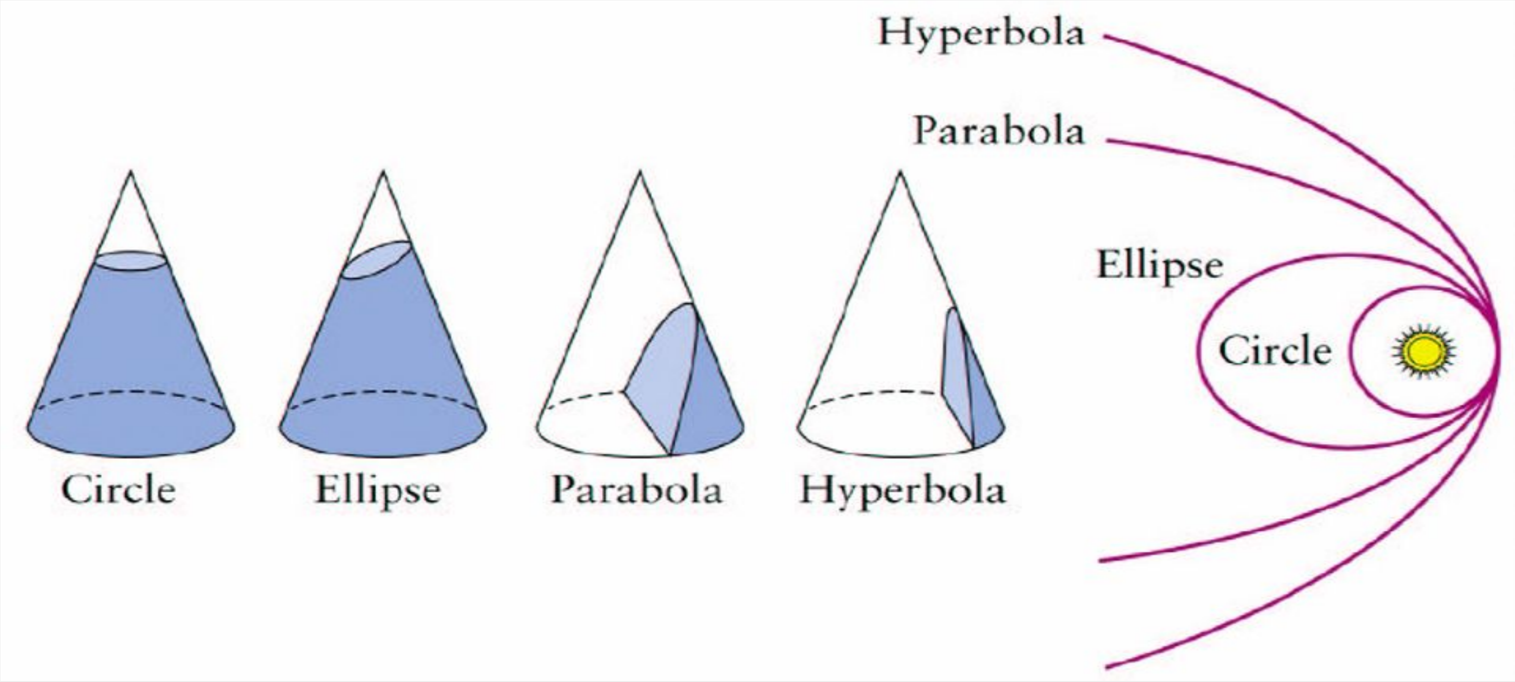
¿Qué tan grande es lo suficientemente grande?



Satélites Artificiales

La forma de la órbita depende de la velocidad del satélite en el lanzamiento:

Baja velocidad = órbita cerrada, un círculo o elipse.
Alta velocidad = órbita abierta, una parábola o hipérbola.
Los círculos, las elipses, las parábolas y las hipérbolas se llaman secciones cónicas.



