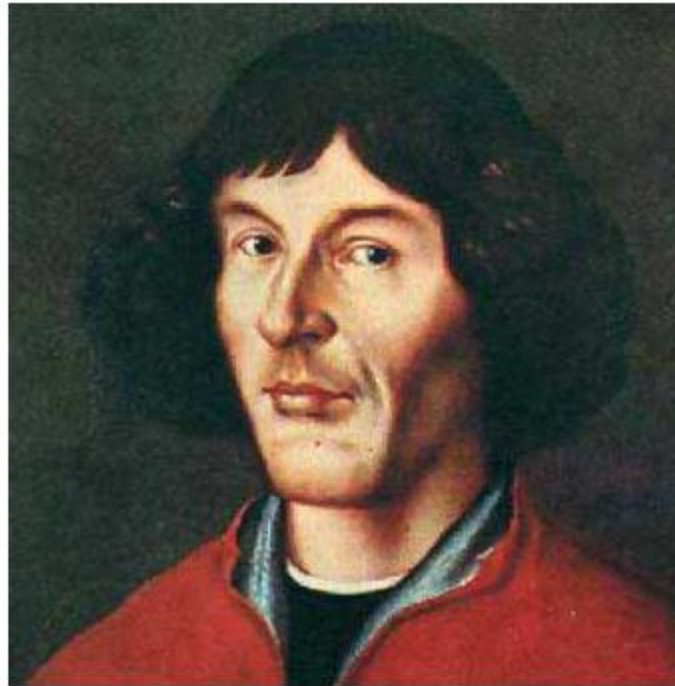




# La imagen del Universo: De la Antigüedad al Mundo Moderno

## Nicolás Copérnico: La Tierra no es el centro del universo

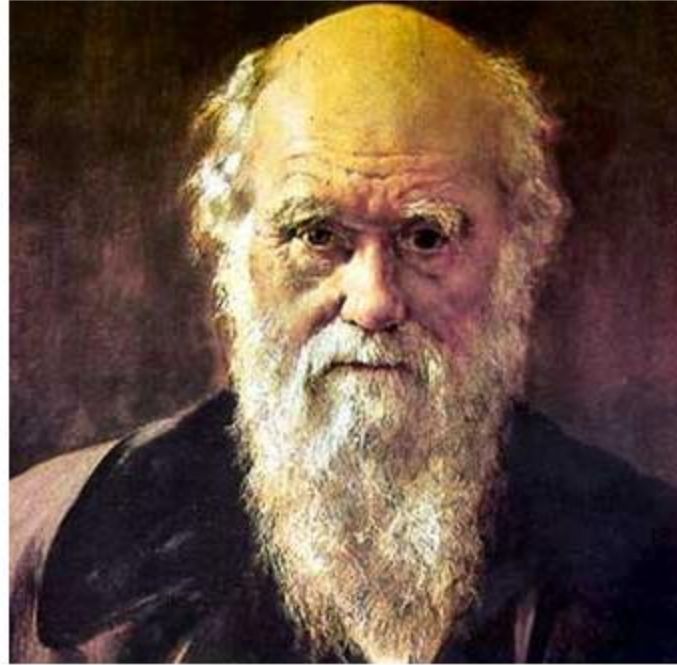


I: Nicolás Copérnico

En este primer punto, Freud habla de cómo el hombre creyó que la Tierra, su hogar, se encontraba en el centro del universo, y que el resto de astros se movían alrededor de ella describiendo órbitas. Entonces llegó Nicolás Copérnico en el siglo XVI y mostró al mundo cómo la Tierra no era el centro del universo, si no que al igual que otros planetas giraba en torno al Sol. De este modo, el amor propio del ser humano se encontró con su primera afrenta, la cosmológica.



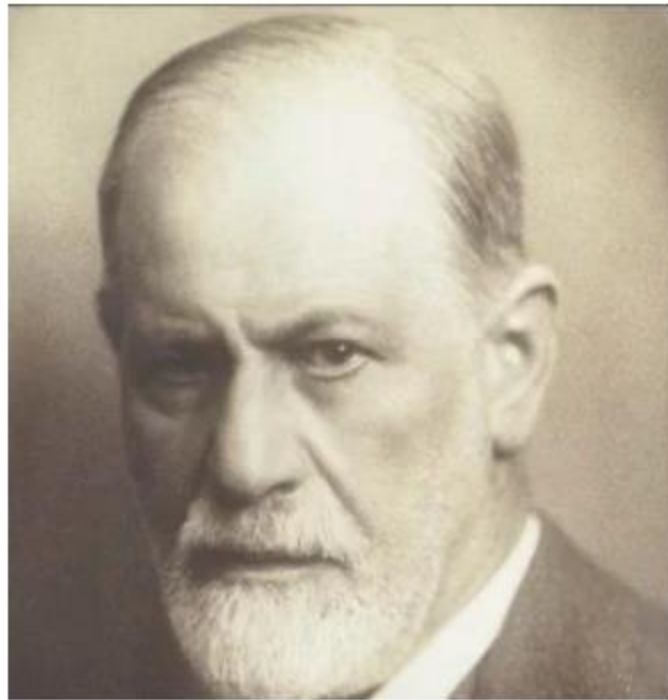
## Charles Darwin: El hombre es un animal más



II: Charles Darwin

En el segundo punto, Freud expone cómo el hombre a lo largo de la historia se ha mostrado superior al resto de animales creyéndose diferente e interponiendo un abismo entre los animales y el ser humano. Entonces Darwin llegó en el siglo XIX y mostró al mundo su teoría de la evolución, haciendo con ella que el hombre no fuera más que cualquier otro animal. Y no sólo eso, si no que el hombre que conocemos no es ni siquiera la cumbre de la evolución, que está por llegar. Con ello llegó la segunda afrenta dañando al narcisismo humano, la biológica.

