

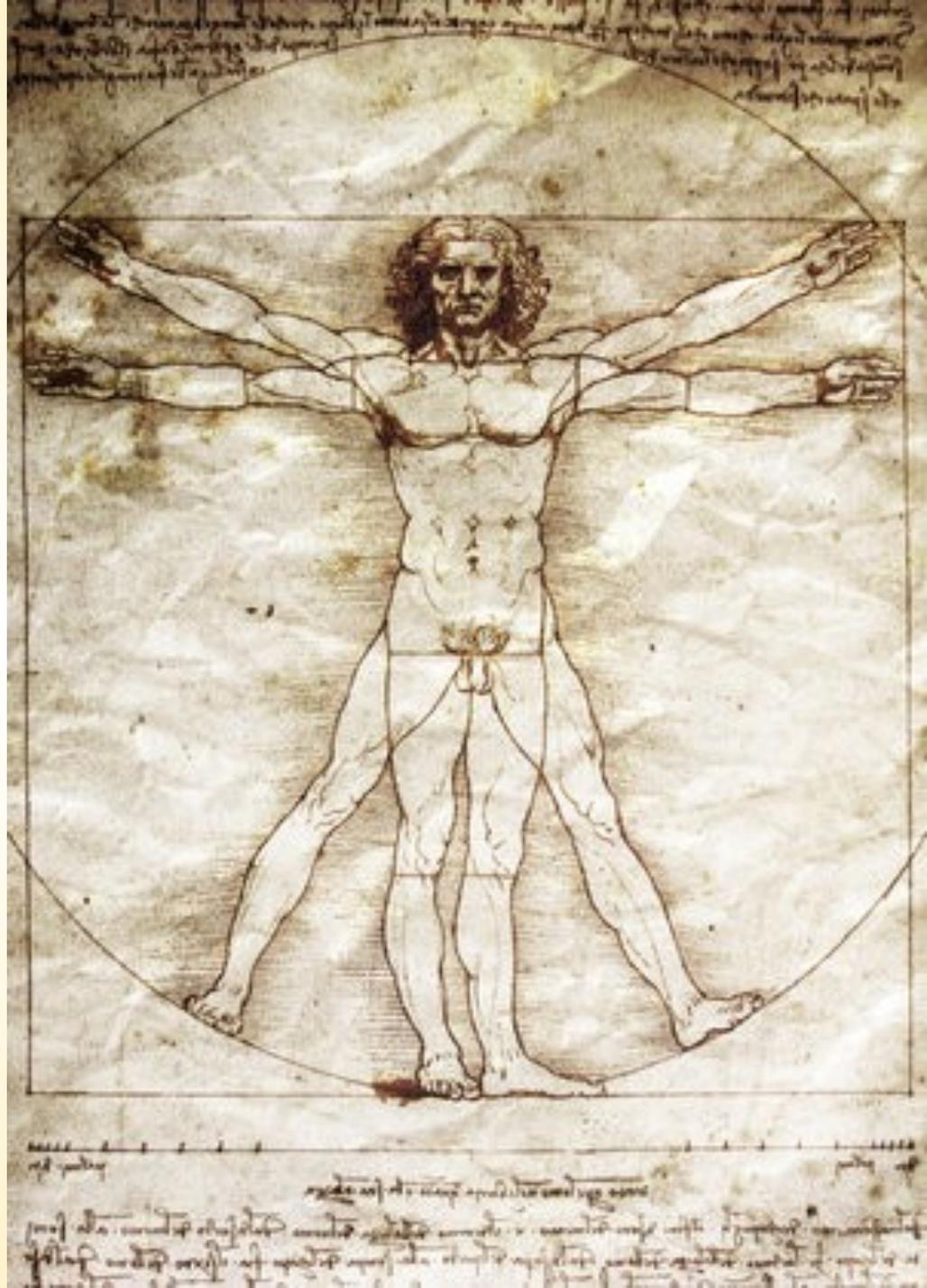
# 03 – Historia - Renacimiento



# Astronomía en el Renacimiento

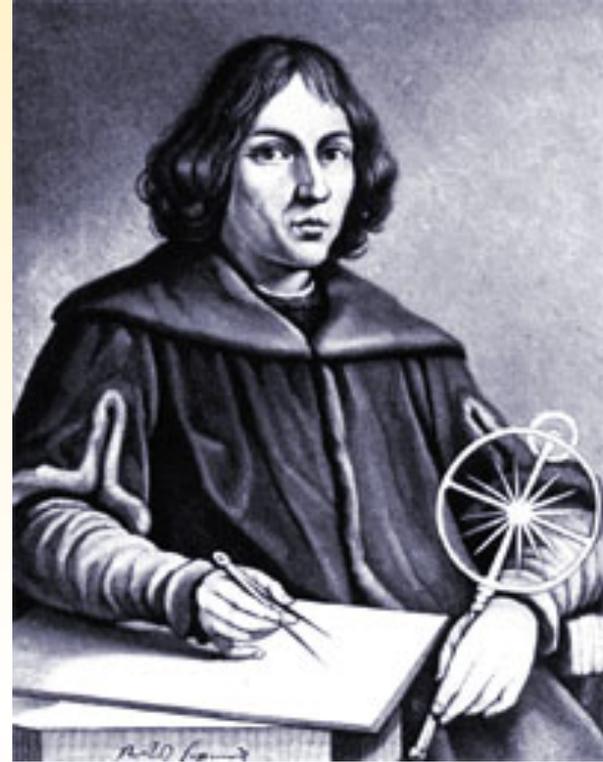
Nicolás  
Copérnico

Modelo  
Heliocentrico



# Nicolás Copérnico

en polaco **Mikołaj Kopernik**, en latín *Nicolaus Copernicus* , nació en Toruń, Prusia, Polonia, 19 de febrero de 1473 - murió en Frombork, Prusia, Polonia, 24 de mayo de 1543)



El fue el astrónomo que estudió la primera teoría heliocéntrica del Sistema Solar. Su libro, "De revolutionibus orbium coelestium" (de las revoluciones de las esferas celestes), es usualmente concebido como el punto inicial o fundador de la astronomía moderna, además de ser una pieza clave en lo que se llamó la Revolución Científica en la época del Renacimiento.

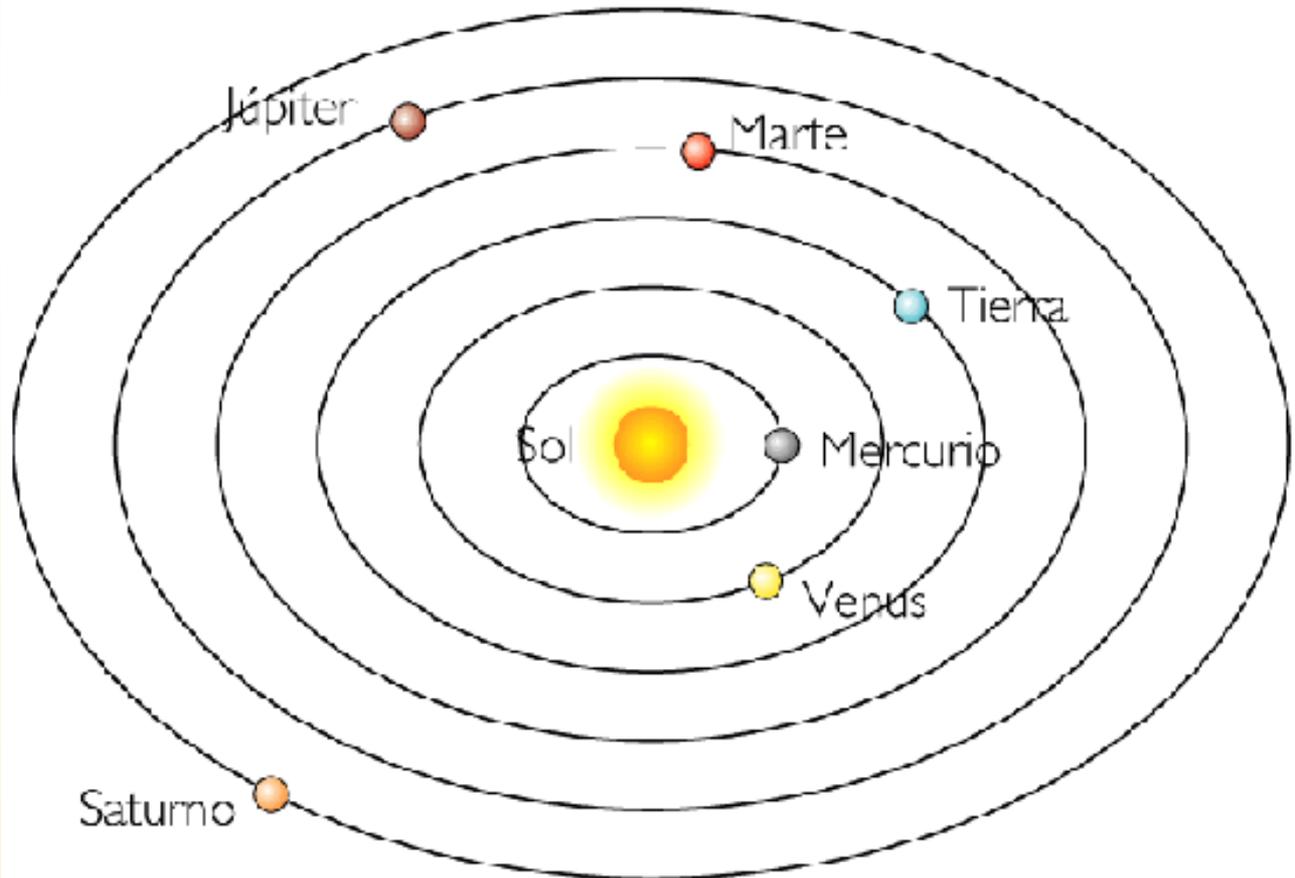
Copérnico pasó cerca de veinticinco años trabajando en el desarrollo de su modelo heliocéntrico del universo. En aquella época resultó difícil que los científicos lo aceptaran, ya que suponía una auténtica revolución.

Entre los grandes eruditos de la Revolución Científica, Copérnico era matemático, astrónomo, jurista, físico, clérigo católico, gobernador, administrador, líder militar, diplomático y economista. Junto con sus extensas responsabilidades, la astronomía figuraba como poco más que una distracción.

Por su gran contribución en el campo de la astronomía, en 1935 se decidió en su honor llamarle Copernicus a un cráter lunar visible con la ayuda de binoculares, ubicado en el Mare Insularum.



El modelo heliocéntrico es considerado como una de las teorías más importantes en la historia de la ciencia occidental.



