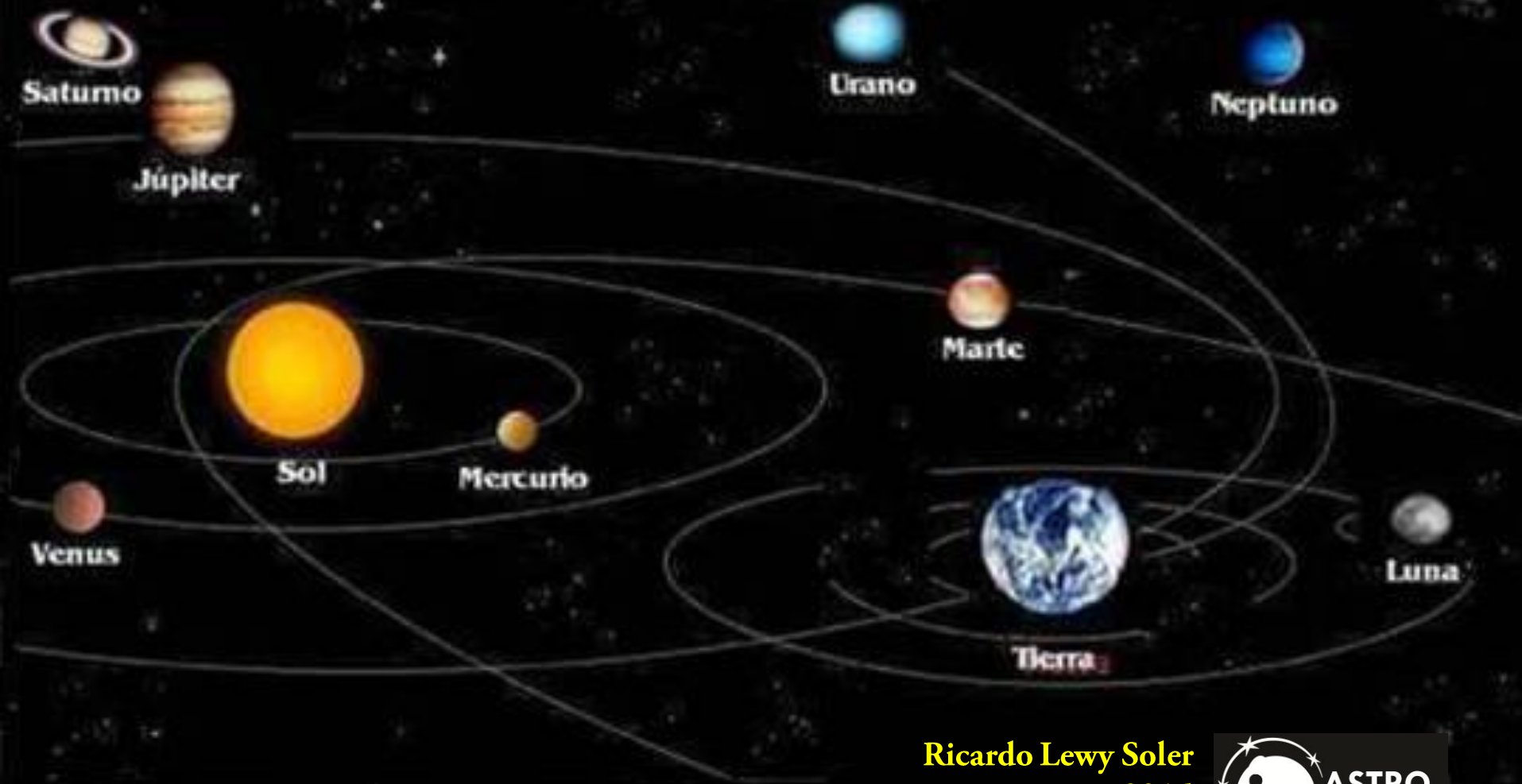




Movimiento de los Planetas. Leyes de Kepler y Newton.

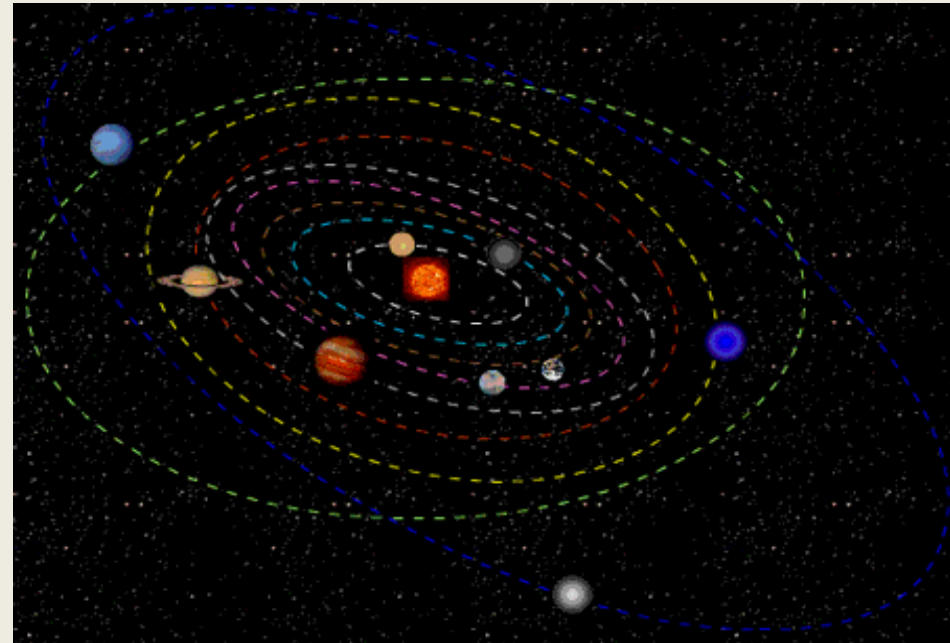
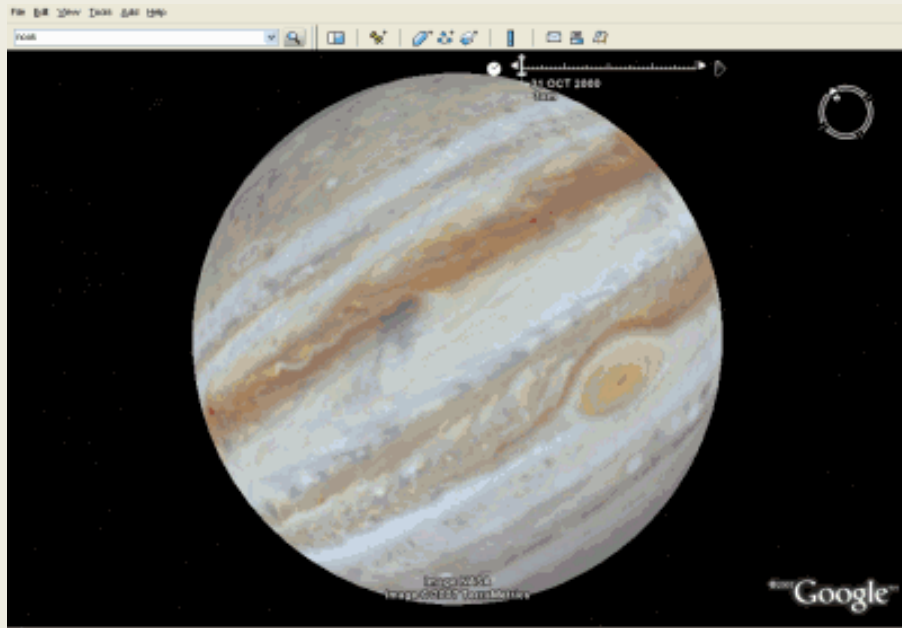


Ricardo Lewy Soler
2015



Los planetas, incluyendo a la Tierra, realizan varios movimientos.

Los más importantes son: la Rotación y la Traslación



Movimiento de rotación: Consiste en girar sobre su propio eje.

Es el movimiento de cambio de orientación de un cuerpo o un sistema de referencia de forma que una línea (llamada *eje de rotación*) o un punto permanece fijo.

Esto determina la duración del día del planeta.

Tierra = 24 horas.

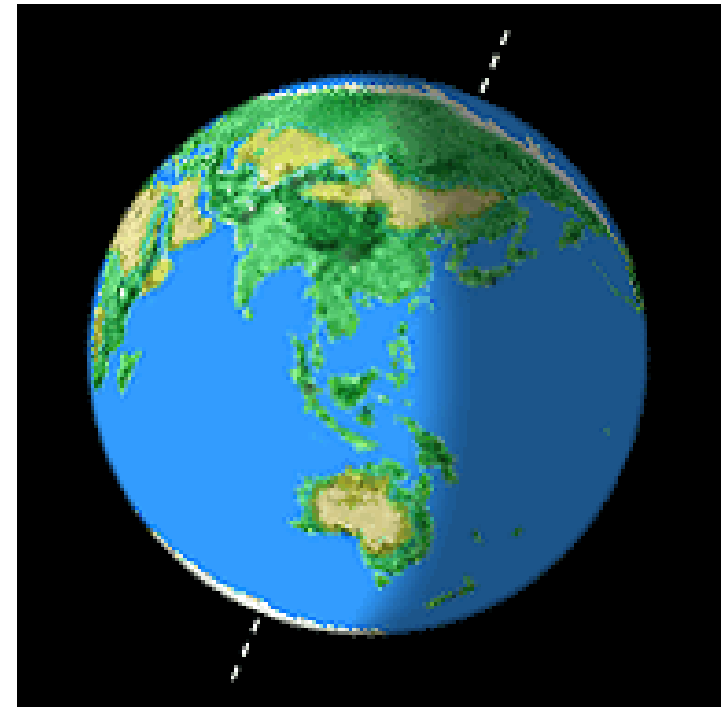
Consecuencias:

Sucesión del día y la noche.