# Sigmund Freud: No somos dueños de nosotros mismos



III: Sigmund Freud

En el tercer punto, Freud comenta como el hombre pese a haber sido duramente herido en dos ocasiones por Copérnico y Darwin, aún se sabe dueño de sí mismo. Su propia conciencia, su percepción interna de la que es dueño, le permite tomar decisiones que armonicen con sus necesidades dejando de lado toda decisión que no esté acorde con la misma. Entonces llegó la psicología moderna, la que hirió una vez más al ser humano al mostrar que una persona no es ni siquiera dueño de su propia casa. Con lo que llegamos a la tercera y definitiva afrenta, la psicológica.

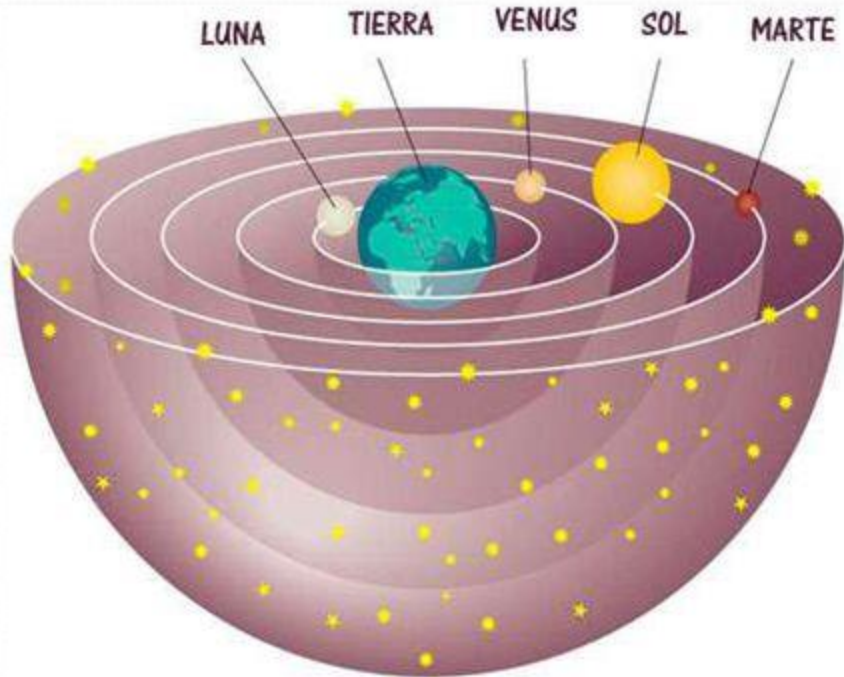




**Aristóteles (IV A.C.) concebía un cosmos en el que la Tierra, centro del Universo, se encontraba rodeada de esferas puras donde se situaban los astros. Desde la esfera de las estrellas, movida por la fuerza divina, el movimiento se transmite hasta la más cercana, la lunar.**

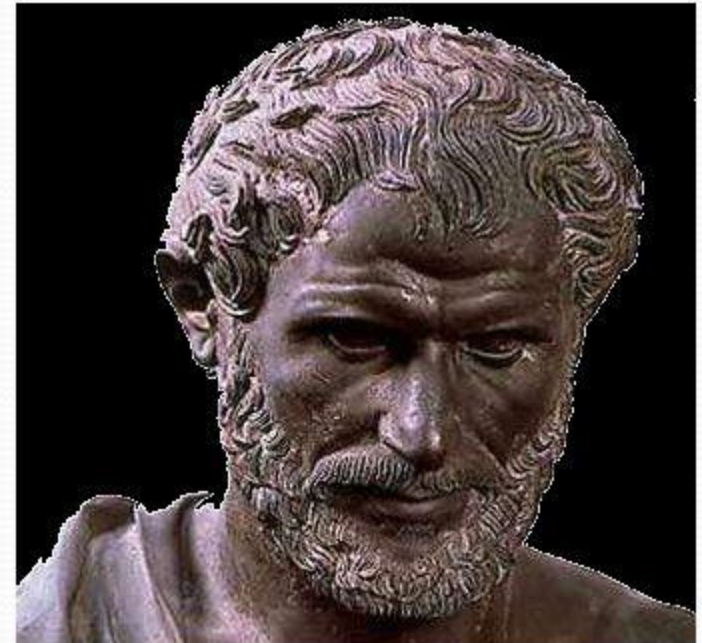


## COSMOGONÍA DE EUDOXUS DE CNIDUS Y ARISTÓTELES



Discípulo de Platón, Eudoxus de Cnido (410-355 aC) expuso por primera vez el concepto de esferas celestes.