# Las hipótesis fundamentales de la Teoría Copernicana:

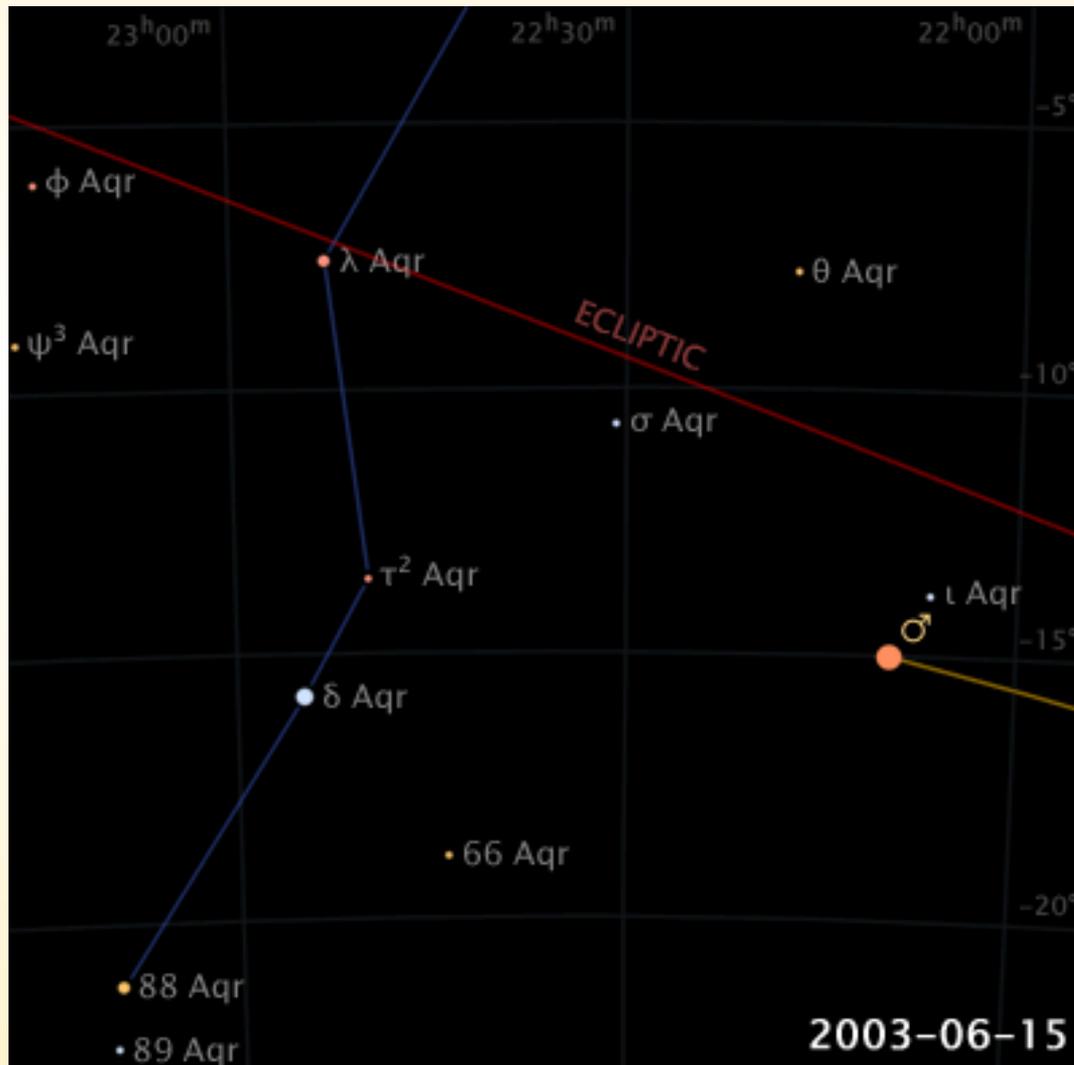
- El universo es redondo.
- La Tierra también es circular.
- El movimiento de los cuerpos celestes es uniforme, perpetuo y circular o compuesto por movimientos circulares. (epicyclos)

- El cielo es inmenso respecto a la magnitud de la Tierra.
- El orden de las órbitas celestes. Tras criticar el orden que la astronomía ptolemaica asignaba a los planetas, da el orden correcto de su alejamiento del Sol.

# Se distinguen varios tipos de movimientos:

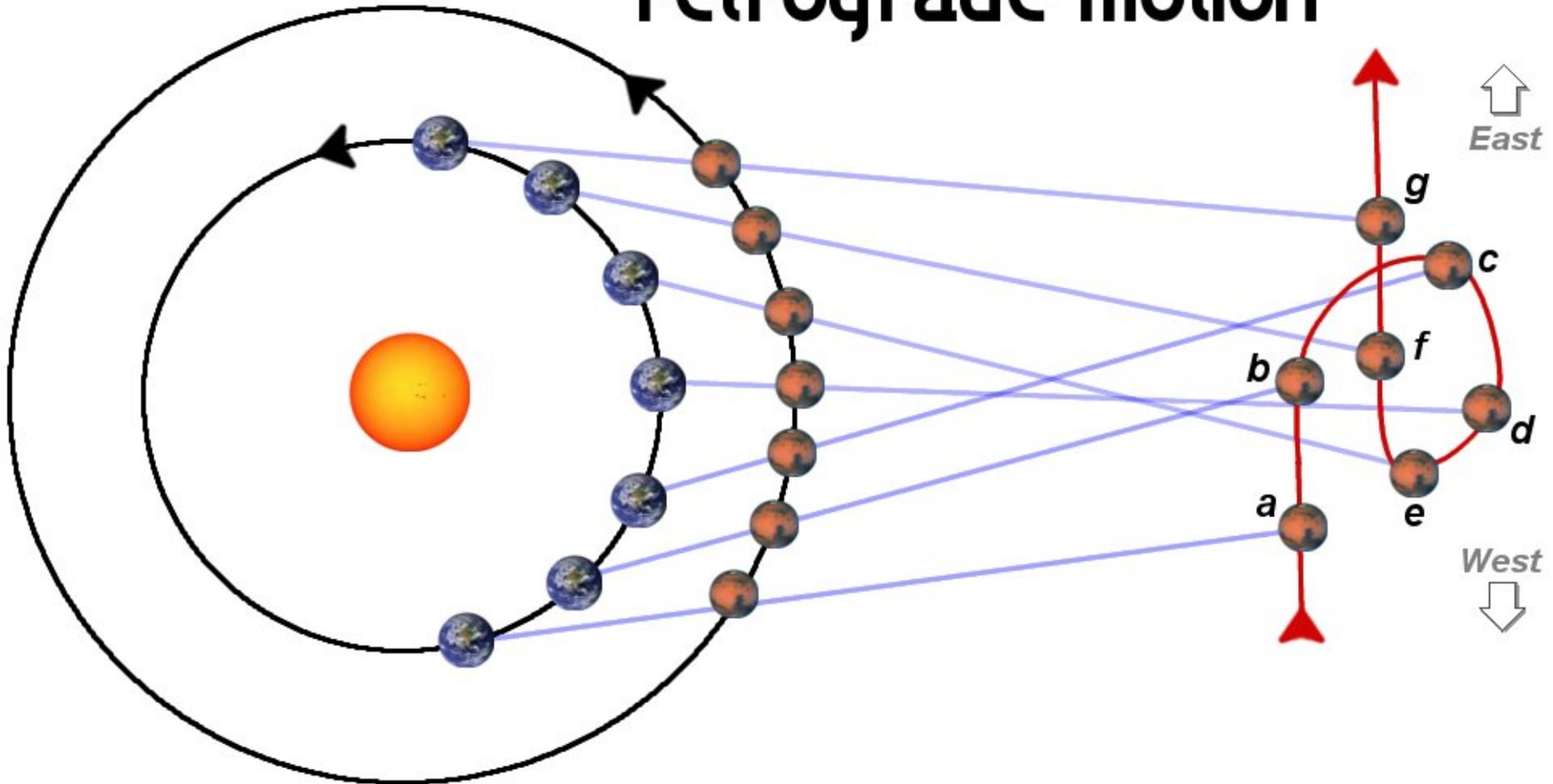
1. Movimiento diurno: Causado por la rotación de la Tierra en 24 horas y no de todo el universo.
2. Movimiento anual del Sol: Causado por la traslación de la Tierra alrededor del Sol en un año.
3. Movimiento mensual de la Luna alrededor de la Tierra.
4. Movimiento planetario: Causado por la composición del movimiento propio y el de la Tierra. La retrogradación del movimiento de los planetas no es más que aparente y no un movimiento verdadero, y es debido al movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol.

# Movimiento retrogradación



# Movimiento retrogradación

## retrograde motion



Movimiento de las planetas en el modelo heliocéntrico

# Tycho Brahe

*Tyge Ottesen Brahe*

Knutstorp, Escania,  
14.12.1546 –

Praga, 24.10.1601

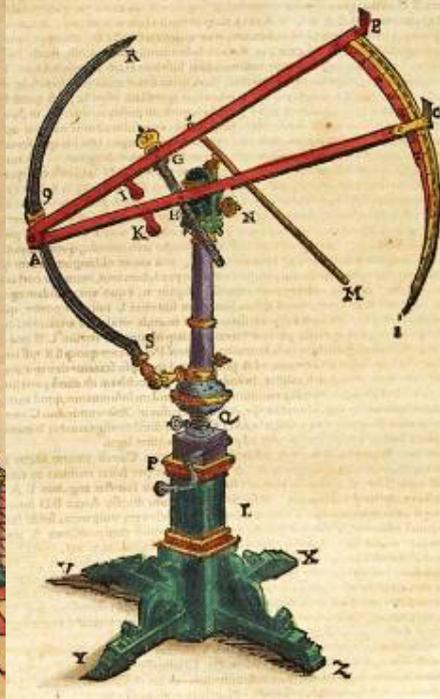
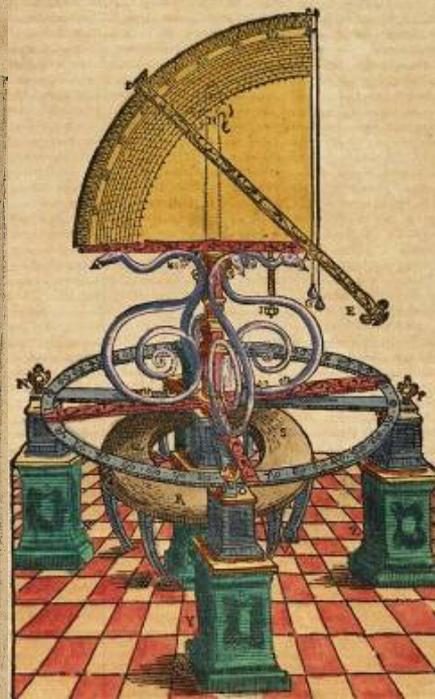
astrónomo danés,  
considerado el más  
grande observador del  
cielo en el período  
anterior a la invención  
del telescopio



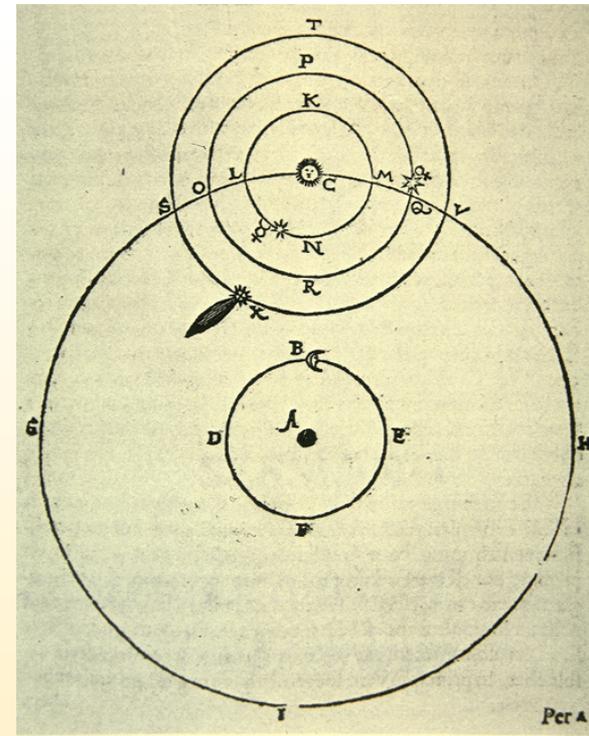
Se interesó en la astronomía y en la creación de instrumentos de medición más precisos.