Abultamiento ecuatorial y achatamiento polar

Activación del campo magnético

Efecto Coriolis



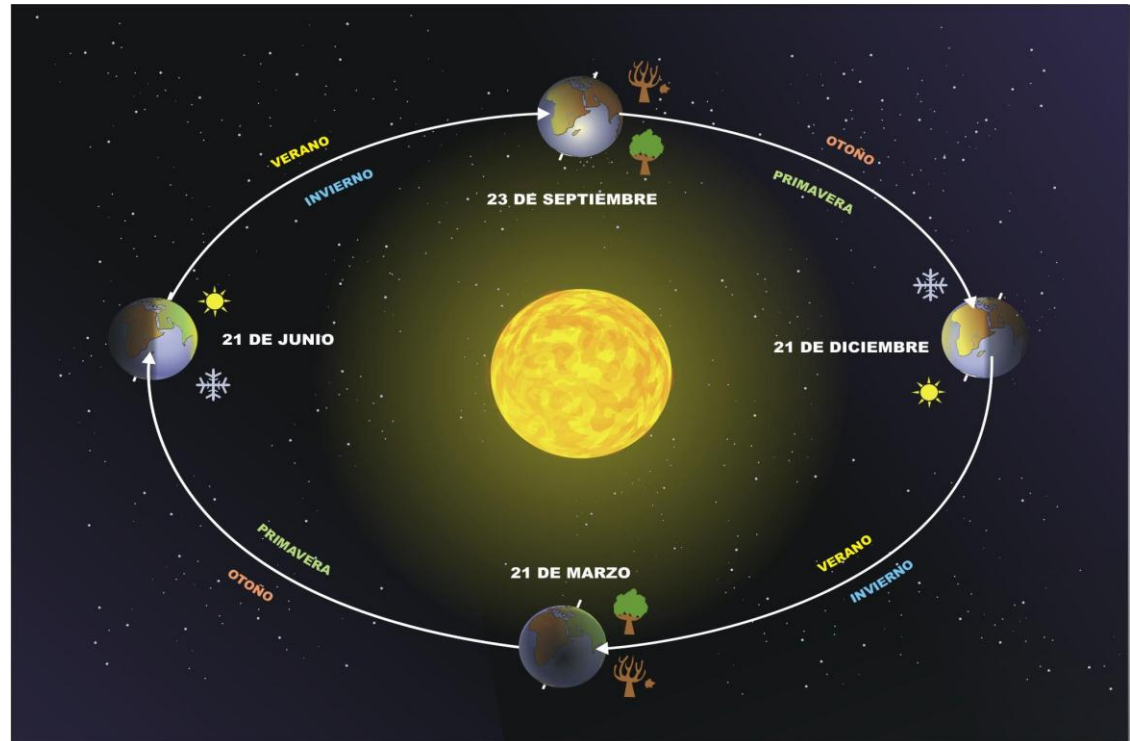
Movimiento de Traslación:

Es el que realizan los cuerpos celestes mientras describen sus órbitas alrededor de otros.

Cada planeta gira alrededor del Sol, en un movimiento también llamado revolución.

La principal consecuencia que tiene la Tierra de este movimiento de traslación, junto con la inclinación del eje terrestre, es que tengan lugar las estaciones del año (primavera, verano, otoño e invierno) de manera sucesiva.

Cada vuelta de la Tierra alrededor del Sol se le llama un año.



Duración de un año de los planetas.

Mercurio: 87 días y 23 horas terrestres.

Venus: 224 días y 17 horas terrestres.

Tierra: 365 días y 6 horas

Marte: 686 días y 23 horas terrestres.

Júpiter: 11 años, 314 días y 20 horas terrestres.

Saturno: 29 años y 167 días terrestres.

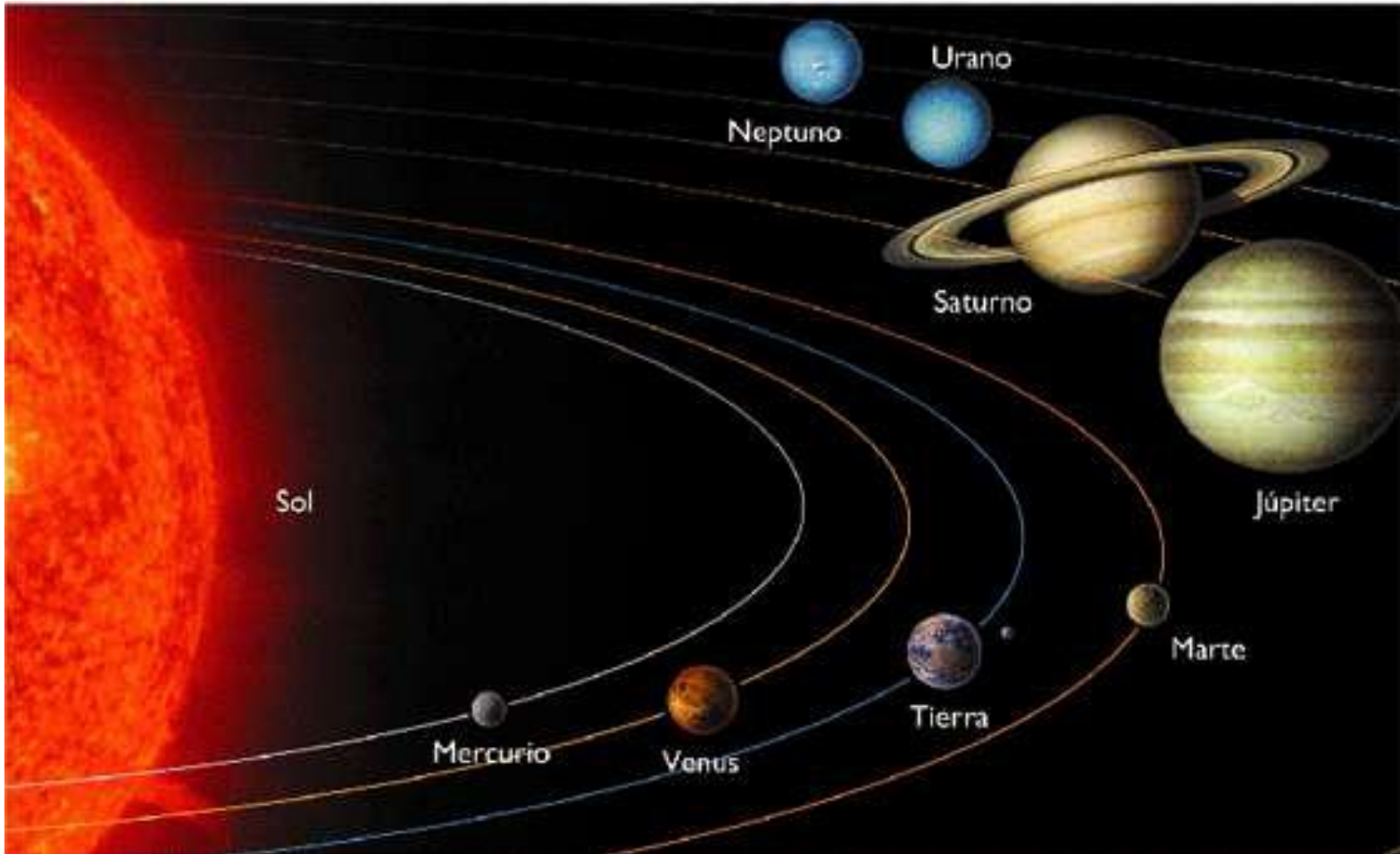
Urano: 84 años, 7 días y 9 horas terrestres.

Neptuno: 164 años, 280 días y 7 horas terrestres.



Desde la antigüedad, la gente noto que, entre las estrellas fijas, algunos objetos se movían de forma diferente. Esos fueron llamados "vagabundos".

Etimológicamente, la palabra "planeta" proviene del griego *planētēs* = vagabundo, errante.



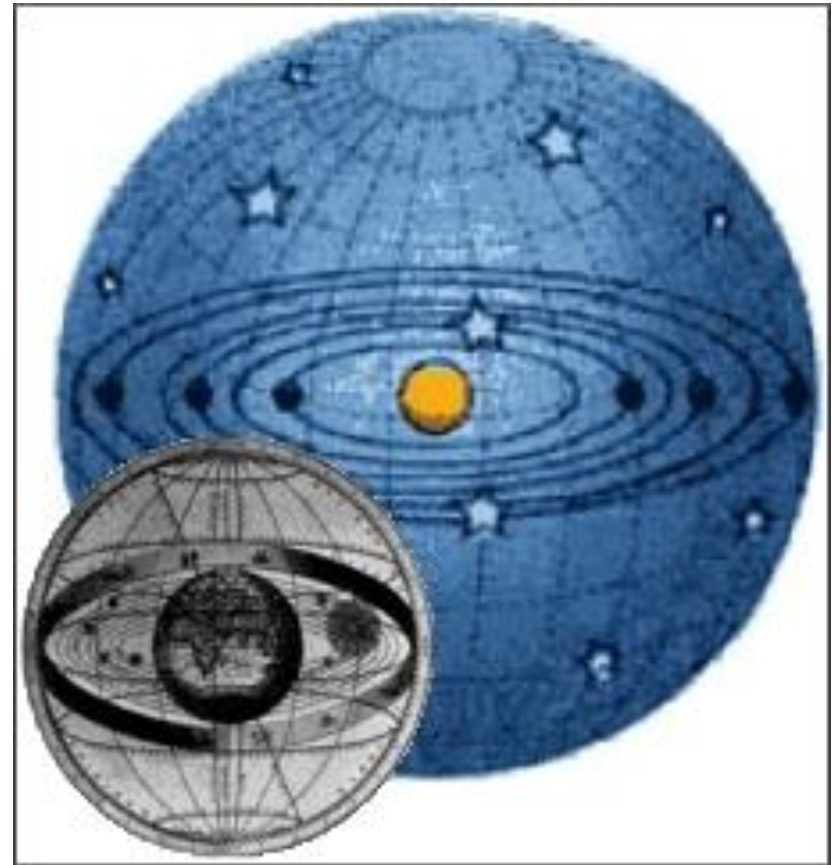
Aristóteles (384a.C. – 322 a.C.)

Para Aristóteles el Universo era geocéntrico, geoestático e inmutable y los planetas describían sus órbitas en un movimiento circular y uniforme.

La envoltura exterior del Universo, el primer cielo, es una esfera finita que contiene las estrellas fijas y los planetas.

Dichas estrellas y planetas no tienen movimiento propio, pero la rotación uniforme del primer cielo les hace cumplir una revolución de 24 horas.

Sus ideas han ejercido una enorme influencia sobre la historia intelectual de occidente por más de dos milenios.



Aristarco de Samos (c. 270 a. C): Autor de la primera teoría heliocéntrica.

Afirmó que el Sol era inmóvil en relación con las estrellas fijas y que la Tierra se movía a su alrededor en una circunferencia.

No tuvo seguidores pues iba en contra del paradigma que dominaba esa época que era la Teoría Geocéntrica de Aristóteles.

Calculó que el Sol se encuentra unas 18 veces más distante que la Luna, y que el Sol era unas 300 veces mayor que la Tierra.

El método usado por Aristarco era correcto, no así las mediciones que estableció, pues el Sol se encuentra unas 400 veces más lejos.