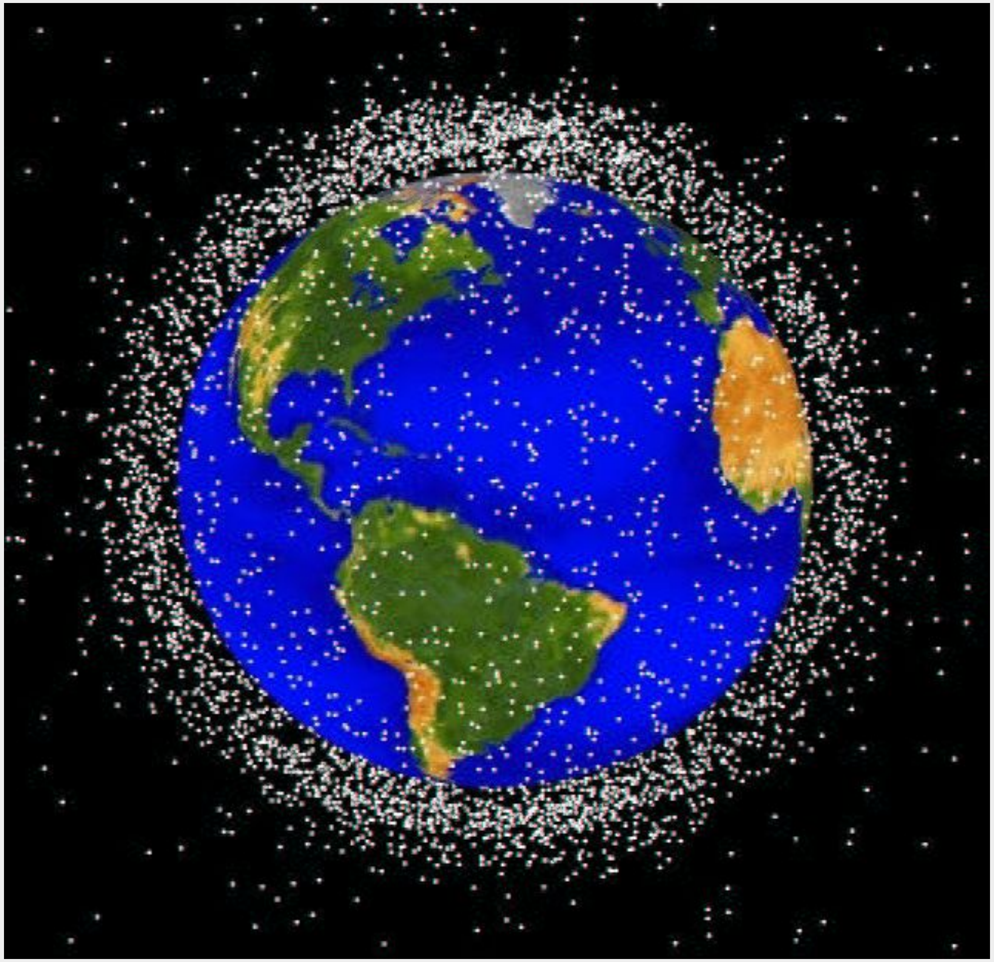
Satélites Artificiales

Para permanecer en una órbita circular justo encima de la superficie de la Tierra, un satélite debe tener:

$$v = 7.9\ \text{km/s}$$

Demostración

https://pwg.gsfc.nasa.gov/stargaze/Mkepl3rd.htm



Para alcanzar una órbita abierta, y “escapar”, el objeto debe alcanzar al menos

$$v = 11.2\ \text{km/s}$$

Velocidad de escape

Es la velocidad necesaria para que un objeto pueda liberarse de la atracción gravitacional de otro.

Se obtiene igualando su energía total a cero

Para la tierra:

$$E = K + U = \frac{1}{2}mv^2 - G\frac{M_E m}{r} = 0$$

$$v_{esc} = \sqrt{\frac{2GM_E}{R_E}}$$

No depende de la masa del objeto, sino de la masa y radio del cuerpo al que orbita.

Escape Speeds for the Planets and the Moon

Planet	v_e (km/s)
Mercury	4.3
Venus	10.3
Earth	11.2
Moon	2.3
Mars	5.0
Jupiter	60.0
Saturn	36.0
Uranus	22.0
Neptune	24.0
Pluto	1.1

Esto explica que Mercurio, Marte, Plutón y la luna tengan atmósferas muy tenues, casi insignificantes.