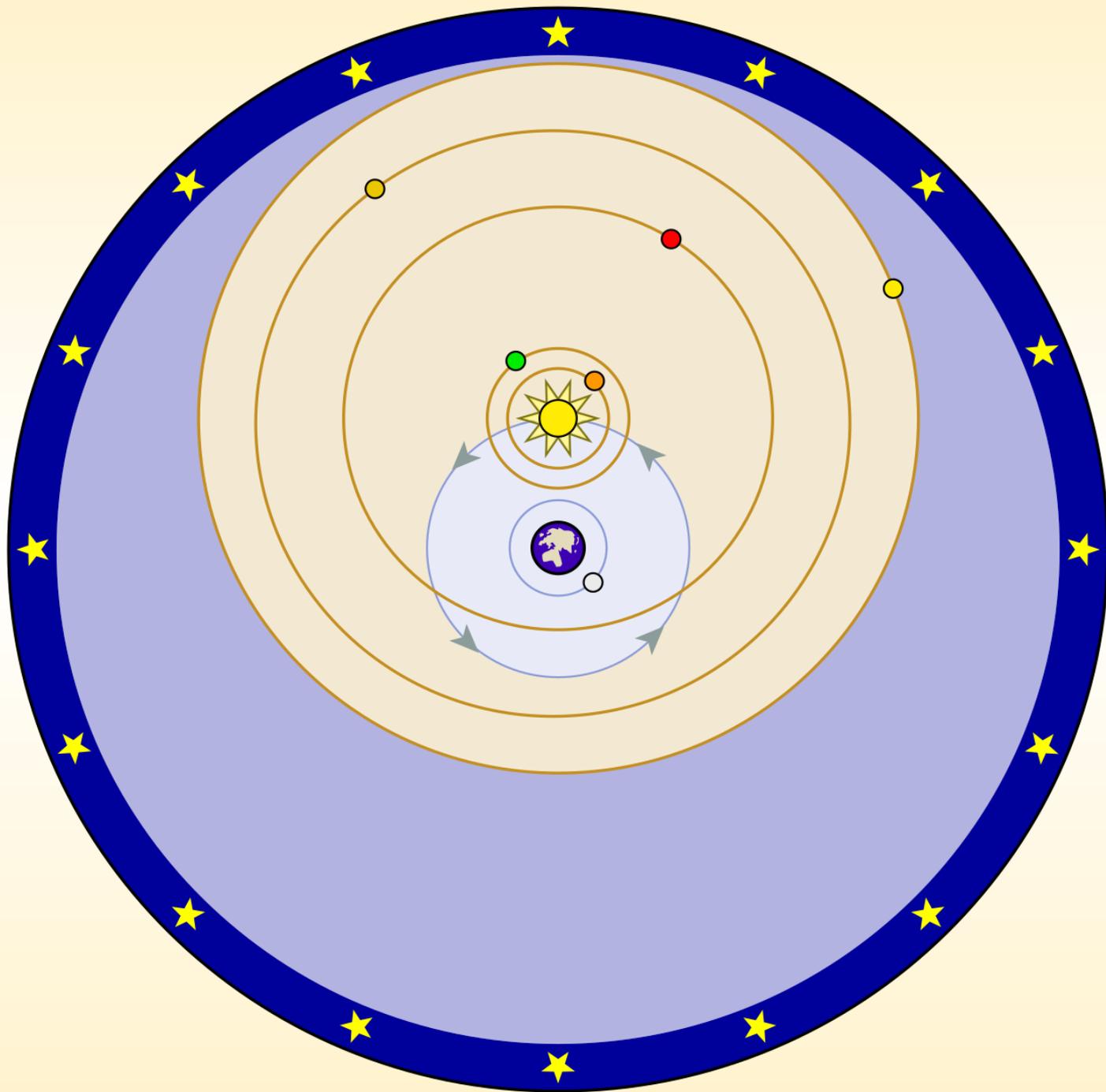
Brahe realizó enormes cambios en las técnicas de observación y en los niveles de precisión (del orden de los 4 minutos de arco). Diseñó y construyó un gran número de instrumentos: más grandes, más sólidos y mejor calibrados.

QVADRANS MVRALIS  
SIVE TIGHONICVS.



Como astrónomo, Tycho trabajó para combinar lo que vio como los beneficios geométricos del sistema copernicano con los beneficios filosóficos del sistema Ptolemaico en su propio modelo del universo, el sistema Tychonico. Su sistema vio correctamente la Luna orbitando la Tierra y los planetas orbitando el Sol, pero erróneamente consideró que el Sol orbitaba la Tierra.





# El Sistema Solar de Tycho

La cosmología de Tycho sigue siendo geocéntrica, aunque él fue consciente de las ventajas del sistema copernicano.

Como protestante y conservador, hacer a la Tierra girar alrededor del Sol era demasiado. Además, no era capaz de detectar el paralaje anual de las estrellas. Tycho decidió que la Tierra no se movía.

En el sistema de Tycho, la luna y el sol orbitan la tierra, y los demás planetas orbitan el sol. Las estrellas fijas están centradas en la tierra.

Su universo tenía un tamaño de unas 14000 veces el radio terrestre.

# Tycho y las observaciones de Marte

Habiendo medido el paralaje de la nova de 1572 y el cometa de 1577, Tycho intentó medir el paralaje a Marte y determinar así una estimación de la UA.

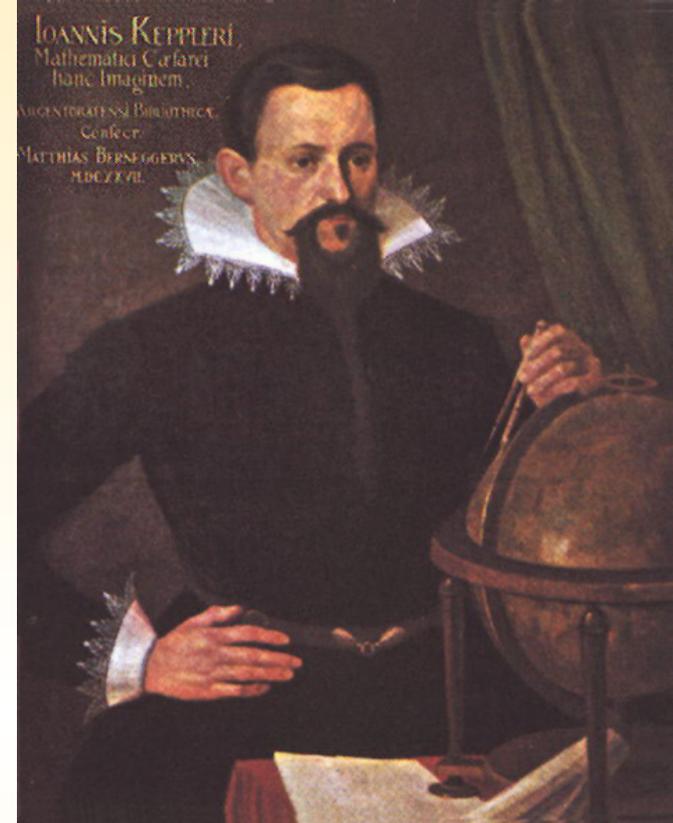
Su máxima aproximación, según Copérnico sería mucho mayor.

Tras más de 10 años de medidas, no lo consiguió, pero sus medidas serían esenciales para Kepler.

También realizó un catálogo de 777 estrellas de una calidad sin precedentes. Con un “retículo” de estrellas de referencia calculaba la posición de las demás. Perdió interés cuando completó la banda zodiacal.

# Johannes Kepler

Nació en Weil der Stadt,  
Alemania, 27 de diciembre de  
1571 - murió Ratisbona,  
Alemania, 15 de noviembre de  
1630



Kepler es la figura clave en la revolución científica, astrónomo y matemático alemán; fundamentalmente conocido por sus leyes sobre el movimiento de los planetas sobre su órbita alrededor del sol . Fue colaborador de Tycho Brahe, a quien sustituyó como matemático imperial de Rodolfo II en Praga.

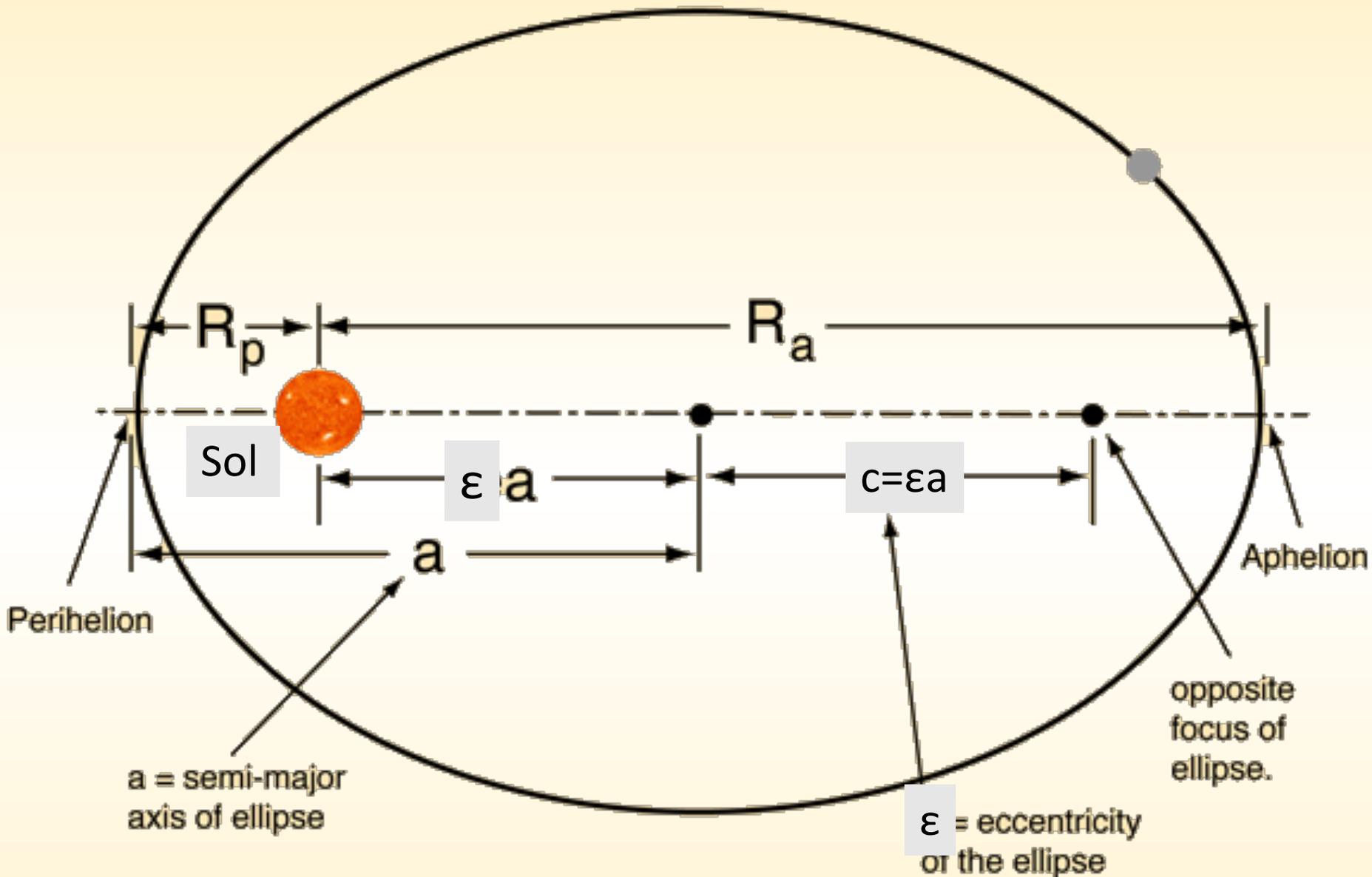
# Ley de las órbitas elípticas (1609)