Aristóteles (384-322 aC), también discípulo de Platón, extendió el modelo geocéntrico



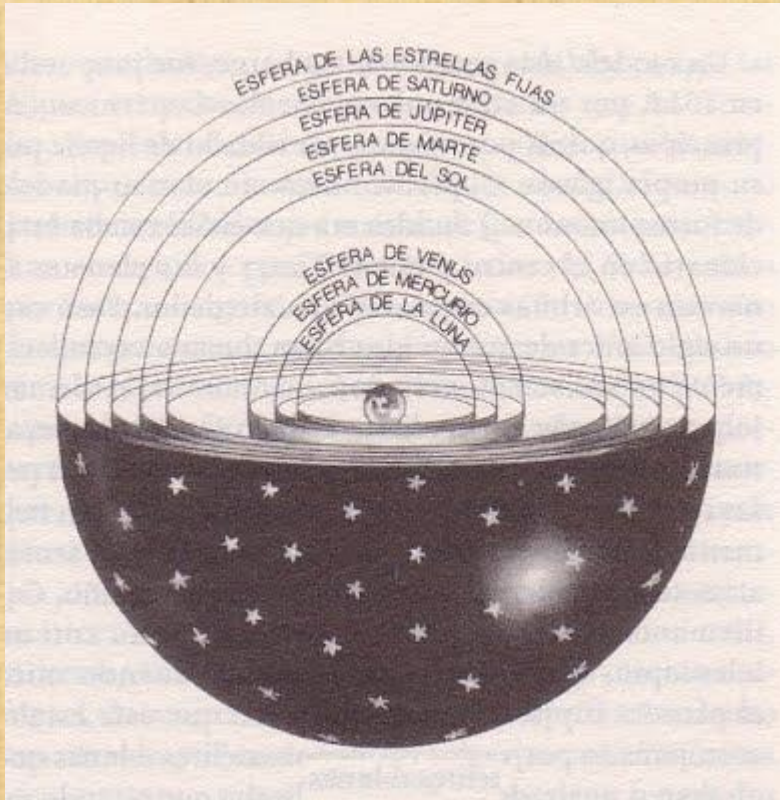
# ORIGEN DEL UNIVERSO DE LAS ESFERAS

En lugar de bandas, Eudoxo, el alumno de Platón, desarrolló un modelo planetario usando esferas concéntricas para todos los planetas, con tres esferas cada una para sus modelos de la Luna y el Sol y cuatro para los modelos de los otros cinco planetas, habiendo así 26 esferas en total.





# Esferas de Calipo



Calipo de Cícico, alumno de Eudoxo, modificó este sistema, usando cinco esferas para sus modelos del Sol, Luna, Mercurio, Venus y Marte y reteniendo cuatro esferas para los modelos de Júpiter y Saturno, con 33 esferas en total.

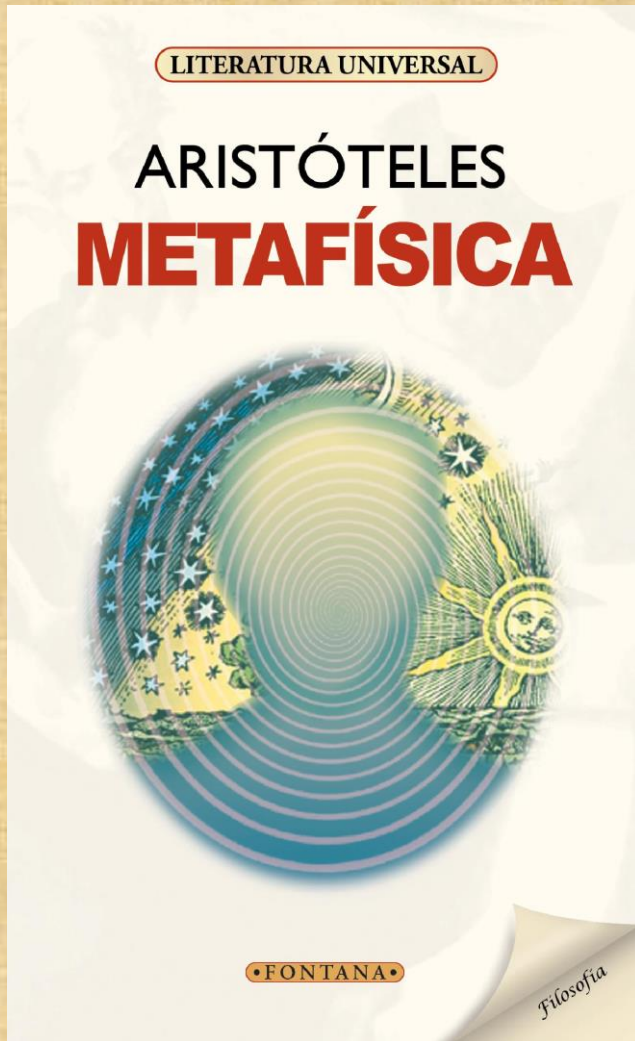
# Esferas concéntricas



Cada planeta estaba unido al más íntimo de su propio conjunto particular de esferas. Aunque los modelos de Eudoxo y Calipo califican cualitativamente las características principales del movimiento de los planetas, no explican exactamente estos movimientos y por lo tanto no pueden proporcionar predicciones cuantitativas.