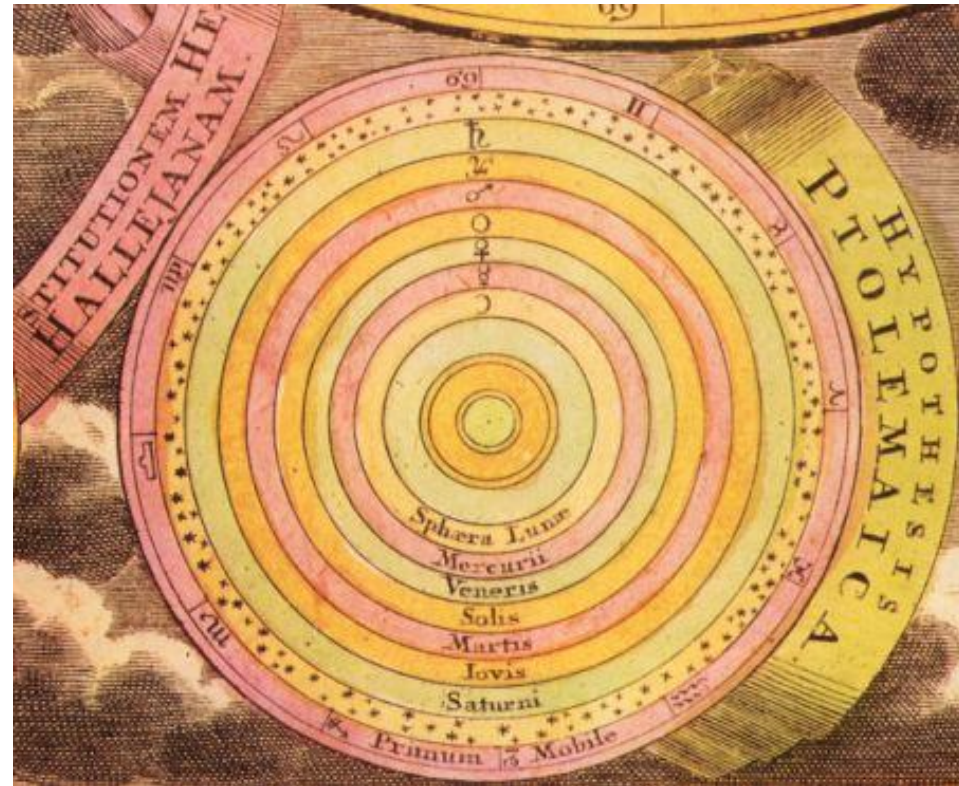
Universo de Tolomeo

El astrónomo Tolomeo, ciudadano griego de Egipto, fue el más importante de su época (Siglo II).

Mantiene la teoría geocéntrica de Aristóteles.

Sus observaciones se basaron en tres supuestos filosóficos: los objetos en el cielo sólo se mueven en círculos perfectos, los objetos en el cielo nunca cambian y la tierra está en el centro del universo.

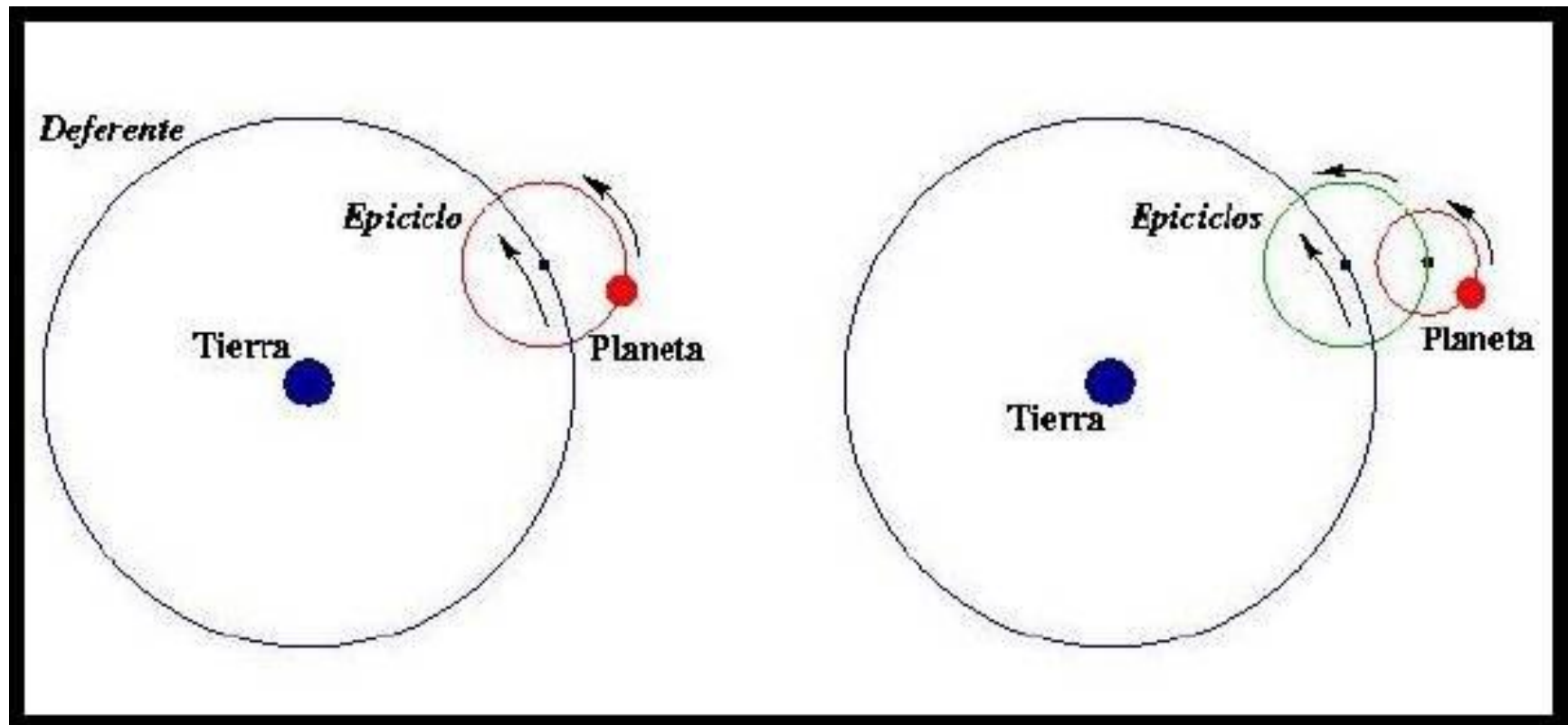
En el año 150 desarrolla su modelo matemático del universo.



Observó que los movimientos de los planetas en la esfera celeste, no eran uniformes y que aunque su movimiento normal es directo, a veces y durante un breve lapso de tiempo retroceden desplazándose en movimiento retrógrado.

Tolomeo, para explicar estos movimientos partiendo de una Tierra inmóvil, que era el centro del universo (teoría geocéntrica), ideó un sistema de epiciclos y deferentes.

Al final resultó tan complicado que no pudo explicar con precisión el movimiento de los planetas.

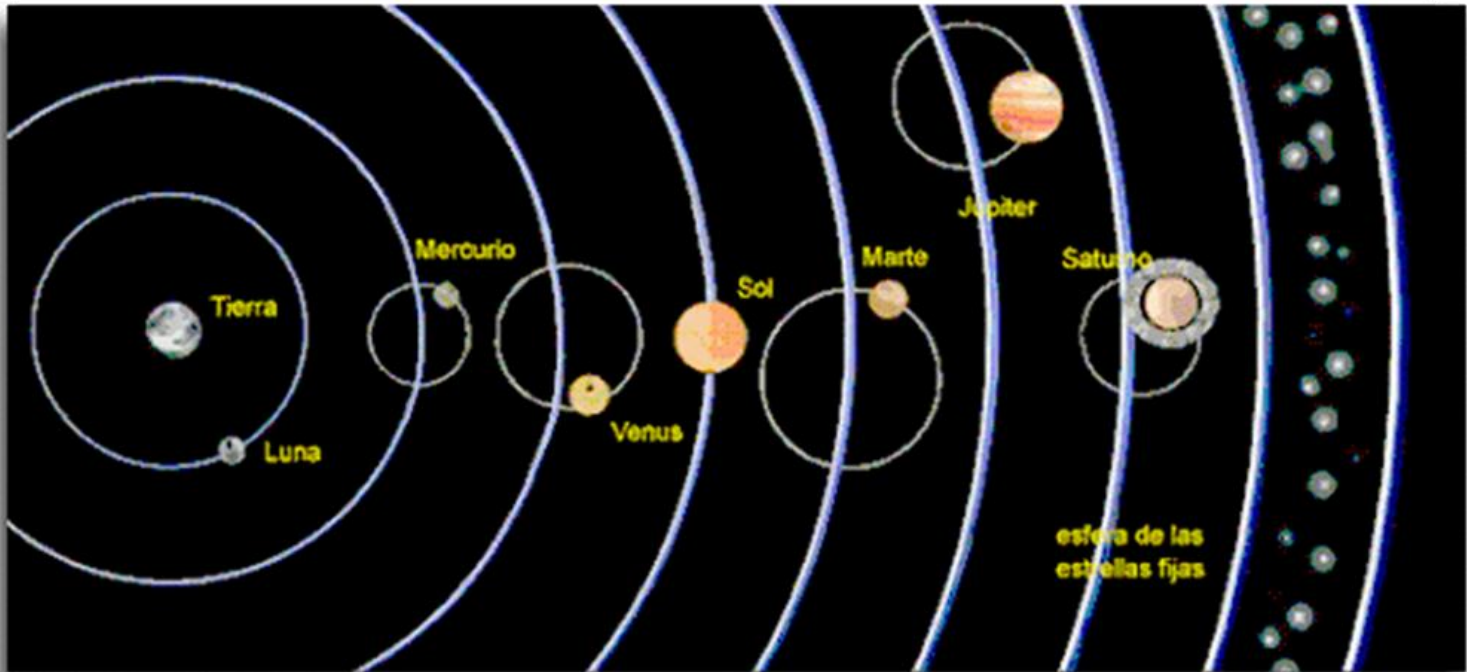


El modelo de Tolomeo clasifica a los planetas según su elongación:

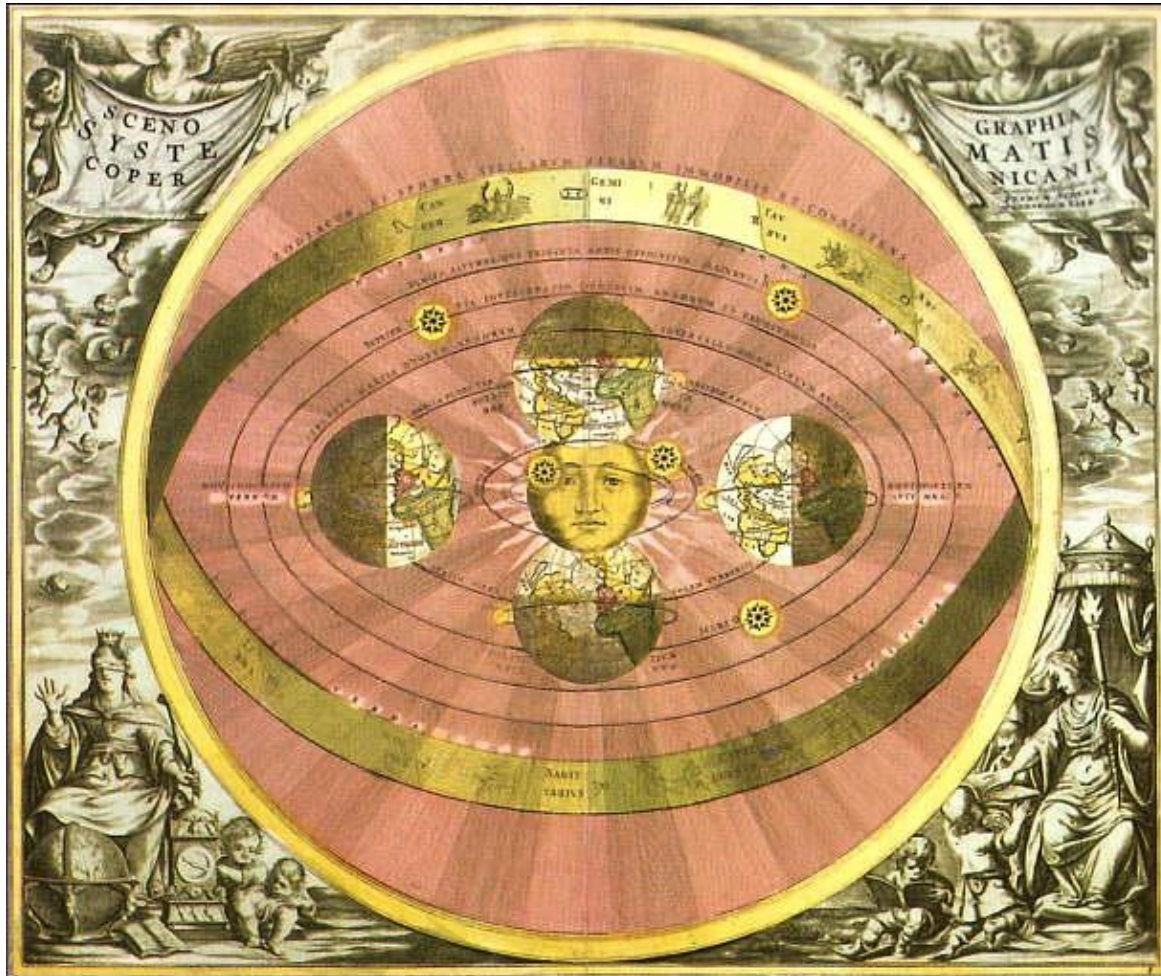
A los planetas Mercurio y Venus los llamó inferiores y a todos los demás superiores.