La primera ley de Kepler, a veces conocida como la ley de las elipses, explica que los planetas están orbitando el Sol en un camino descrito como una **elipse**.

Una elipse es una curva especial en la que la suma de las distancias desde cada punto de la curva a dos puntos especiales es una constante. Los dos puntos especiales se conocen como los **focos** de la elipse.

Cuanto más cerca estén estos puntos, más se parece la elipse a la forma de un círculo. De hecho, un círculo es el caso especial de una elipse en la que los dos focos están en la misma ubicación.

La primera ley de Kepler es bastante simple: todos los planetas orbitan el Sol en un camino que se asemeja a una elipse, con el Sol ubicado en uno de los focos de esa elipse.



$$R_a = a(1 + \epsilon) \quad R_p = a(1 - \epsilon)$$

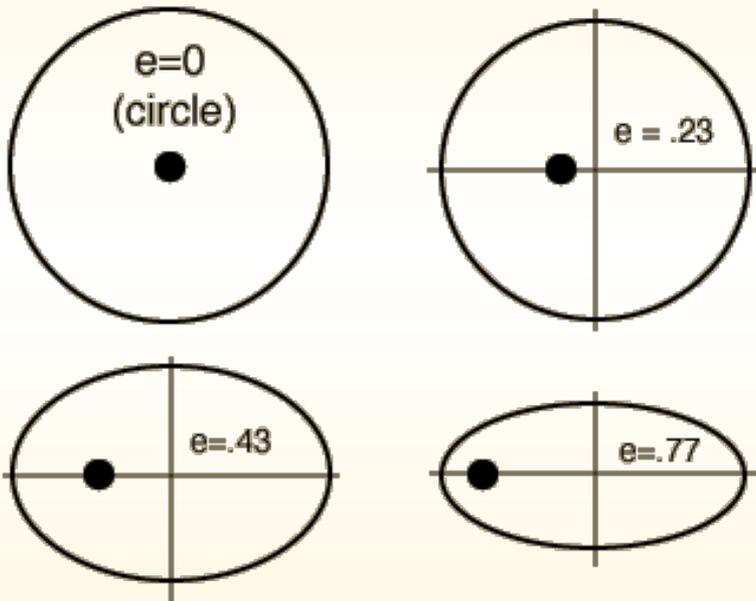
El punto de menor distancia al Sol se llama **perihelio**  $R_p$  y el punto de mayor distancia al Sol se llama **afelio** (de apohelio)  $R_a$ .

helio: del griego antiguo ἥλιος (hélíos, "sol")

peri- : del griego antiguo περί (perí, "aproximadamente, alrededor")

apo-: del prefijo griego antiguo ἀπό- (apó-), de la preposición ἀπό (apó, "de, lejos de")

# Excentricidades de órbitas planetarias

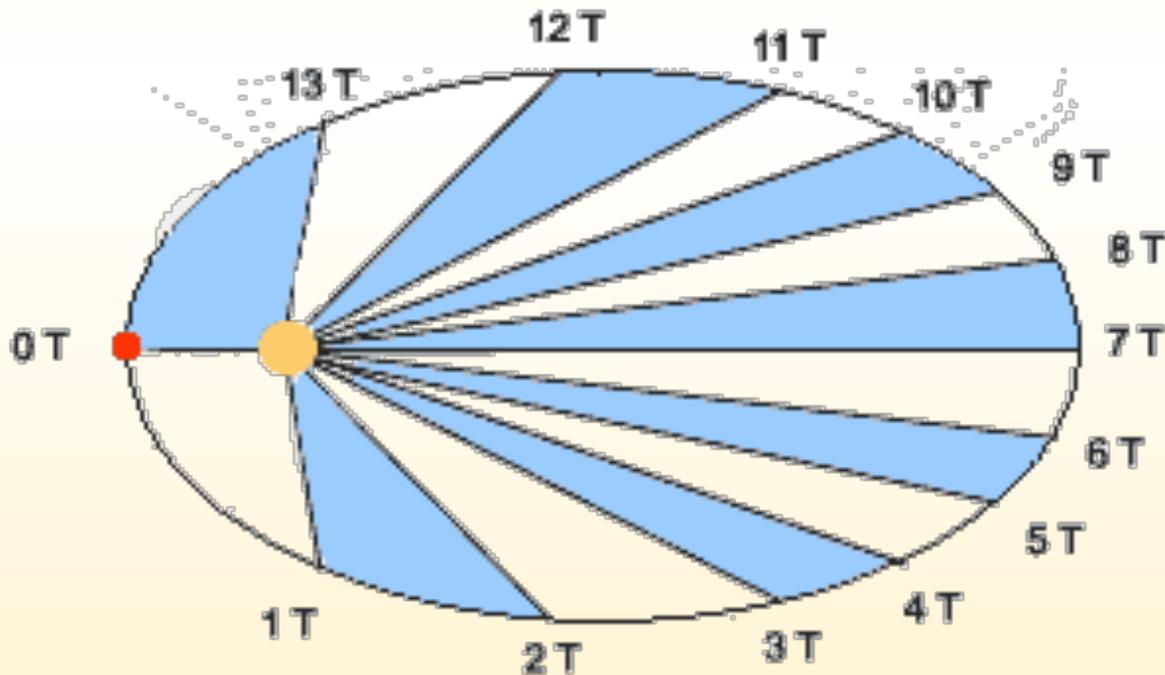


Las excentricidades de los planetas son muy bajas. Esto significa que sus órbitas están muy cerca de círculos.

Mercurio	0.206
Venus	0.0068
Tierra	0.0167
Marte	0.0934
Jupiter	0.0485
Saturno	0.0556
Urano	0.0472
Neptuno	0.0086
Pluton	0.25

# Segunda ley de Kepler

El radio vector que une el planeta y el Sol barre áreas iguales en tiempos iguales.



T = any unit of time (hour, day, week, etc.)

# Ley de las áreas (1609)

La segunda ley de Kepler, a veces denominada ley de áreas iguales, describe la velocidad a la que se moverá cualquier planeta mientras orbita el Sol.

La velocidad a la que cualquier planeta se mueve a través del espacio está cambiando constantemente.

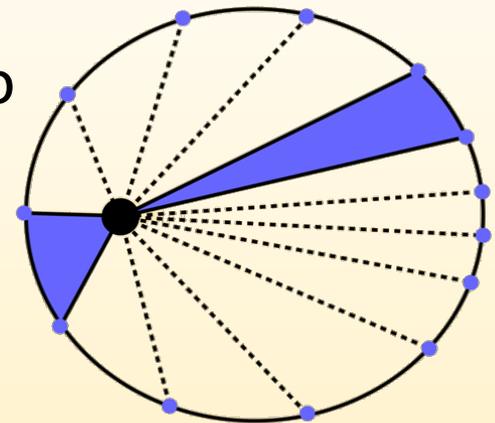
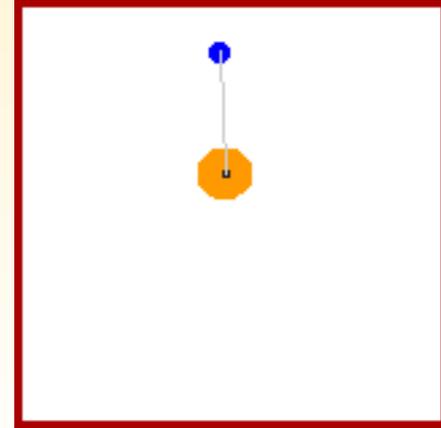
Un planeta se mueve más rápido cuando está más cerca del Sol y más lento cuando está más alejado del Sol.

Sin embargo, si se dibujara una línea imaginaria desde el centro del planeta hasta el centro del Sol, esa línea barrería la misma área en períodos iguales de tiempo.

Esto se representa en los siguientes diagramas:

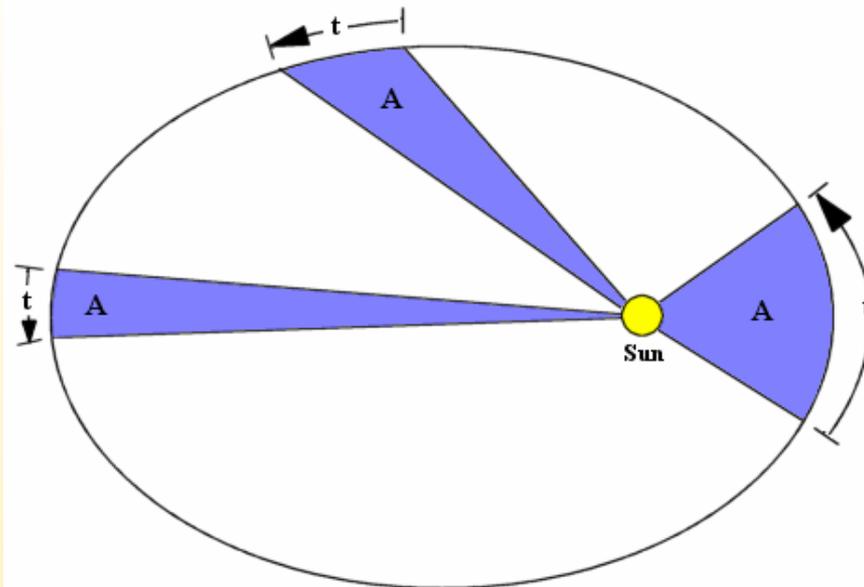
Como se puede observar en el diagrama, las áreas formadas cuando la Tierra está más cerca del Sol pueden aproximarse como un triángulo ancho pero corto; mientras que las áreas formadas cuando la Tierra está más alejada del Sol pueden aproximarse como un triángulo estrecho pero largo.