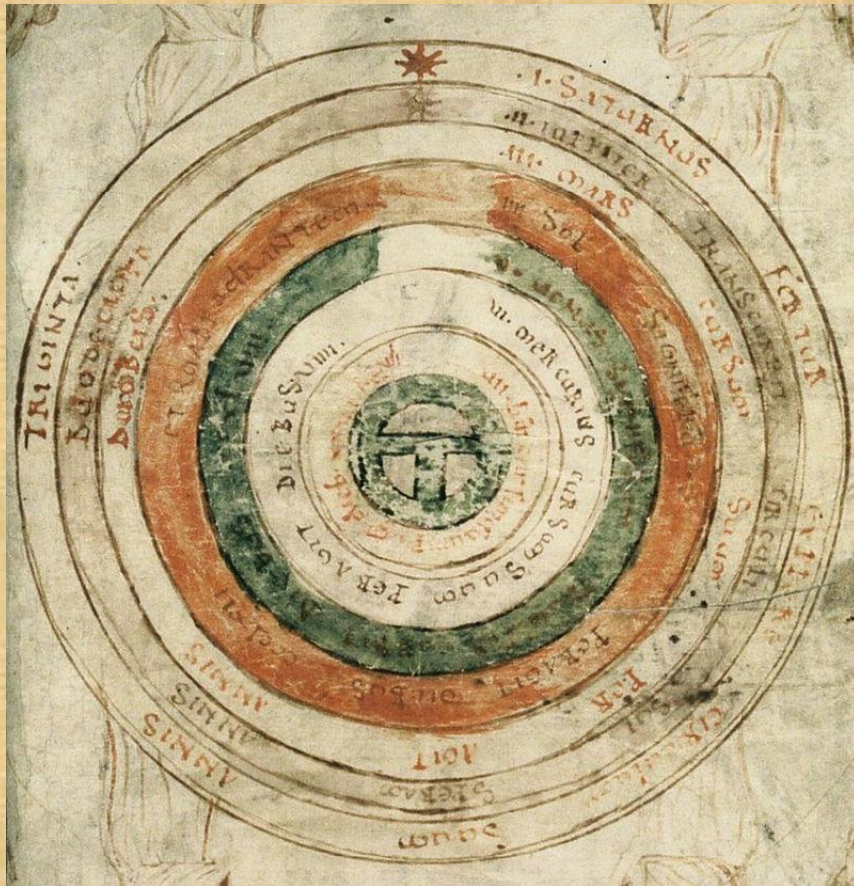
# Las esferas para Aristóteles



En su *Metafísica*, Aristóteles desarrolló una cosmología física de esferas, basada en los modelos matemáticos de Eudoxo. En el modelo celeste completamente desarrollado de Aristóteles, la Tierra esférica estaba en el centro del universo y los planetas eran movidos por 47 o 55 esferas interconectadas que formaban un sistema planetario unificado, mientras que en los modelos de Eudoxo y Calipo cada conjunto de esferas del planeta no estaban conectados con los del próximo planeta.

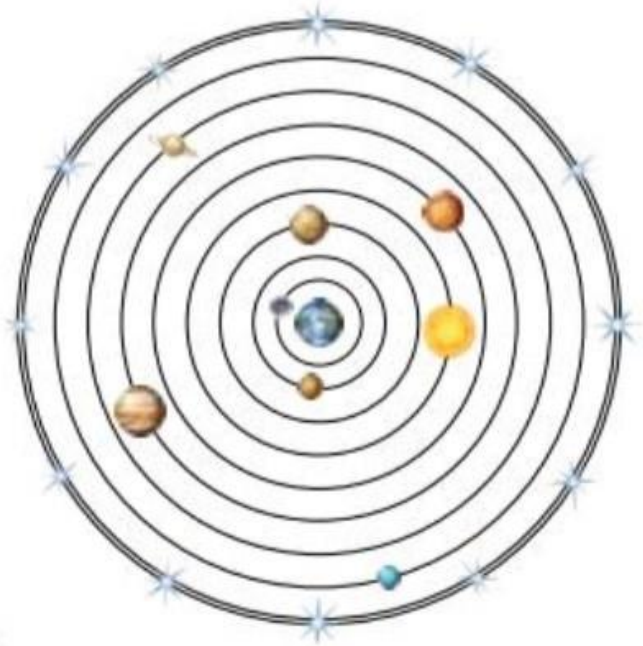


# Las esferas para Aristóteles



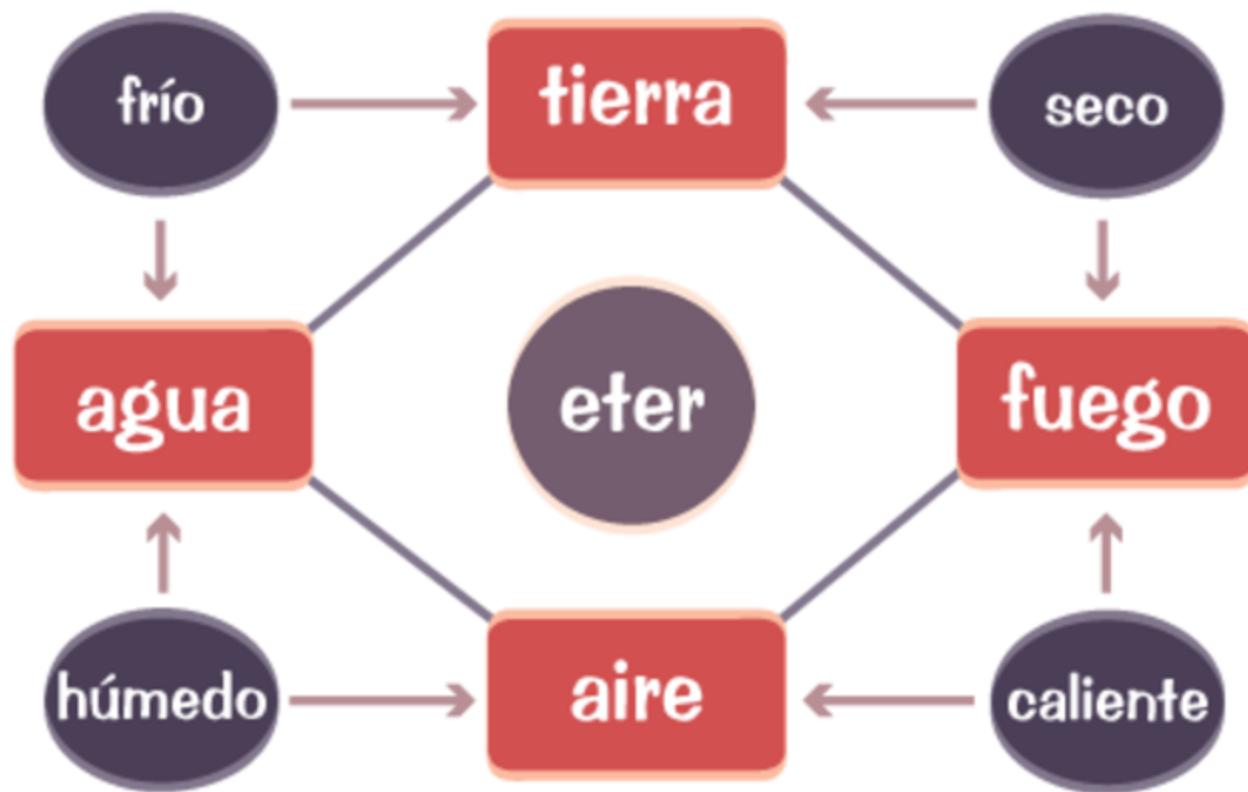
Aristóteles dice que el número exacto de esferas, y por lo tanto el número de motores, debe ser determinado por la investigación astronómica, pero añadió esferas adicionales a las propuestas por Eudoxo y Calipo, para contrarrestar el movimiento de las esferas exteriores. Aristóteles consideraba que estas esferas estaban hechas de un quinto elemento inmutable, el éter.