Los planetas inferiores (Mercurio y Venus) eran aquellos que no se alejaban mucho del Sol (ángulo de elongación limitado por un valor máximo) y que, por tanto, no podían estar en oposición.

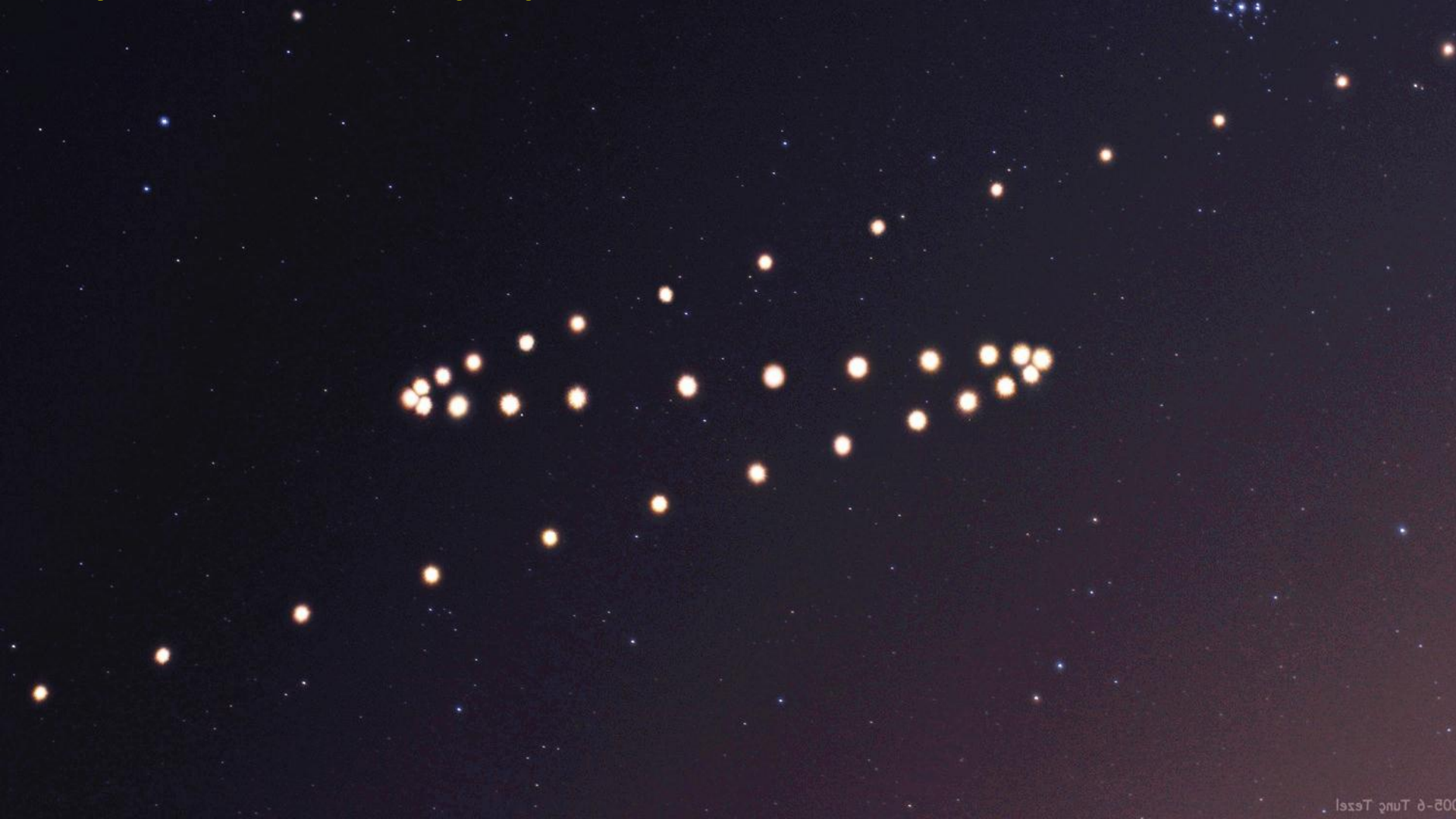
Los planetas superiores eran aquéllos cuya elongación no está limitada y pueden, por tanto, estar en oposición. (Oposición es la posición de un planeta cuando, respecto al observador terrestre, se encuentra en el cielo opuesto a Sol).

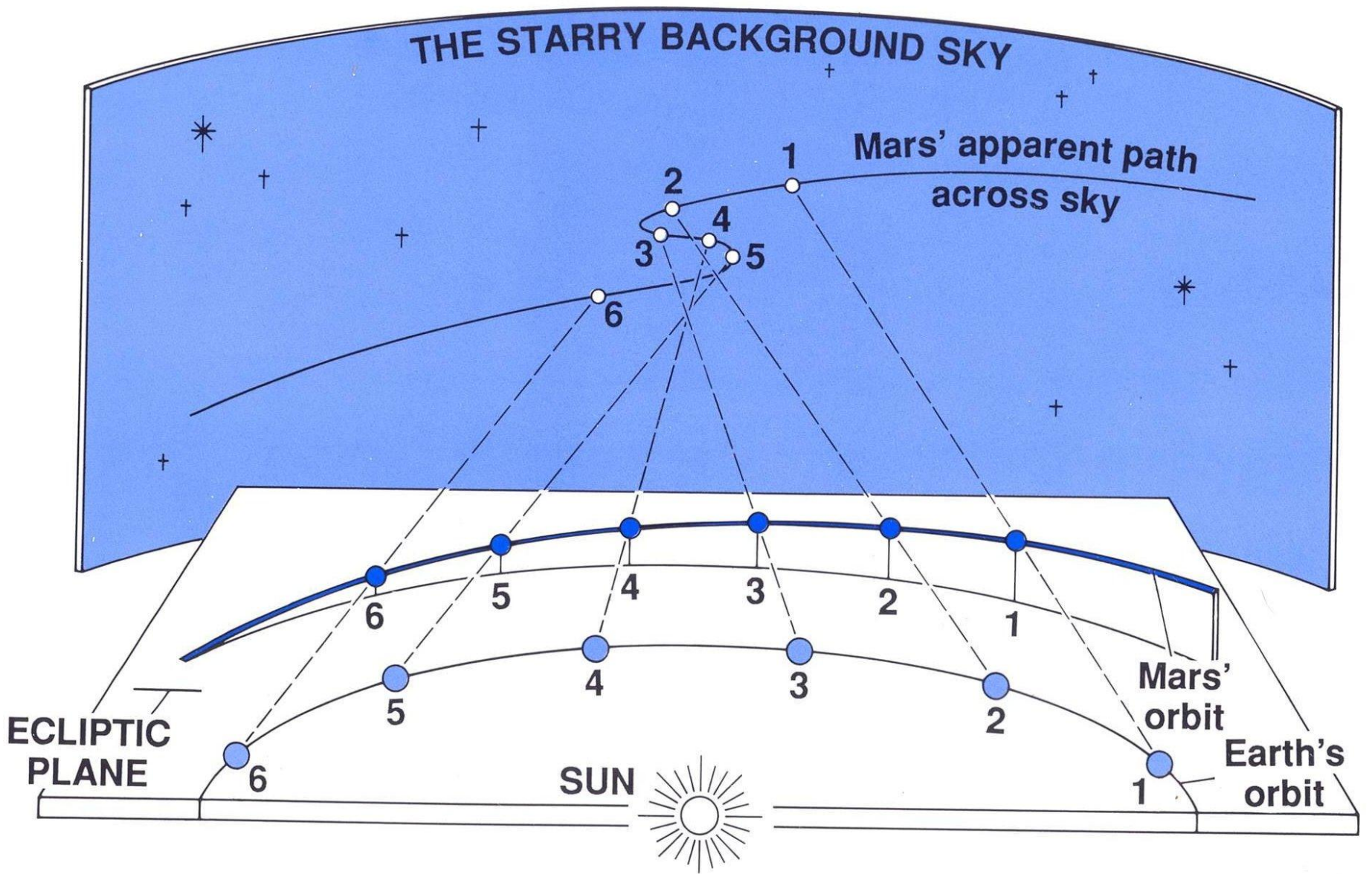


Astrónomos como Copérnico, Kepler y Galileo sugirieron que el Sol era el centro del Universo, lo cual ofrecía una mejor manera de entender y explicar los movimientos de estos objetos en el cielo.



Cuando Copérnico descubre que la Tierra se mueve alrededor del Sol como un planeta más (Teoría heliocéntrica), el movimiento de los planetas es la combinación de su movimiento alrededor del Sol y del movimiento propio de la Tierra.





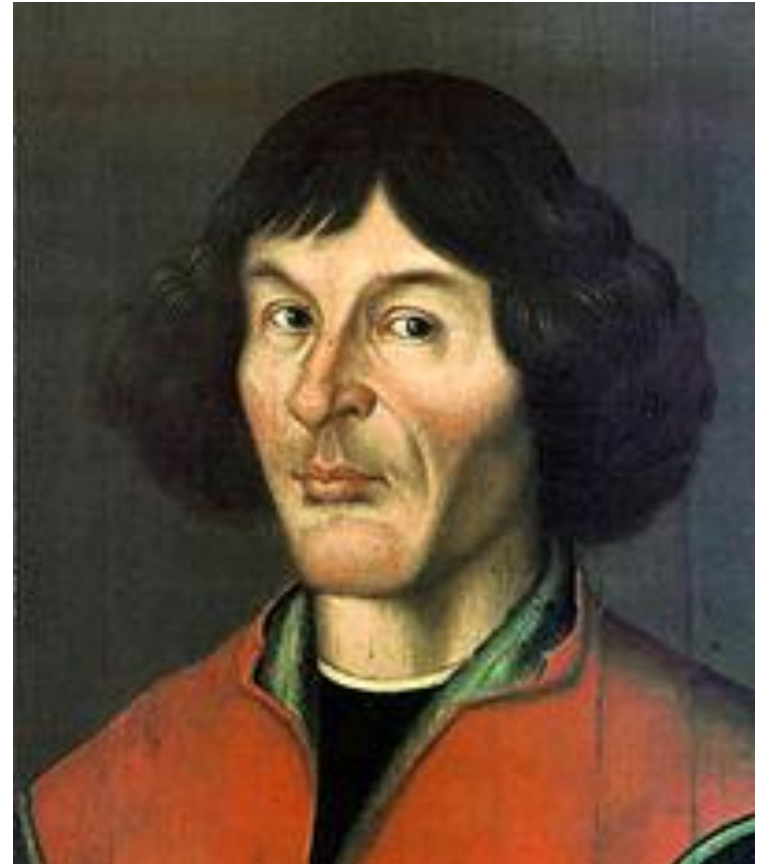
Movimiento retrógrado de Marte

Nicolás Copérnico (1473-1543)

1.400 años después de Tolomeo, Nicolás Copérnico publicó un modelo del sistema solar que puso al sol en el centro con los planetas en órbita.