Estas áreas son del mismo tamaño. Dado que la base de estos triángulos es más corta cuando la Tierra está más alejada del Sol, la Tierra tendría que moverse más lentamente para que esta área imaginaria sea del mismo tamaño que cuando la Tierra está más cerca del Sol.



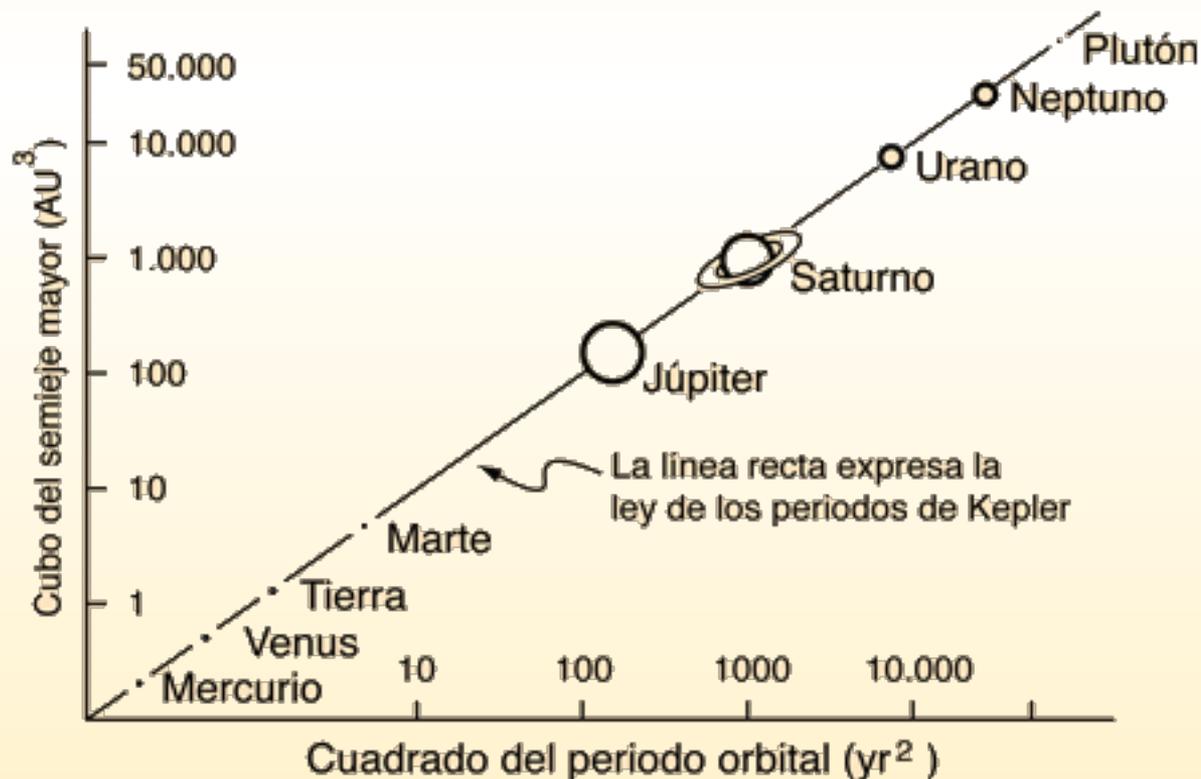
La ley de las áreas es equivalente a la constancia del momento angular, es decir, cuando el planeta está más alejado del Sol (afelio) su velocidad es menor que cuando está más cercano al Sol (perihelio). En el afelio y en el perihelio, el momento angular  $L$  es el producto de la masa del planeta, su velocidad y su distancia al centro del Sol.

$$L = m \cdot r_1 \cdot v_1 = m \cdot r_2 \cdot v_2$$



# Tercera ley de Kepler

El cuadrado del periodo de las órbitas  $T$  es proporcional al cubo del semieje mayor de la elipse  $a$ .



# Ley Armónica (1618)

$$\frac{T^2}{a^3} = K = \text{const}$$

$T$  = es el periodo orbital,

$a$  = semi-eje mayor del planeta

$K$  = la constante de proporcionalidad

$$\frac{T_1^2}{a_1^3} = \frac{T_2^2}{a_2^3}$$

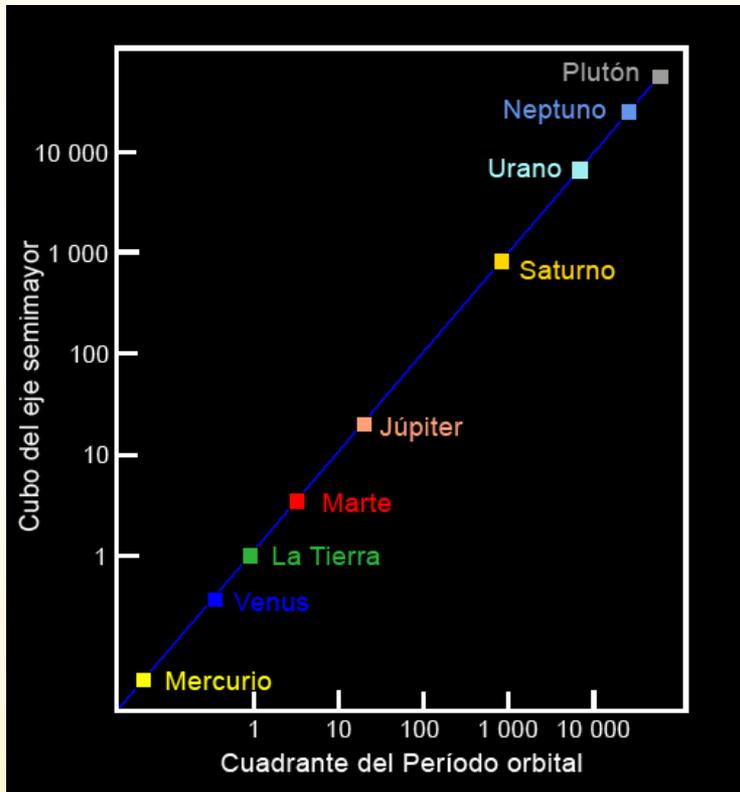
A veces verás que la 3. ley de Kepler se refiere a la distancia media de un planeta al Sol  $\langle r \rangle$ . Pero como  $\langle r \rangle$  es proporcional a "a" (semi-eje mayor) las dos expresiones son equivalentes.

La tercera ley de Kepler, a veces denominada ley de armonías, compara el período orbital y el radio de órbita de un planeta con los de otros planetas.

A diferencia de las leyes primera y segunda de Kepler que describen las características de movimiento de un solo planeta, la tercera ley hace una comparación entre las características de movimiento de los diferentes planetas.

La comparación que se está haciendo es que la razón de los cuadrados de los períodos a los cubos de sus distancias promedio del Sol y también sus semi-ejes mayores son las mismas para cada uno de los planetas.

# Valores para los planetas de nuestro Sistema Solar



Planeta	Periodo (yr)	Distancia (AU)	$T^2/a^3$ (yr <sup>2</sup> /AU <sup>3</sup> )
Mercurio	0.241	0.39	0.98
Venus	0.615	0.72	1.01
Tierra	1.00	1.00	1.00
Marte	1.88	1.52	1.01
Jupiter	11.8	5.20	0.99
Saturno	29.5	9.54	1.00
Urano	84.0	19.18	1.00
Neptuno	165	30.06	1.00
Pluton	248	39.44	1.00

# Determinación de la constante K

Sin la ley de la gravedad, la constante K no puede determinarse.

Necesitamos esperar hasta que Newton formule su ley de la gravedad universal.

Con este conocimiento, finalmente es posible escribir la constante K:

$$K = \frac{4\pi^2}{G(M_1 + M_2)}$$

G: constante de gravitación

$M_1$ : masa del Sol  $M_{\odot}$

$M_2$ : masa del planeta

La masa del planeta es demasiado pequeño en comparación con la masa del Sol y se puede quitar.

La formulación matemática de Newton de la tercera ley de Kepler es:

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{GM_{\odot}} a^3$$

# Galileo Galilei

nació en Pisa, Italia el año de 1564, vive varios años en Padua, y muere en Arcetri, Florencia en 1642.

Por razones muy diversas es considerado como padre de la Física. Sus aportaciones a la astronomía fueron enormes, gracias a que fue el primero en utilizar el telescopio para hacer investigaciones astronómicas.



Galileo Galilei fue un astrónomo, filósofo, matemático y físico.

El mostró interés por casi todas las ciencias y artes (música, literatura, pintura).

Sus logros incluyen la mejora del telescopio, gran variedad de observaciones astronómicas, la primera ley del movimiento y un apoyo determinante para el copernicanismo.

# Galileo y el telescopio

Hasta la llegada del telescopio, los astrónomos renacentistas conocían básicamente el mismo cielo que en la antigüedad...

Esto iba a cambiar gracias a Galileo.

En el renacimiento, los astrónomos han tenido acceso a más “literatura”, pero su universo se limita al de la antigüedad:

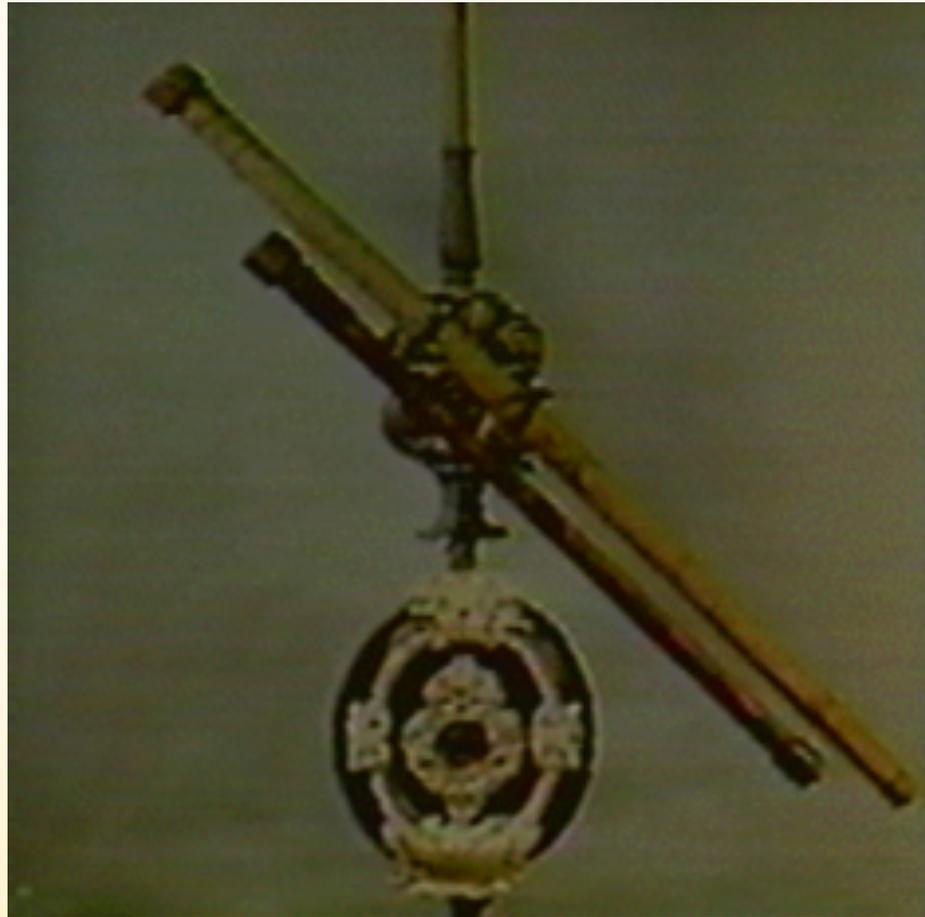
Sol, Luna, planetas y estrellas fijas

En verano de 1609 cuando Galileo está en Venecia, llegan noticias de que en Holanda han construido un dispositivo con un tubo y dos lentes que acerca las cosas.