El cosmos aristotélico vincula, por tanto, el movimiento de las estrellas con el mundo que nos rodea: existe una relación entre el movimiento del motor inmóvil y el caos del mundo sublunar donde se encuentran los seres sometidos a una constante degradación. Es un universo en el que todos tienden hacia un fin, su lugar natural. Este sistema, como ya se ha mencionado, se conoce como **teleológico**.



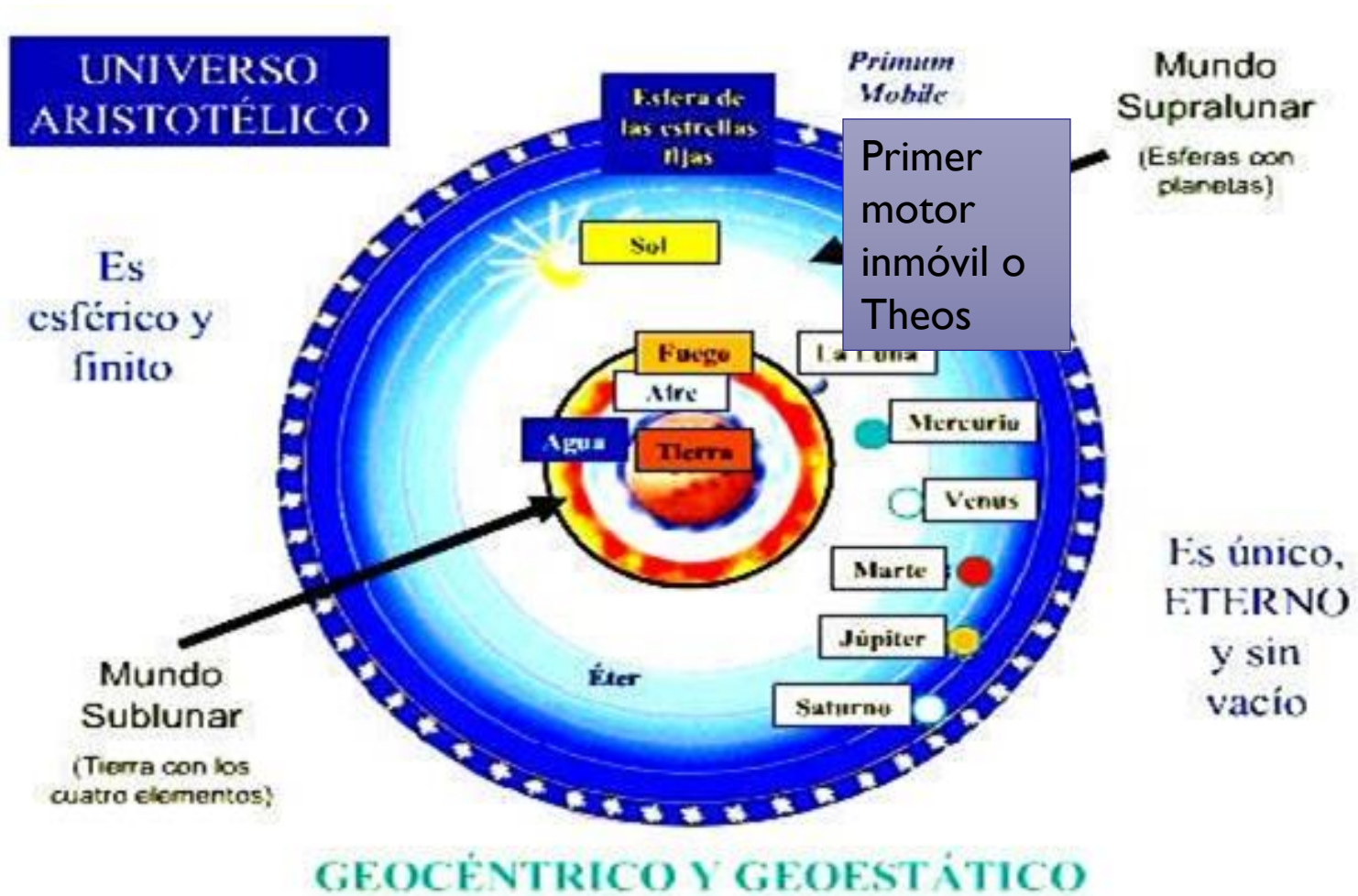
### **El universo aristotélico**

En la cosmovisión aristotélica, la Tierra ocupa el centro del universo y los planetas, la Luna y las estrellas giran a su alrededor. Cada cuerpo celeste está incrustado en una esfera, y a las esferas se encuentran una dentro de otra.