Sin embargo, también puso cada planeta en una órbita circular, por lo que su modelo no predecía muy bien el movimiento de los planetas.

Movimiento circular, la forma perfecta de movimiento.



Giordano Bruno (1548-1600)

Religioso, filósofo, astrónomo y poeta italiano.

Sus teorías cosmológicas superaron el modelo copernicano, pues además de poner al Sol al centro del Universo, propuso que el Sol era simplemente una estrella; que el universo había de contener un infinito número de mundos habitados por animales y seres inteligentes.

Proclamó que la rotación diurna aparente de los cielos es una ilusión causada por la rotación de la tierra alrededor de su eje.

Cuando Giordano Bruno fue quemado en la hoguera como hereje, no tuvo nada que ver con sus escritos en apoyo de la cosmología copernicana, pues en 1600 no había una postura oficial de la Iglesia Católica sobre el sistema de Copérnico, pues no podía ser herejía.

Entre sus afirmaciones teológicas que se consideraron heréticas estaban las siguientes: que Cristo no era Dios, sino solamente un mago excepcionalmente hábil, que el diablo se salvará, la negación del pecado original y otras.



Ticho Brahe (1546-1601)

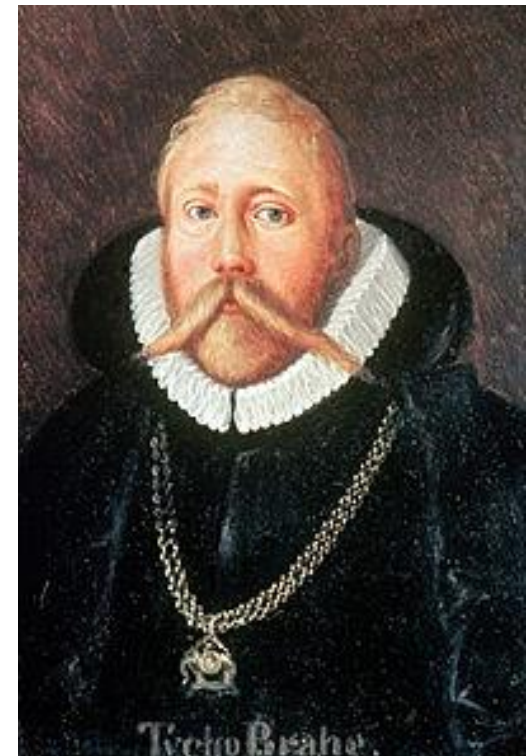
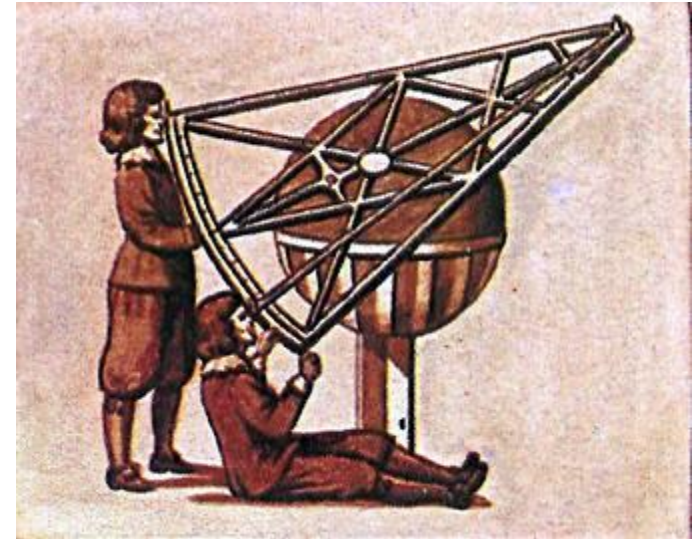
Desarrolló instrumentos con los que hizo mediciones muy precisas del movimiento de los planetas.

Inventó el sextante (de un sexto de círculo) y construyó uno con unos cuadrantes enormes de 4 metros, que fueron instalados en su observatorio de Uraniborg.

Se adaptó a las observaciones del modelo de Ptolomeo, por o que no pudo conseguir su propio.

En 1572 Tycho observó una supernova en la constelación de Casiopea y en 1577 observó el paso de un cometa. Tycho demostró, que, contrariamente a lo que se pensaba hasta entonces, el cielo no era inmutable.

En 1569, mientras estudiaba en Wittenberg, Tycho con 23 años de edad, se disputó con otro estudiante sobre los méritos que cada uno de ellos tenía en matemáticas. La disputa terminó en un duelo en el que Tycho perdió parte de su nariz, por lo que tuvo que llevar una prótesis de plata el resto de su vida.



Galileo Galilei: (1564-1642)

Refuerza la teoría Copernicana justificándola con sus resultados experimentales.

Montañas de la Luna: Refuta la tesis aristotélica de los cielos perfectos.

Manchas solares: Otra prueba de la imperfección de los cielos.

Nuevas estrellas y no aumentan de tamaño como los planetas y no presentan paralaje, lo que deduce que están muy alejadas.

Satélites de Júpiter: Sistema solar en miniatura. No todos los cuerpos giran alrededor de la Tierra.

Observó las fases, junto a una variación de tamaño, que son sólo compatibles con el hecho de que Venus gire alrededor del Sol.



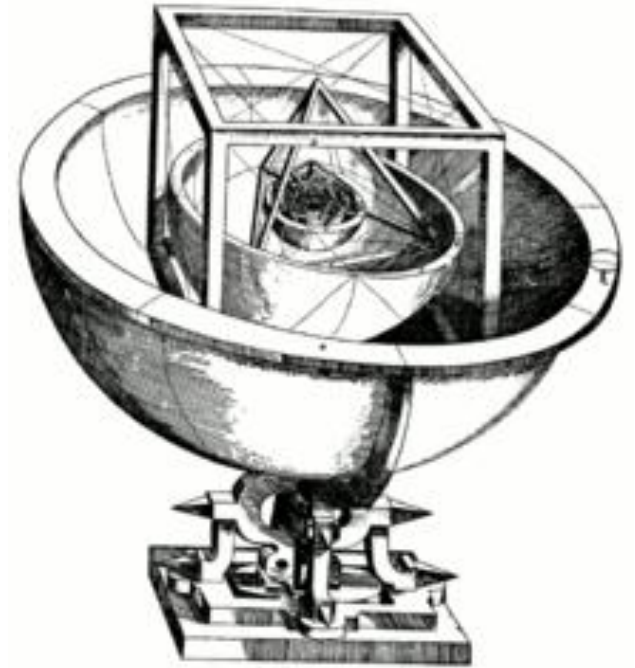
Johannes Kepler: (1571-1630)

Kepler que era un hombre muy religioso intentó que la representación planetaria tuviera una explicación lógica y a la vez representara la grandeza divina, por eso encerró a los planetas dentro de cada poliedro perfecto, con esto seguía las leyes pitagóricas de la armonía.

Por esto es que esta teoría es conocida como La Armonía de las esferas celestes.

El quiso demostrar que las distancias de los planetas al Sol venían dadas por esferas en el interior de poliedros perfectos, anidadas sucesivamente unas en el interior de otras. En la esfera interior estaba Mercurio mientras que los otros cinco planetas (Venus, Tierra, Marte, Júpiter y Saturno) estarían situados en el interior de los cinco sólidos platónicos.

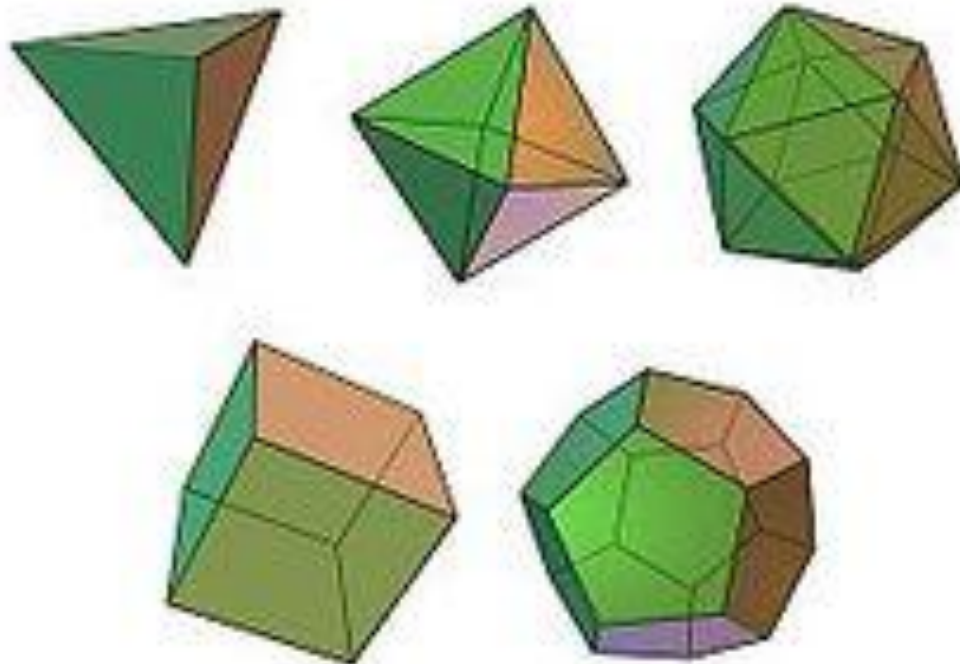
En la época de Kepler el número de planetas conocidos era justamente uno más que los poliedros perfectos



Modelo platónico del Sistema Soler presentado por Kepler en su obra *Misterium Cosmographicum* (1596).

Los sólidos platónicos son el tetraedro, el cubo (o hexaedro regular), el octaedro (o *bipirámide cuadrada*), el dodecaedro y el icosaedro (o *bipirámide pentagonal giroelongada*).

Esta lista es completa de los poliedros perfectos, ya que es imposible construir otro sólido diferente de los cinco anteriores que cumpla todas las propiedades de convexidad y regularidad.