En Agosto, Galileo construye un telescopio 8x y se lo enseña a las autoridades “para infinito asombro de todos”.

Esto le vale sucesivas mejoras laborales. Finalmente, el Gran Duque de Toscana, Cosimo II de Medici le ofrece un puesto vitalicio como matemático y filósofo ducal en Florencia.

# *Telescopio Refractor Galileano.*





A finales de 1609 Galileo había mejorado su telescopio hasta 20x.

# Nuevos objetos en el cielo

Por primera vez fue capaz de ver infinidad de estrellas nunca antes vistas.

Resuelve la Vía Láctea en innumerables estrellas individuales.

Ve aumentado el tamaño de los planetas pero no las estrellas → están muy lejos.

# Las lunas de Júpiter

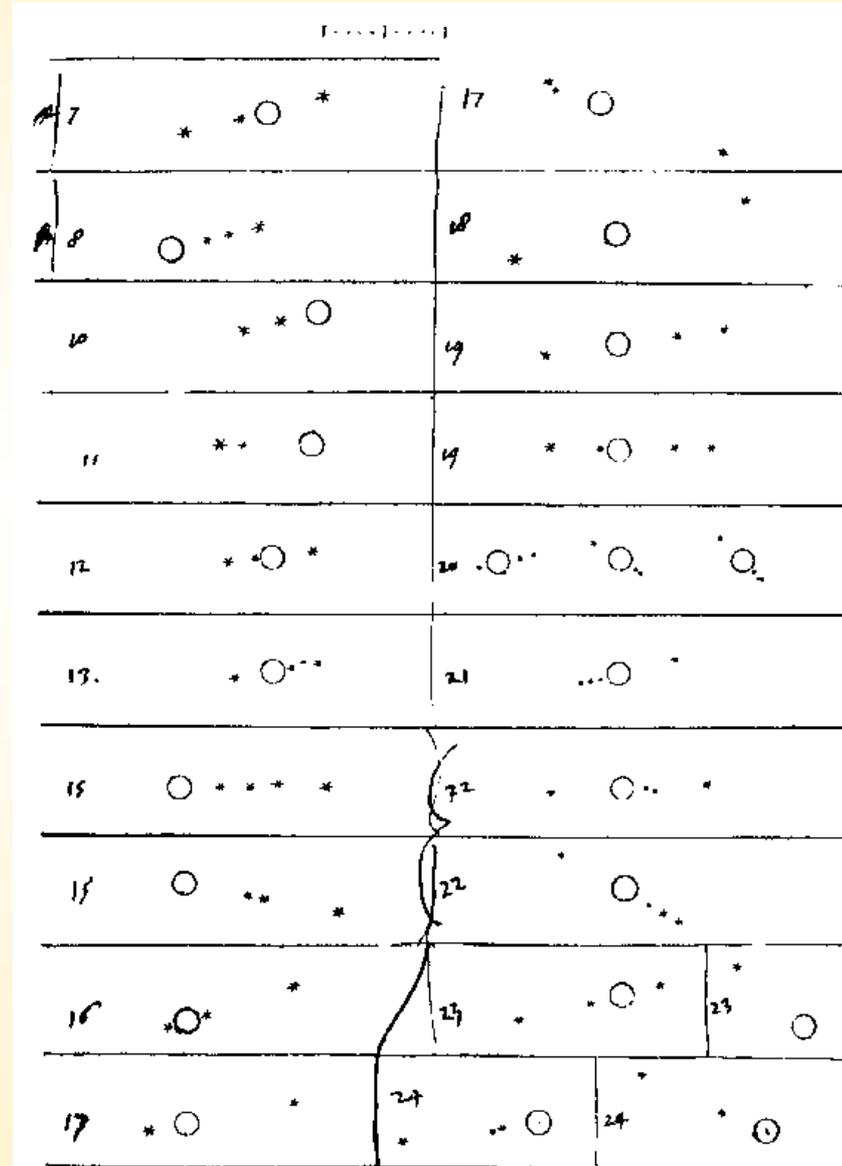
El 7 de enero de 1610 Galileo observa Júpiter, que se encuentra en medio de tres estrellas “alineadas”.

Júpiter estaba en movimiento retrógrado (al oeste), pero a la noche siguiente estaba al este de las estrellas.

El día 10 estaba al oeste de dos estrellas (la 3ª había desaparecido).

El día 13 apareció la 3ª y una 4ª estrella.

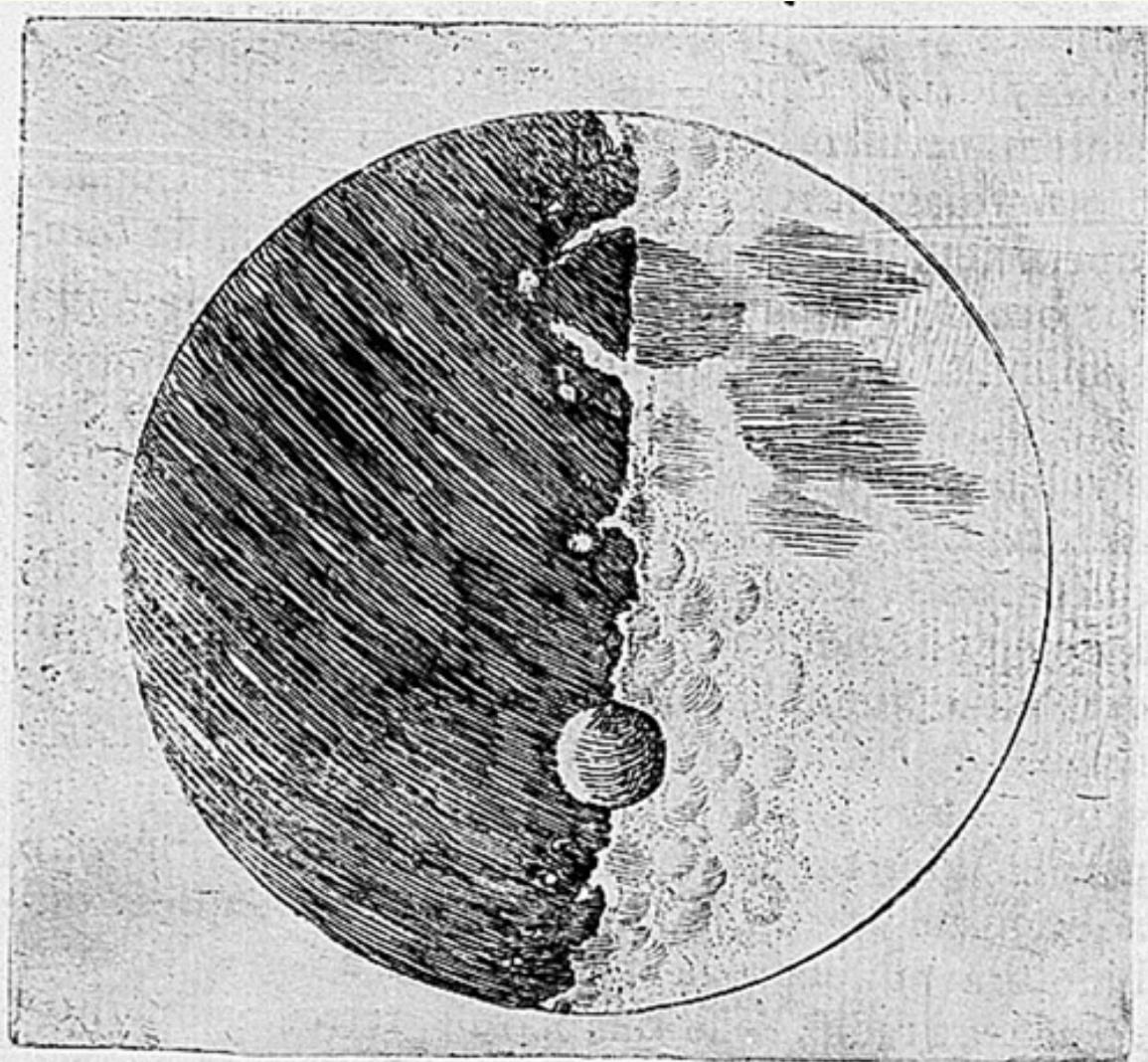
Para el 15 de Enero, Galileo ya se había dado cuenta que esas estrellas eran, en realidad, satélites orbitando alrededor de Júpiter.



El descubrimiento de las lunas de Júpiter eran muy buenas noticias para los Copernicanos.

La Tierra ya no es el único planeta con satélites.

# Montañas y cráteres en la Luna



Galileo observó la Luna y vio el relieve de su superficie (contra su supuesta “perfección” aristotélica). Mide alturas de montañas en la Luna.

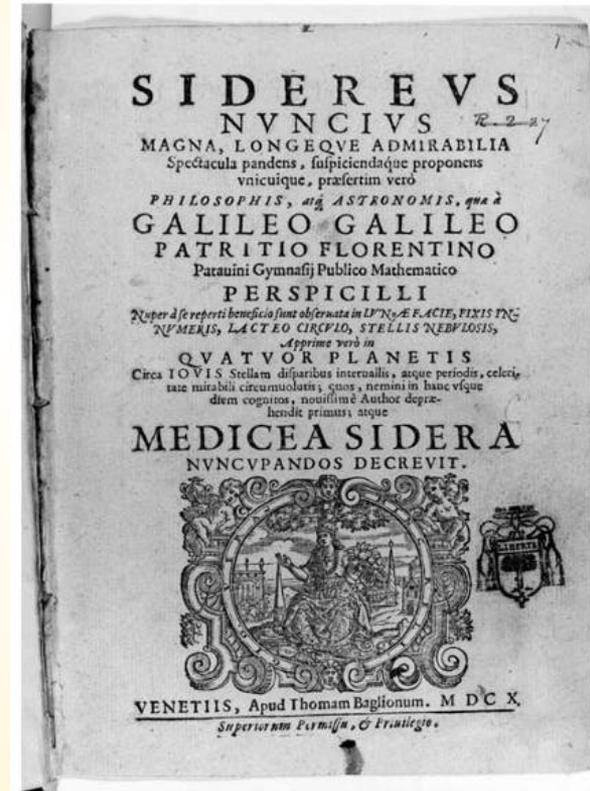
# Sidereus Nuncius

Galileo se da prisa en publicar sus hallazgos y en unas pocas semanas tiene listo su “Sidereus Nuncius” (el mensajero de las estrellas).