# Universo Aristotélico



## NÓESIS NOÉSEOS

Aristóteles considera a este primer motor la expresión de "Dios", cuya actividad consiste en lo más excelso posible: la contemplación de lo más excelso, que es él mismo, el pensamiento del pensamiento (nóesis noéseos) por tanto.

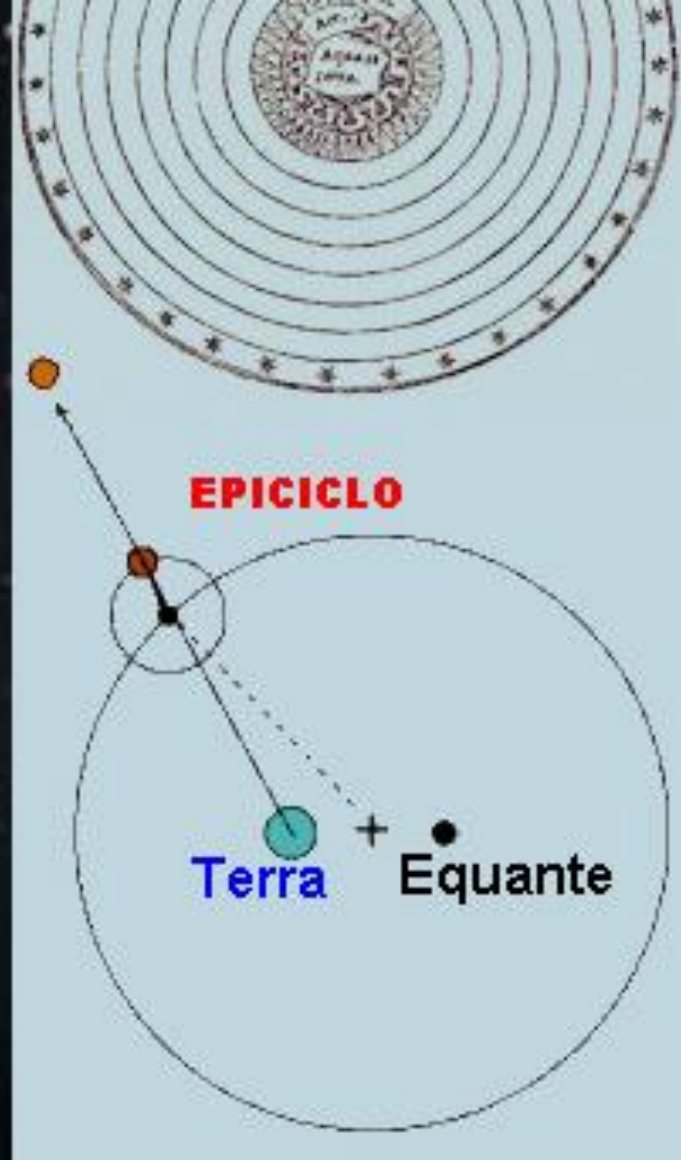
# Claudio Ptolomeo



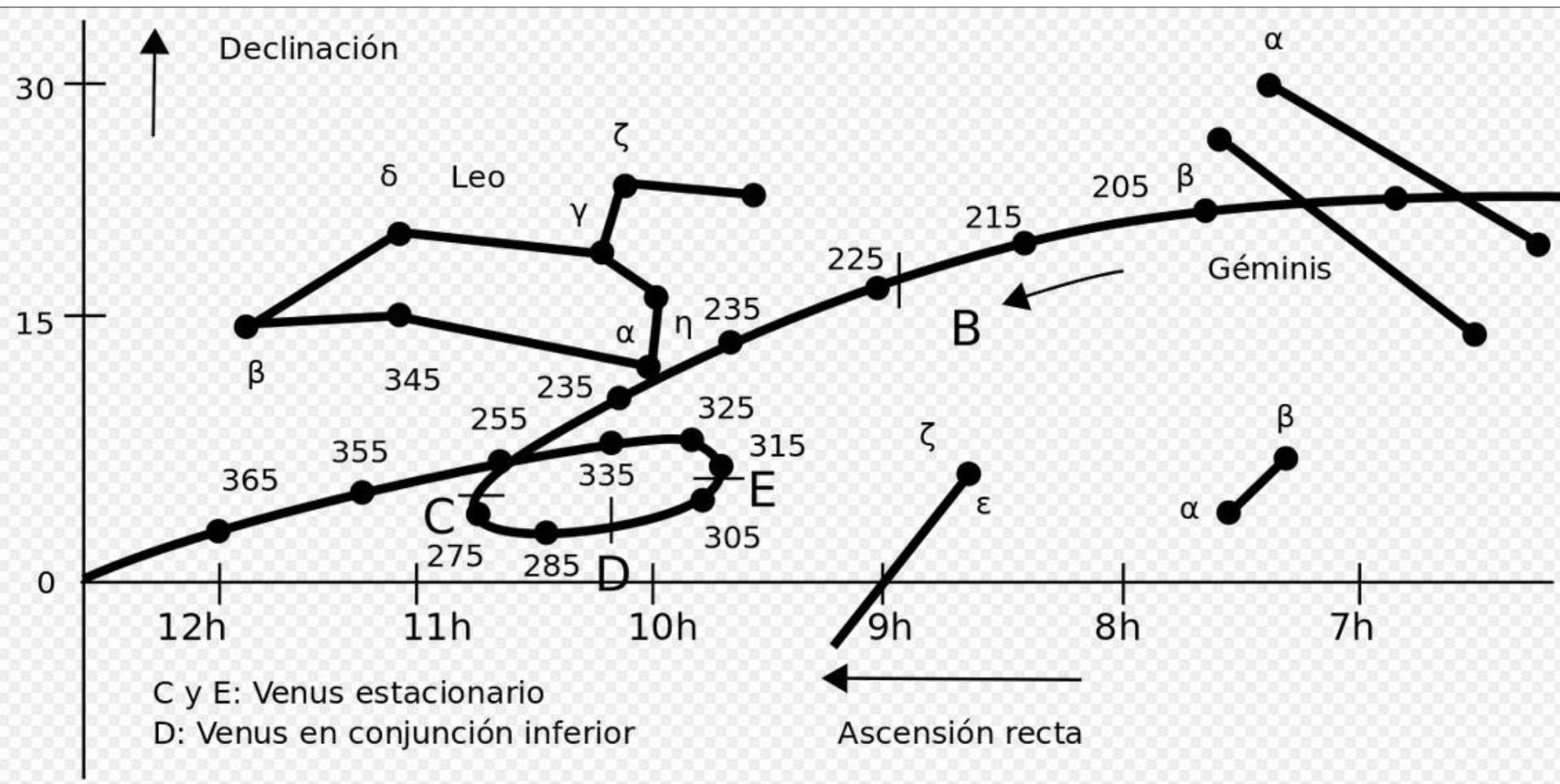
Claudio Ptolomeo (en latín, Claudius Ptolemaeus, y en griego, Κλαύδιος Πτολεμαῖος [Klaudios Ptolemaios]; Ptolemaida Hermia, c. 100 d. C.-Canopo, c. 170 d. C.) fue un astrónomo, astrólogo, químico, geógrafo y matemático griego del período helenístico.