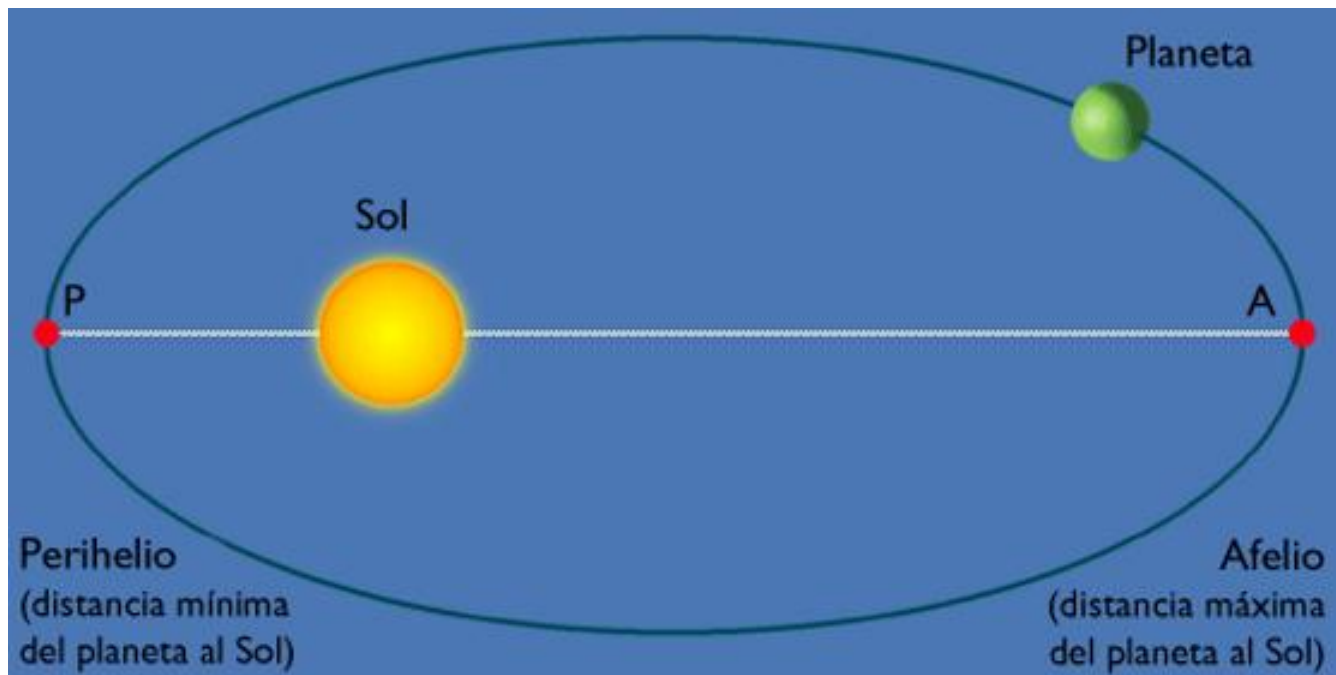
Con sus propias investigaciones En 1627 publicó las *Tabulae Rudolphine*, que durante más de un siglo se usaron en todo el mundo para calcular las posiciones de los planetas y las estrellas, y usando los cálculos de Ticho Brahe, le llevarían a la conclusión de que las órbitas planetarias no eran circulares sino elípticas.

Este es el verdadero e importante descubrimiento de Kepler que le llevaron a formular sus tres leyes.



Estas 3 reglas o leyes describen matemáticamente el movimiento de todos los planetas.

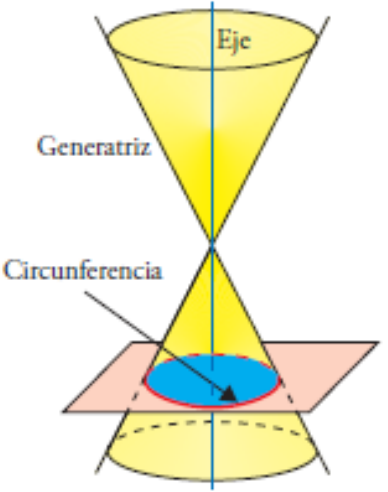
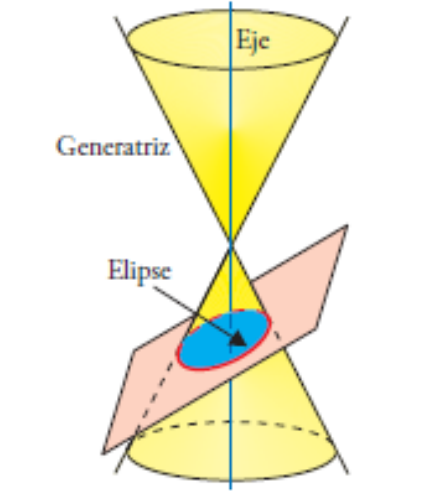
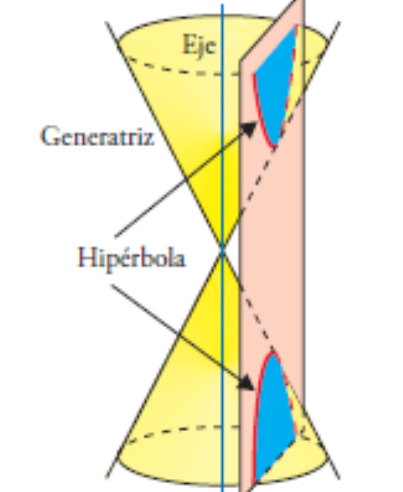
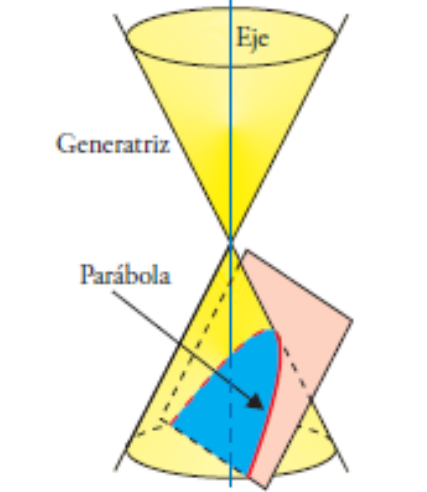
Kepler uso los datos que Ticho tenia de Marte, con una órbita elíptica muy alargada. De otra manera le hubiera sido imposible a Kepler darse cuenta de que las órbitas de los planetas eran elípticas



La figura resultante de la órbita es una elipse.

Esto dio origen a las tres Leyes de Kepler sobre el movimiento planetario.

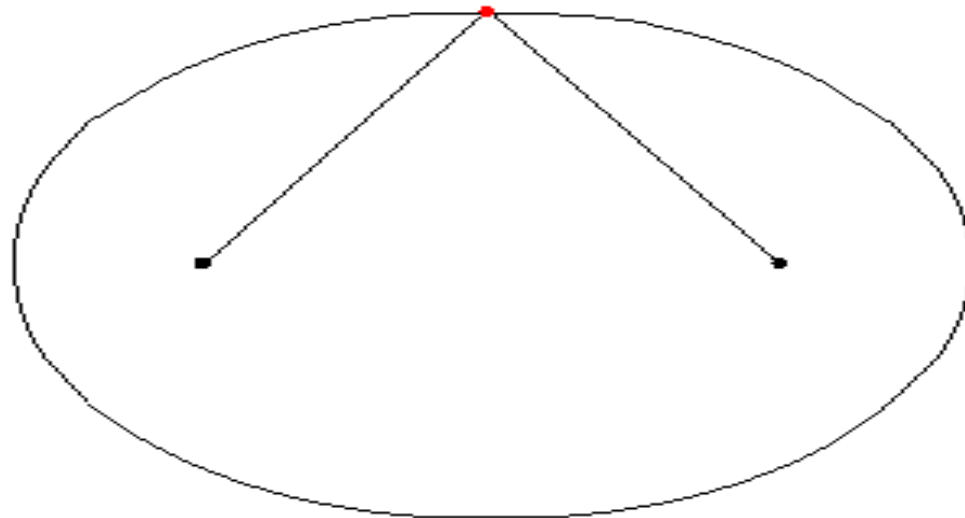
Elipse: Figura geométrica curva y cerrada, con dos ejes perpendiculares desiguales, que resulta de cortar la superficie de un cono por un plano no perpendicular a su eje, y que tiene la forma de un círculo achatado

Circunferencia	Elipse	Hipérbola	Parábola
			
<p>El plano es perpendicular al eje.</p>	<p>El plano es oblicuo al eje y no es paralelo a la generatriz.</p>	<p>El plano es paralelo al eje. Se obtienen dos curvas.</p>	<p>El plano es oblicuo al eje y paralelo a la generatriz.</p>

La elipse es el lugar geométrico de todos los puntos de un plano, tales que la suma de las distancias a otros dos puntos fijos llamados focos es constante.

La elipse, como curva geométrica fué investigada por Euclides, y su nombre se atribuye a Apolonio de Pérgamo.

Kepler introdujo la palabra *focus* y publicó su descubrimiento en 1609.



Elementos de la elipse:

El semieje mayor (el segmento $A - O$)

El semieje menor (el segmento $B - O$).

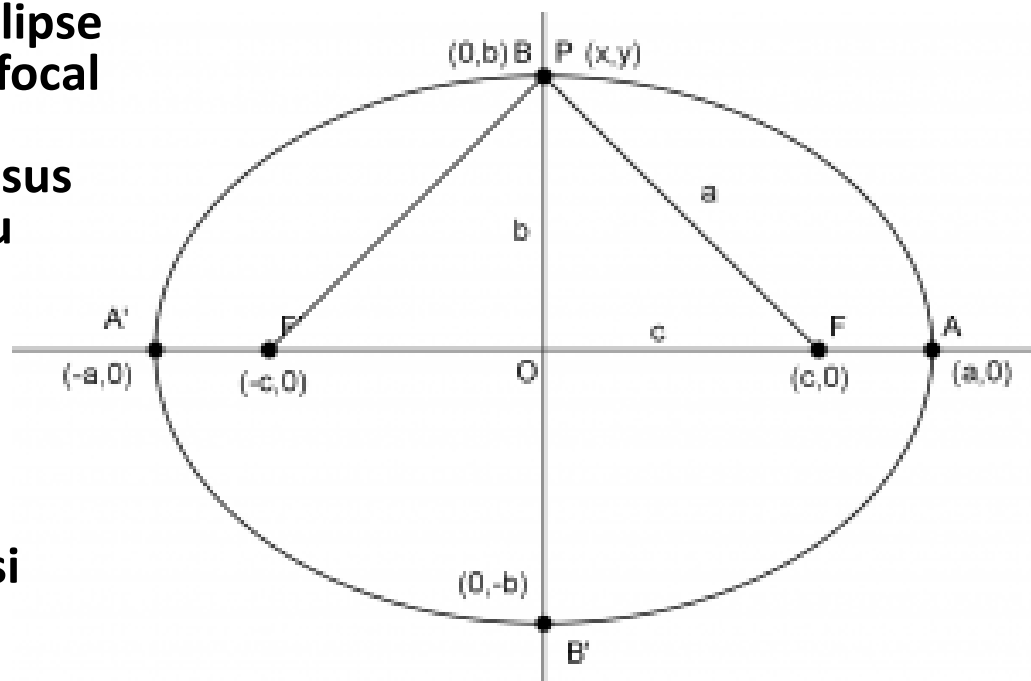
El semieje mayor y menor son la mitad del eje mayor y menor respectivamente.