En él se relatan las observaciones de nuevas estrellas, las lunas de Júpiter, los accidentes lunares, etc.

Muchos eran escépticos de que un tubo con cristales pudiera ayudar a entender el Universo.

Pronto el uso de los telescopios se extiende y los jesuitas de Roma confirman sus descubrimientos.



# Manchas solares

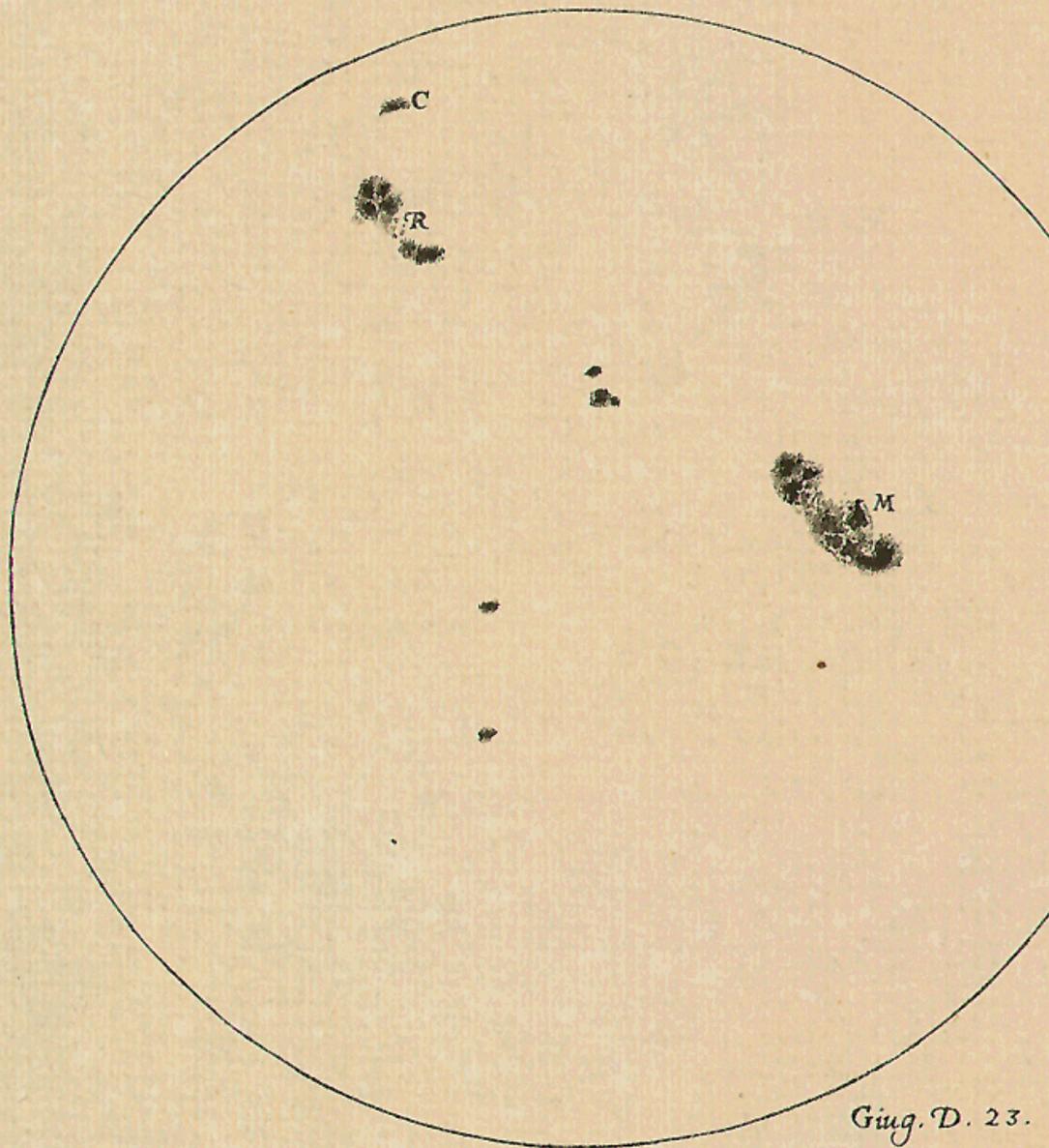
En los meses siguientes Galileo realiza tres nuevos descubrimientos de gran relevancia.

Galileo observa manchas solares.

- Observadas en 1610 por Thomas Harriot.
- Observadas en 1611 por el frisio David Fabricius (manchas)
- Observadas en 1611 por el alemán Cristoph Scheiner (satélites)

Galileo publica sus resultados en 1613 donde determina que son manchas...

El Sol no es perfecto tampoco.



Giug. D. 23.

# ISTORIA E DIMOSTRAZIONI

INTORNO ALLE MACCHIE SOLARI  
E LORO ACCIDENTI

COMPRESSE IN TRE LETTERE SCRITTE  
ALL'ILLVSTRISSIMO SIGNOR

MARCO VELSERI LINCEO

D V V M V I R O D' A V G V S T A

CONSIGLIERO DI SVA MAESTA CESAREA

D A L S I G N O R

GALILEO GALILEI LINCEO

*Nobil Fiorentino, Filosofo, e Matematico Primario del Serenissimo*

*D. COSIMO II. GRAN DVCA DI TOSCAN A.*



IN ROMA, Appresso Giacomo Mascardi. MDCXIII.

CON LICENZA DE SVPERIORI.

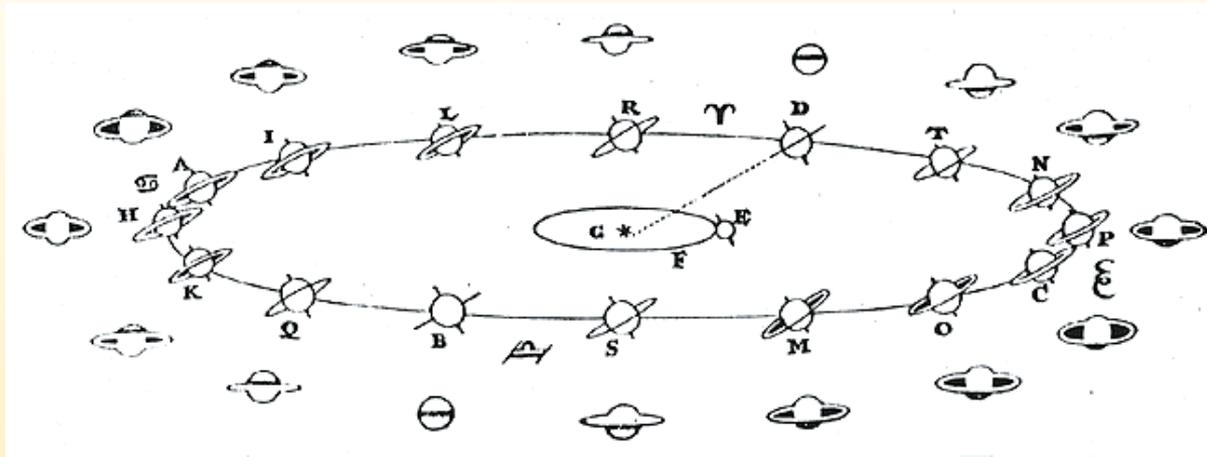


Christopher Scheiner, jesuita alemán, estudió las manchas en la misma época que Galileo, pero Scheiner pensaba que se debían a objetos que giraban alrededor del Sol. Galileo concluyó correctamente que están en la superficie del Sol.

# Los anillos de Saturno

Galileo observa Saturno y ve unos extraños “apéndices” que aparecían y desaparecían.

El “misterio” fue resuelto varios años después por el astrónomo holandés Christiaan Huygens (1629-1695), quién se dio cuenta que el planeta “esta rodeado por un fino anillo plano que no lo toca por ninguna parte”

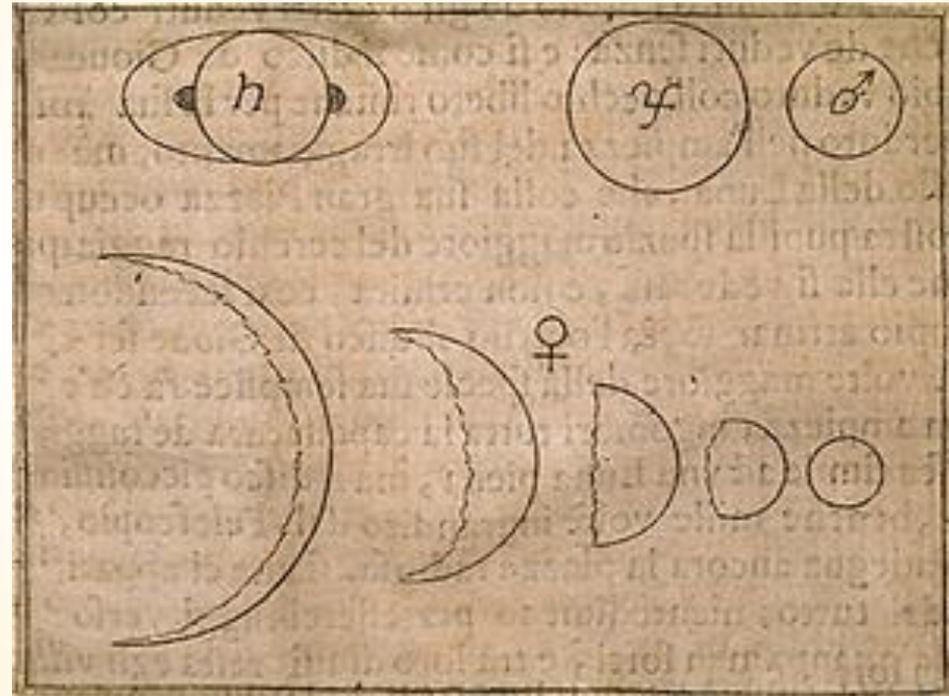


# Las fases de Venus

Galileo observó que Venus tenía fases igual que la Luna.

En un sistema Ptolemaico esto no es posible, pero no se puede distinguir entre un sistema Copernicano (heliocéntrico) y uno Tychónico (geocéntrico).

Galileo favoreció el sistema Copernicano.