Nació en el siglo I o II y falleció a finales del siglo II. Vivió y trabajó en Egipto (se cree que en la famosa Biblioteca de Alejandría). Fue autor del tratado astronómico conocido como Almagesto (en griego, *Hè Megalè Syntaxis*; traducido al español como *El gran tratado*).





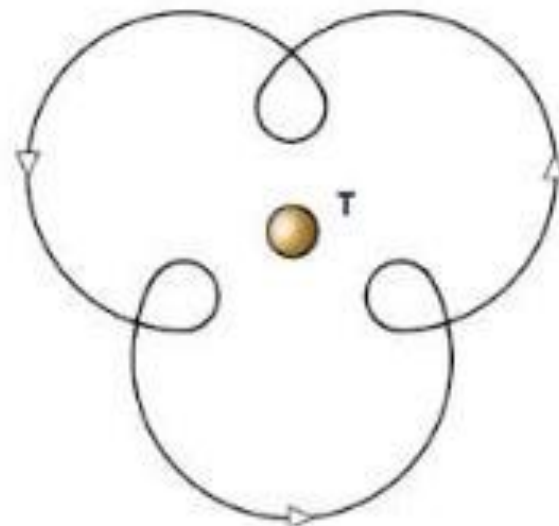
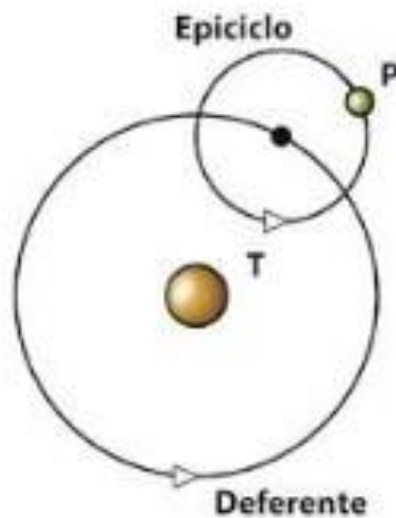
**Para expresar el funcionamiento del Universo y adecuarlo a la observación, Ptolomeo (I – II) tuvo que hacer uso de epiciclos, puntos excéntricos y ecuantes, para dar cuenta de las retrogradaciones y variaciones en la distancia y la velocidad de los astros respecto a la Tierra.**