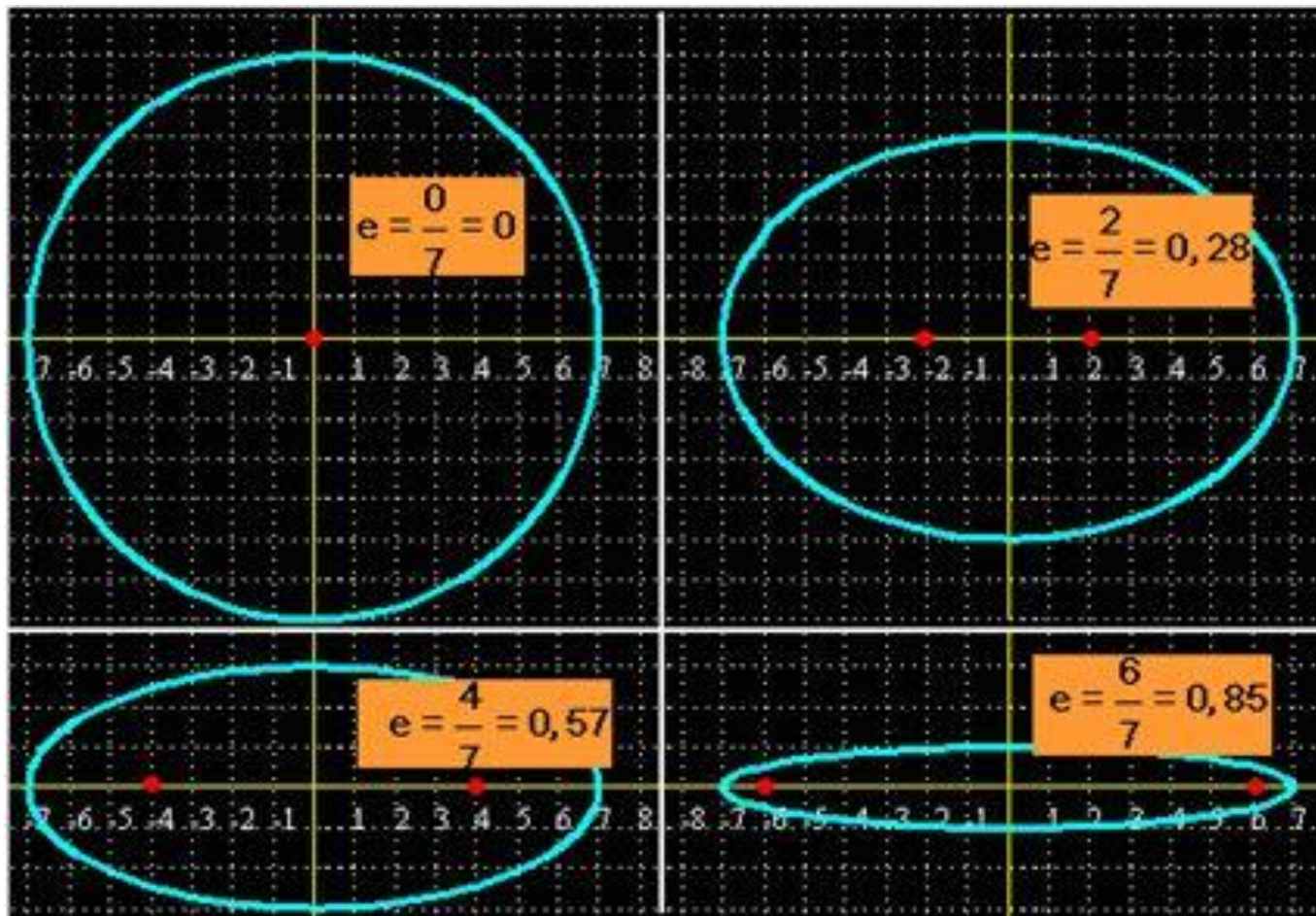
La excentricidad (ϵ , épsilon) de una elipse es la relación entre su semi distancia focal (longitud del segmento que parte del centro de la elipse y acaba en uno de sus focos), denominada por la letra c , y su semieje mayor.

En la gráfica: OF/OA

Su valor se encuentra entre cero y casi uno.

La excentricidad indica la forma de una elipse; una elipse será más redondeada cuanto más se aproxime su excentricidad al valor cero.

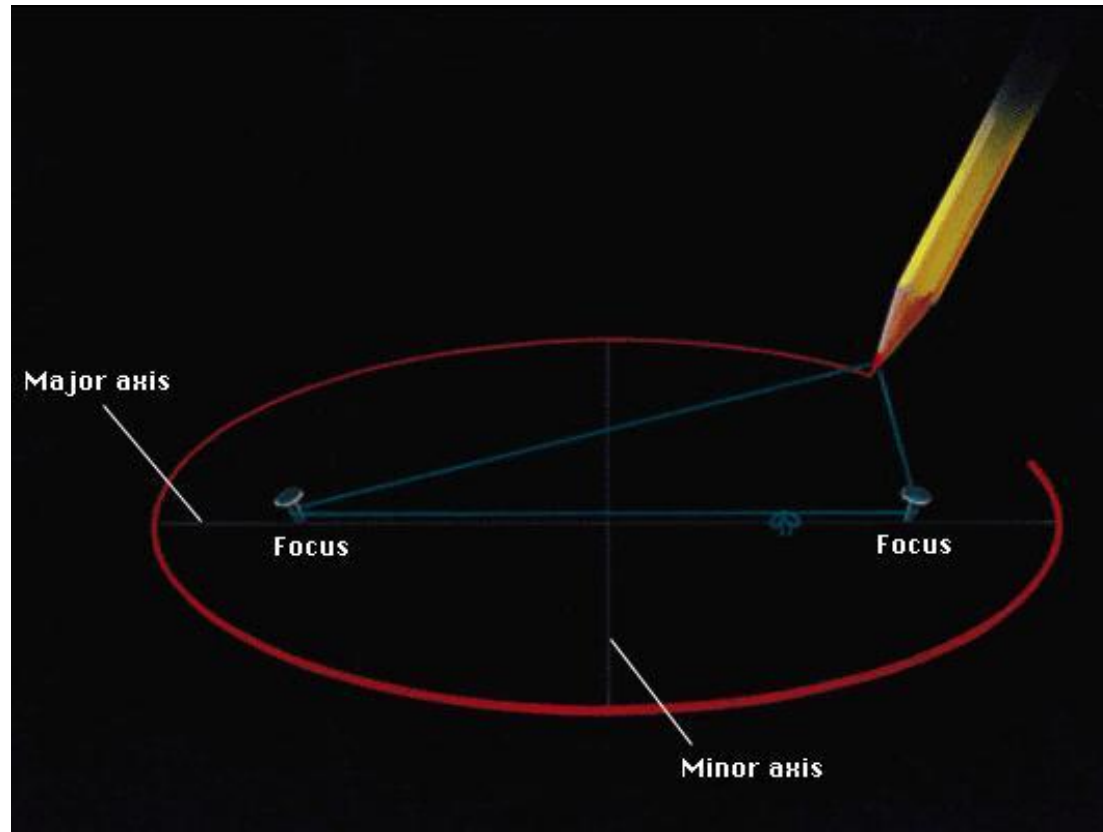




1ª. Ley de Kepler.

La primera ley establece que los planetas describen órbitas elípticas alrededor del Sol, que ocupa uno de sus focos.

En la escala de valores geométricos de Kepler, el círculo ocupaba un lugar privilegiado y de ahí su decepción, luego de múltiples intentos por compaginar las observaciones con órbitas circulares.



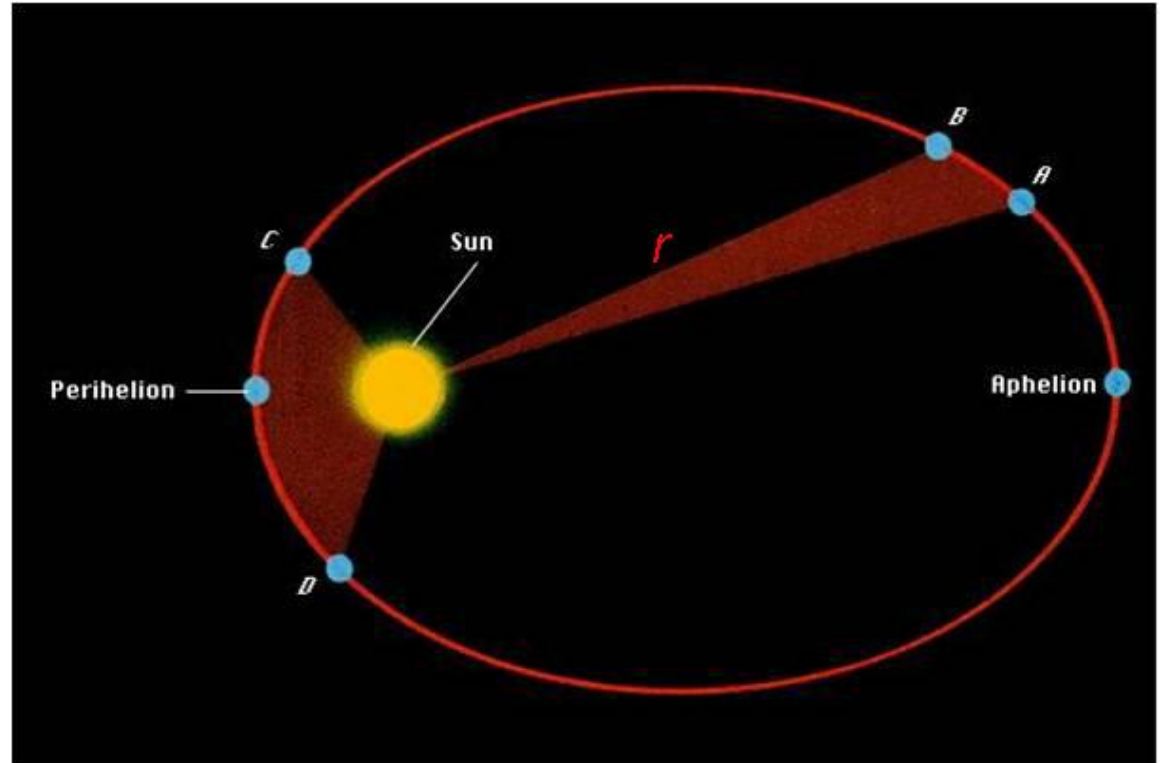
2ª. Ley de Kepler.

Cada planeta se mueve de tal manera que el radio vector (recta que une el centro del Sol con el planeta) barre áreas iguales en tiempos iguales.

Kepler observó que los planetas se mueven más rápido cuando se hallan más cerca del Sol, pero el radio vector encierra superficies iguales en tiempos iguales.

Si el planeta tarda el mismo tiempo en ir de A a B en la figura, que de C a D, las áreas en rojo son iguales.

El radio vector r , o sea la distancia entre el planeta y el foco (Sol) es variable por lo tanto la velocidad del planeta en su órbita debe ser variable.



3ª. Ley de Kepler.

Para cualquier planeta, el cuadrado de su período orbital es directamente proporcional al cubo de la longitud del semieje mayor de su órbita elíptica.