# Isaac Newton



# Isaac Newton

Sir Isaac Newton (4 de enero de 1643 GR – 31 de marzo de 1727 GR) fue un físico, filósofo, inventor, alquimista y matemático inglés, autor de los *Philosophiae naturalis principia mathematica*, más conocidos como los *Principia*, donde describió la ley de gravitación universal y estableció las bases de la Mecánica Clásica mediante las leyes que llevan su nombre.



Algunos de sus grandes logros científicos son:

- Formula las tres leyes de Newton de la mecánica clásica.
- Inventa el cálculo diferencial e integral (junto con Gottfried Wilhelm Leibniz)
- Descubre la ley de gravitación universal. Con ella logra explicar las leyes que Kepler descubrió empíricamente.
- Inventó el telescopio reflector Newtoniano, descubrió el espectro electromagnético, e hizo muchas otras grandes contribuciones a la óptica.
- Explicó el fenómeno de las mareas.

**Isaac Newton**  
(1642-1727)



Inventó el telescopio reflector  
Newtoniano.



# Newton's Laws of Motion

## 1 The Law of Inertia

With no net force acting upon it, an object at rest tends to stay at rest, and an object in motion tends to stay in motion. Both objects will continue with the same **inertia**, keeping the same **velocity**.

The ball will not move unless there is a force to cause it to move.



If a ball were rolling on a frictionless surface, it would keep moving unless met with an outside force.



## 2 The Law of Force = Mass x Acceleration ( $F=ma$ )

The acceleration of an object is dependent upon the **net force** acting upon the object and the **mass** of the object.

Because the mass of each ball is different, each ball will travel a different distance and at a different speed when it is hit with the same force.



## 3 The Law of Action & Reaction

For every action, there is an equal and opposite reaction.

When there is force by one side, there will be opposite and equal force by the other side, causing each side to move in opposite directions.



Leyes de  
Newton y  
Gravitación

# Leyes de la dinámica de Newton

- 1.- Ley de la Inercia: Un cuerpo permanece en reposo o en movimiento constante a menos que se le aplique una fuerza externa.
- 2.- Ley de Fuerza: La fuerza es igual a la masa por la aceleración.
- 3.- Ley de Acción y Reacción: para cada fuerza de acción corresponde una fuerza de reacción que es igual pero en sentido contrario.

# Las tres leyes de Newton

Cuando una fuerza actúa sobre un objeto, este se pone en movimiento, acelera, desacelera o varía su trayectoria. Cuanto mayor es la fuerza, tanto mayor es la variación del movimiento.

*LA RANA SE MANTENDRÁ EN REPOSO MIENTRAS NO ACTÚE SOBRE ELLA UNA FUERZA NO COMPENSADA.*



## Primera ley de Newton

El salto de una rana sobre una hoja de nenúfar ilustra las leyes del movimiento. La primera ley establece que, si ninguna fuerza empuja o tira de un objeto, este se mantiene en reposo o se mueve en línea recta con velocidad constante.

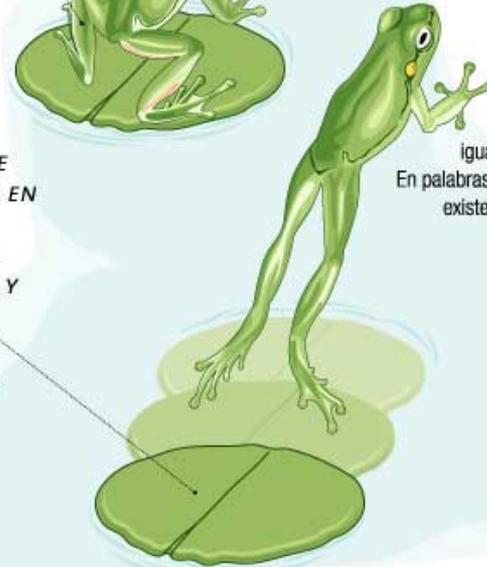
*LOS MÚSCULOS EJERCEN UNA FUERZA QUE IMPULSA A LA RANA HACIA ARRIBA.*



## Segunda ley de Newton

Cuando una fuerza actúa sobre un objeto, éste se pone en movimiento, acelera, desacelera o varía su trayectoria. Cuanto mayor es la fuerza, tanto mayor es la variación del movimiento.

*A LA FUERZA QUE ELEVA A LA RANA EN EL AIRE, LA ACOMPAÑA UNA REACCIÓN IGUAL Y OPUESTA QUE EMPUJA HACIA ATRÁS A LA HOJA DE NENÚFAR.*



## Tercera ley de Newton

Al empujar un objeto o al tirar de él, éste empuja o tira con igual fuerza en dirección contraria. En palabras de Newton: "Para cada acción existe una reacción igual y opuesta".

# Primera ley de Newton o Ley de la inercia

La primera ley del movimiento rebate la idea aristotélica de que un cuerpo sólo puede mantenerse en movimiento si se le aplica una fuerza. Newton expone que

**Todo cuerpo persevera en su estado de reposo o movimiento uniforme y rectilíneo a no ser que sea obligado a cambiar su estado por fuerzas impresas sobre él.**

$$\vec{F} = 0 \Leftrightarrow \vec{v} = \textit{const}$$

# Segunda ley de Newton o Ley de fuerza

**El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa y ocurre según la línea recta a lo largo de la cual aquella fuerza se imprime.**

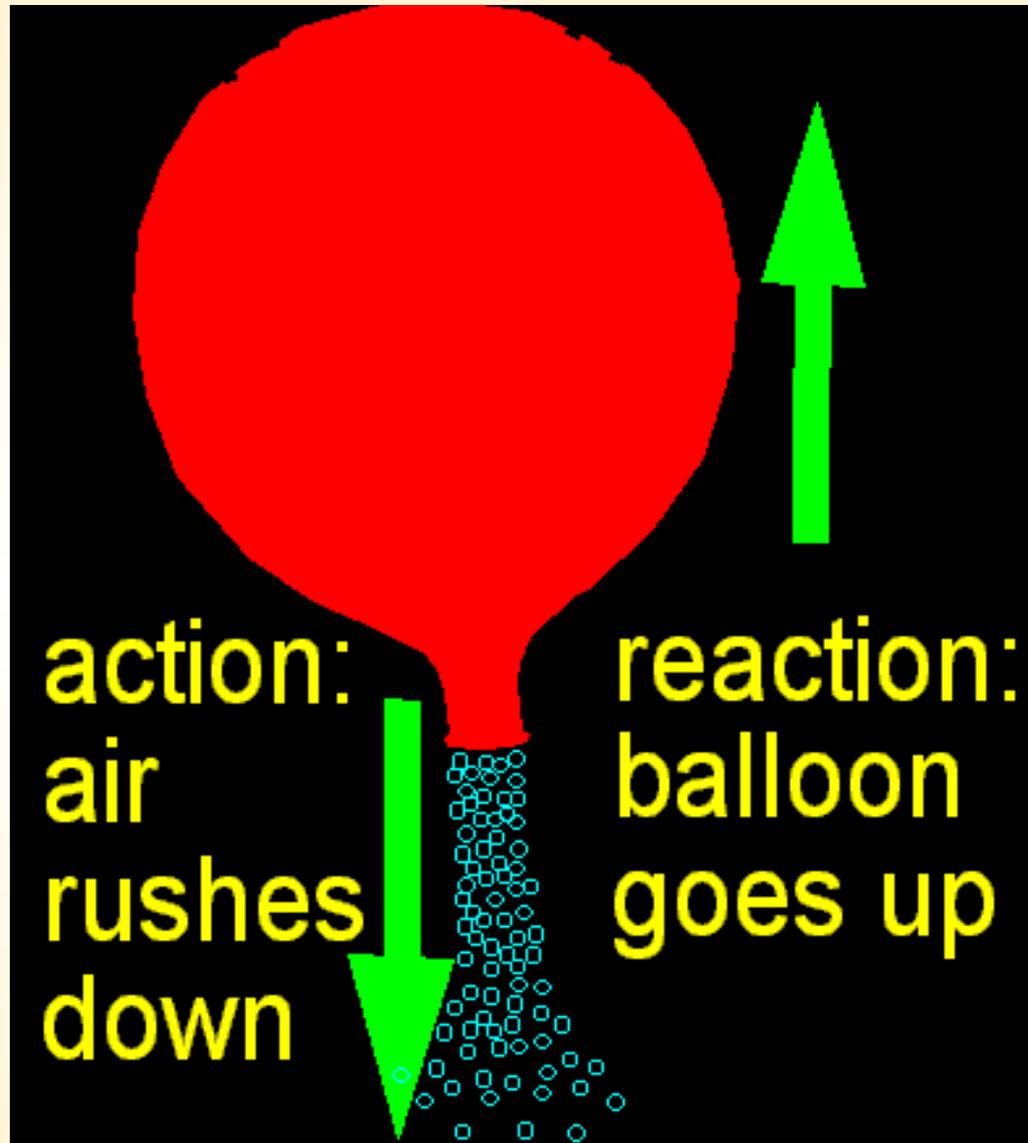
$$\vec{F} = m\vec{a}$$

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

# Tercera Ley de Newton o Ley de acción y reacción

**Con toda acción ocurre siempre una reacción igual y contraria: o sea, las acciones mutuas de dos cuerpos siempre son iguales y dirigidas en direcciones opuestas.**

$$\vec{F}_{1 \rightarrow 2} = -\vec{F}_{2 \rightarrow 1}$$



Junto con las anteriores, permite enunciar los principios de conservación del momento lineal y del momento angular.

Las leyes de Newton son básicas para comprender los movimientos que ocurren en el Sistema Solar.

Son fundamentales en la astronáutica. Todo satélite obedece las leyes de Newton.

Las mismas leyes sirven para entender el movimiento de sistemas estelares en cúmulos a nivel galáctico, etc. es decir tienen un carácter universal.

# Ley de Gravitación Universal

Cada cuerpo en el Universo es atraído por todos los demás cuerpos con una fuerza que son iguales al producto de las masas de los cuerpos divididos entre el cuadrado de la distancia.

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

Todo objeto en el Universo que posea masa ejerce una atracción gravitatoria sobre cualquier otro objeto con masa, independientemente de la distancia que los separe. Según explica esta ley, mientras más masa posean los objetos, mayor será la fuerza de atracción, y paralelamente, mientras más cerca se encuentren entre sí, será mayor esa fuerza.

Expresando lo anterior en términos formales, esta ley establece que la fuerza que ejerce un objeto dado con masa  $m_1$  sobre otro con masa  $m_2$  es directamente proporcional al producto de las masas, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa.

En la fórmula se puede notar la inclusión de  $G$ , la constante de gravitación universal. Newton no sabía el valor de esta constante, sólo explicó que se trata de una constante universal, indicó que se trata de un número bastante pequeño, e indicó la unidad de medida que incluye.

Sólo mucho tiempo después hubo las posibilidades técnicas necesarias para calcular su valor, y ni aún en la actualidad se puede precisar su valor con mucha exactitud. En 1798 se hizo el primer intento de medición (véase experimento de la balanza de torsión) y en la actualidad, con técnicas de la mayor precisión posible se llegó a estos resultados:

$$G = 6,67408(31) \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$$