Velocidad de escape

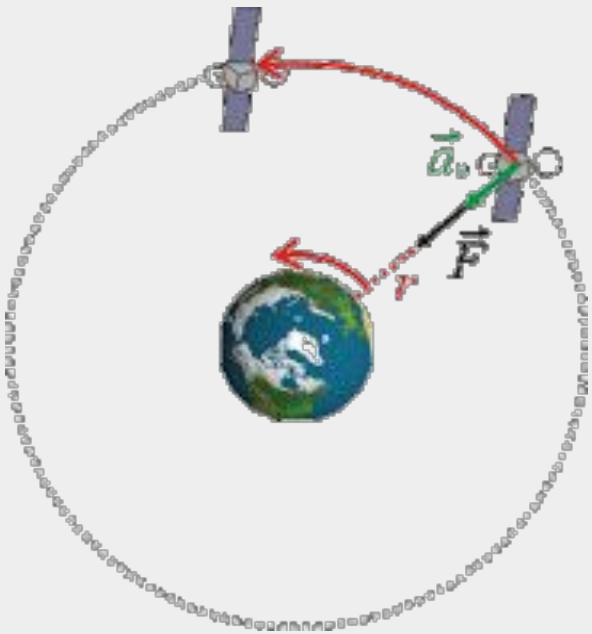
La velocidad de escape aumenta mucho para objetos masivos y muy densos (de poco radio)

$$v_{esc} = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

Cuando la velocidad de escape es mayor a la velocidad de la luz, tenemos un AGUJERO NEGRO. Ni siquiera la luz puede escapar de su atracción gravitacional.

Órbitas Geosíncronas

Una órbita geosíncrona es una órbita alrededor de la tierra que tiene el mismo periodo orbital que el periodo de rotación sideral de la Tierra.



Es útil por ejemplo para los satélites de telecomunicación, que tienen que mantenerse a una posición fija con respecto a la tierra.

Una órbita geosíncrona sobre el plano del ecuador se conoce como órbita geoestacionaria, y se encuentra a ~35800 km sobre el nivel del mar.

Ver demostración en:
https://www.youtube.com/watch?v=_w353IvPPxI

Conservación de Momento angular

La segunda ley de Kepler (áreas iguales en tiempos iguales) es una consecuencia natural de la conservación de momento angular.

Consideremos un planeta de masa m, moviéndose alrededor del sol en una órbita elíptica. Su momento angular es:

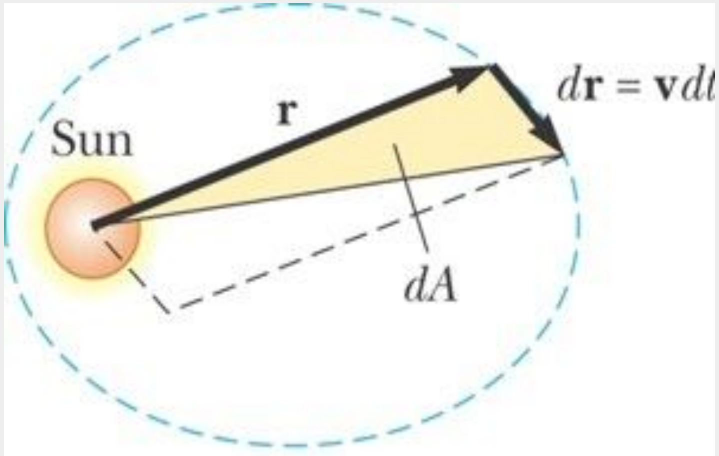
$$\mathbf{L} = \mathbf{r} \times \mathbf{p} = m\,\mathbf{r} \times \mathbf{v}$$

donde $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$ es el momento lineal.

Como **L** es un vector constante, perpendicular a **r** y a **v** (regla de la mano derecha), vemos que el radio vector **r** y la velocidad **v** del planeta, en cualquier instante, están restringidos al plano perpendicular al vector constante **L**.

Conservación de Momento angular

Geométricamente, vemos que el radio r barre un área dA en un tiempo dt. Esta área es igual a la mitad del área del paralelogramo formado por los vectores **r** y d**r** (tiempo pequeño, aproximamos por un triángulo rectángulo)



Como el desplazamiento del planeta en un tiempo dt es

$$d\mathbf{r} = \mathbf{v}dt$$

Obtenemos:

$$dA = 1/2\,|\mathbf{r} \times d\mathbf{r}| = 1/2\,|\mathbf{r} \times \mathbf{v}dt| = |\mathbf{L}|/2m\ dt$$

$$\frac{dA}{dt} = \frac{L}{2m}$$

Es una constante. Es decir, en tiempos iguales, se barren áreas iguales.