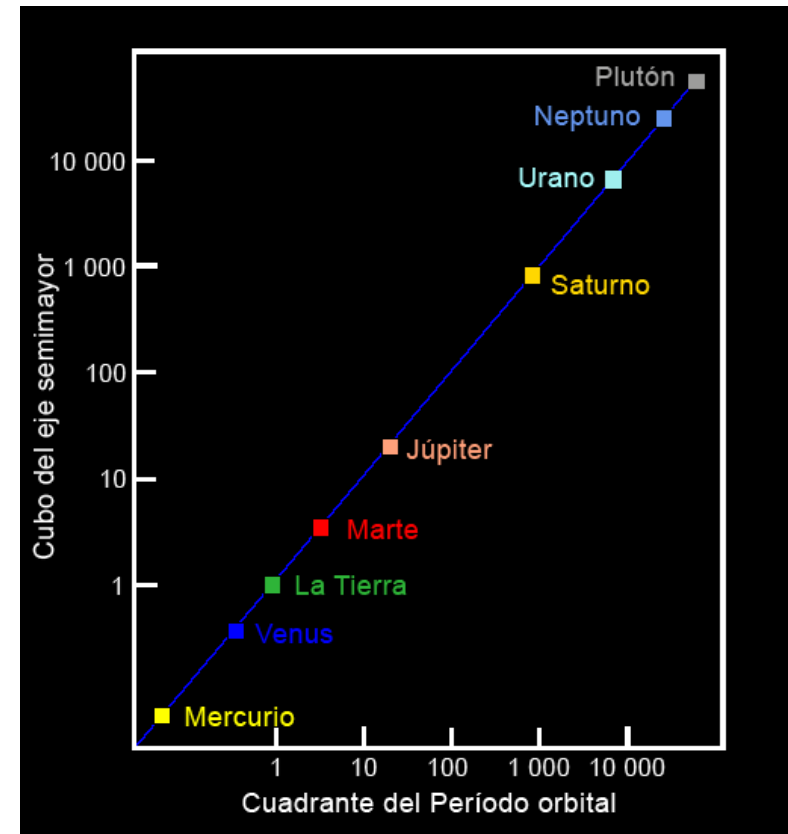
Donde, T es el período orbital (tiempo que tarda en dar una vuelta alrededor del Sol), r la distancia media del planeta con el Sol.

Estas leyes se aplican a otros cuerpos astronómicos que se encuentran en mutua influencia gravitatoria, como el sistema formado por la Tierra y la Luna.

$$T^2 = r^3$$

Si se sabe cuánto tiempo toma un planeta en circundar el Sol (T), después usted puede determinar a cuál distancia se encuentra el planeta del Sol (r).

Esta fórmula también nos dice que los planetas lejanos del Sol tardan más tiempo en circundar al Sol que los que se encuentran cercanos al Sol. Se mueven más lentamente alrededor del Sol.



3ª Ley de Kepler.

Planeta	Distancia al Sol	Período
Mercurio	0.386	0.24
Venus	0.723	0.61
Tierra	1	1
Marte	1.52	1.87
Júpiter	5.2	11.86
Saturno	9.54	29.47
Urano	19.18	84
Neptuno	30.06	164.81
Plutón	39.44	247.69

$$T^2 = r^3$$

Urano: $84^2 = 7056$

$19.18^3 = 7056$

Marte: $1.87^2 = 3.5$

$1.52^3 = 3.5$

3ª Ley de Kepler

$$(T_1 / T_2)^2 = (r_1 / r_2)^3$$

Supongamos que queremos calcular la distancia entre Sol y Marte. Sabemos que el período orbital de Marte es de 1.8809 años.

Luego necesitamos tener una referencia conocida la cual puede ser la Tierra (ya que también órbita al Sol), con un período orbital de 1 año y a una distancia de 1 U.A. (Unidad Astronómica, distancia media entre el Sol y la Tierra).

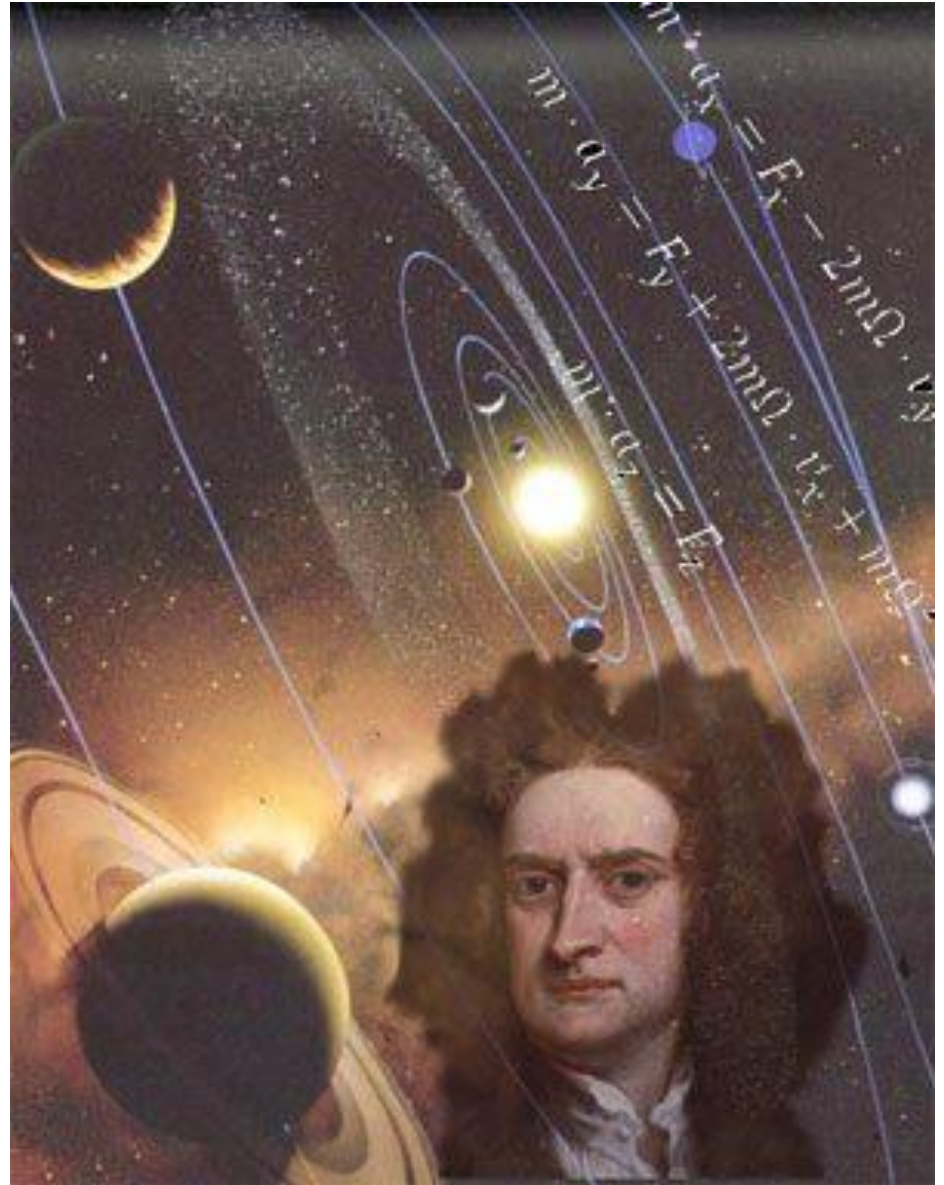
Utilizando la tercera ley de Kepler y sin tomar en cuenta las masas de los cuerpos involucrados, podemos calcular el semieje de la órbita de Marte en U.A.

Resultado: 1.5237 U.A.

De la misma manera puede calcularse la distancia o el período orbital de los demás planetas

Pero, aunque Kepler pudo encontrar sus 3 leyes que describían los movimientos de los planetas, nunca consiguió comprender los motivos que los causaban.

A partir de las observaciones y conclusiones de Galileo, Tycho Brahe y Kepler, Newton llegó, por inducción, a sus tres leyes simples del movimiento.



Leyes de Newton.

1ª. Ley: Ley de la Inercia

Un cuerpo en reposo se mantendrá en reposo mientras no exista una fuerza sobre él.

Un cuerpo moviéndose con velocidad constante en una línea recta se mantendrá moviéndose en línea recta mientras no exista una fuerza externa.

Introduce el concepto de fuerza.

Los planetas deben de estar sometidos a una fuerza ya que no están en reposo ni se mueven en línea recta.

2ª. Ley: Ley de la aceleración.

La aceleración de un objeto es directamente proporcional a la fuerza neta que actúa sobre él, e inversamente proporcional a su masa.

Introduce el concepto de masa; distinto al concepto de peso: son diferentes propiedades, que se definen en la física. La masa es una medida de la cantidad de materia que posee un cuerpo mientras que el peso es una medida de la fuerza causada sobre el cuerpo por la gravedad.

1 Kilogramos = 9.81 Newtons

3ª Ley: Ley de la acción y reacción.

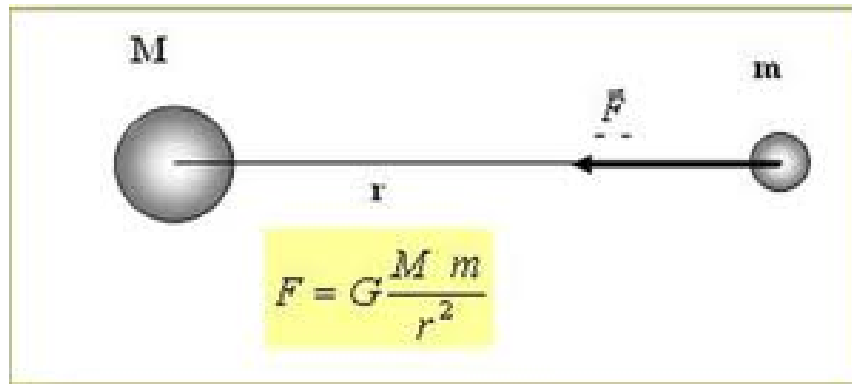
Cuando un objeto ejerce una fuerza sobre otro, este otro ejerce una fuerza sobre el primero, igual pero opuesta.

Si el Sol ejerce una fuerza sobre los planetas para mantenerlos en órbita, entonces los planetas ejercen una fuerza igual y opuesta sobre el Sol. (????)

Las tres leyes no nos dicen nada sobre el origen de las fuerzas, solo describen sus efectos.

Isaac Newton enunciara la ley de la Gravitación Universal en 1685 ofreciendo así una explicación natural de las leyes de Kepler, como consecuencia de la fuerza de la gravedad entre el Sol y los planetas.

La ley formulada por Newton afirma que la fuerza de atracción que experimentan dos cuerpos dotados de masa es directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa.



La ley incluye una constante de proporcionalidad (G) que recibe el nombre de constante de gravitación universal ($G = 6.693 \times 10^{-11}$ metros cúbicos por kilogramo y por segundo al cuadrado)

La constante de gravitación universal es una constante de la naturaleza que determina la intensidad de la fuerza de atracción gravitatoria entre los cuerpos. Se denota por G y aparece tanto en la ley de la gravitación universal de Newton como en la relatividad de Einstein.

GRACIAS