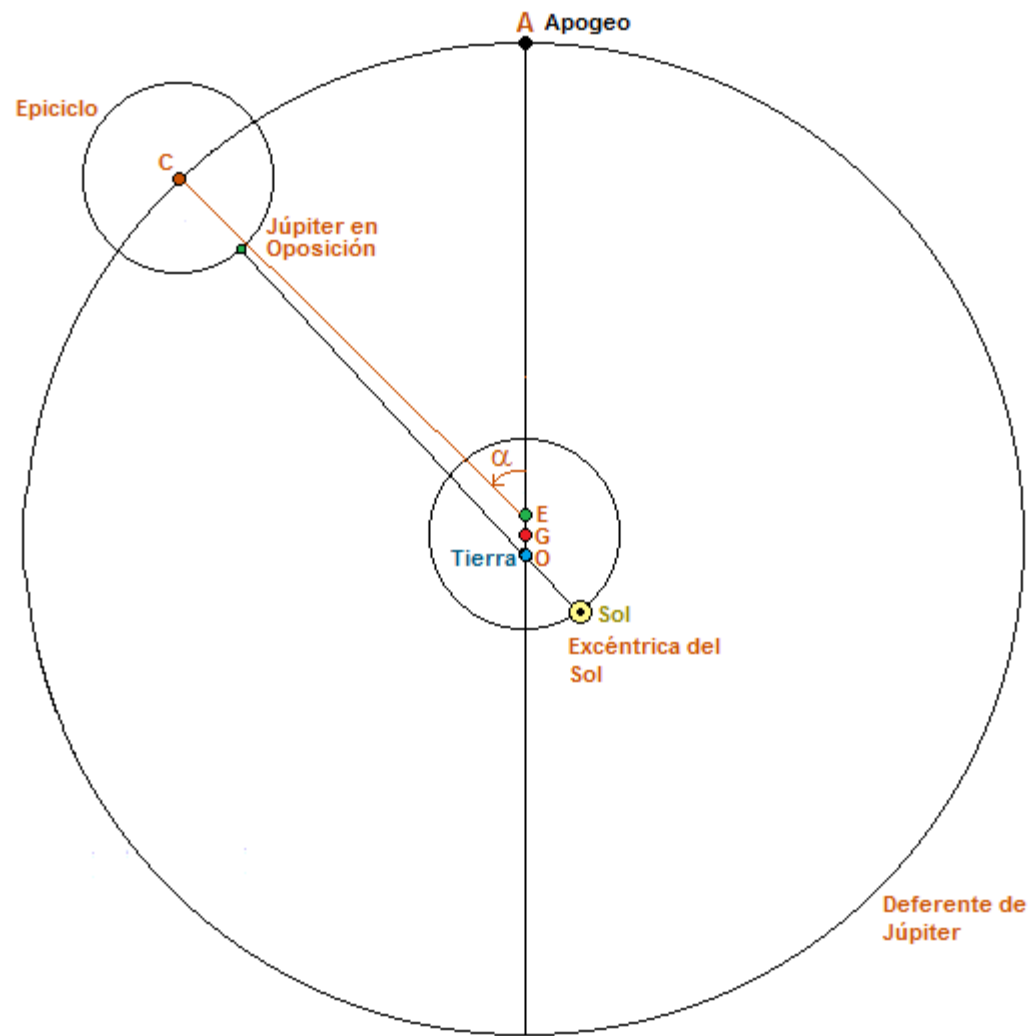


La retrogradación ocupa una parte mínima del movimiento del planeta que normalmente se desarrolla en sentido directo. Las duraciones de la retrogradación para los diferentes planetas son para Mercurio 23 días, Venus 42 días, Marte 73 días, Júpiter 123 días y Saturno 138 días.

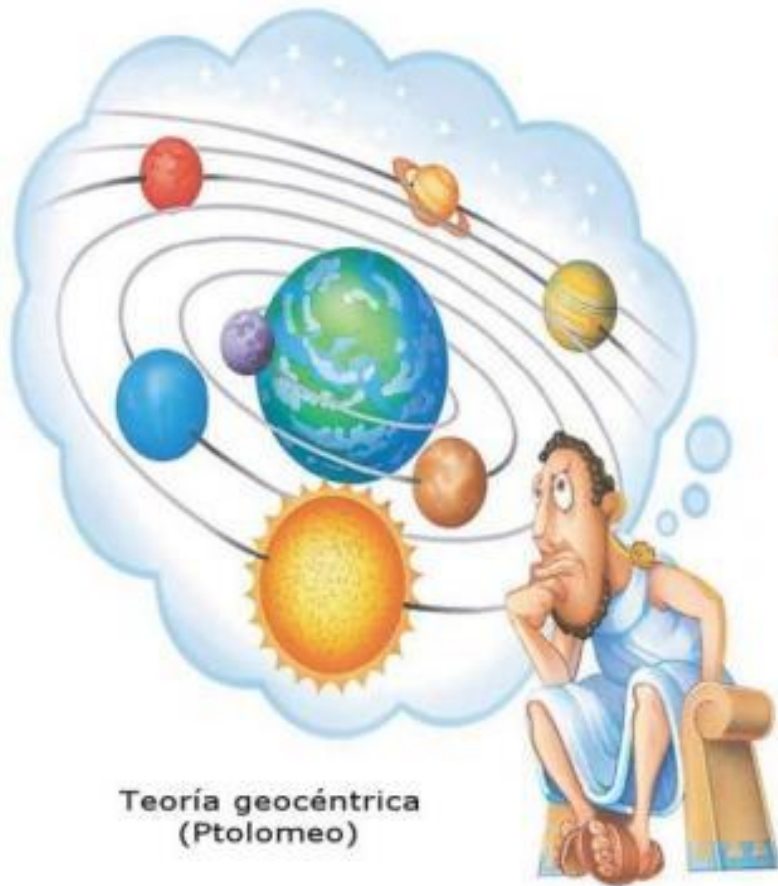


- **Teoría de los epiciclos y deferentes.** Los planetas con retrogradación no giran alrededor de la Tierra directamente, sino que lo hacen sobre un punto imaginario que sí gira en torno a la Tierra. Un epiciclo es el movimiento circular que realizaría un planeta alrededor de un punto central. El deferente es el desplazamiento de dicho punto central alrededor de la Tierra. Cuando un planeta se mueve en un epiciclo que a su vez se mueve por el deferente, la combinación de ambos movimientos produce el movimiento de los planetas y explica y predice su avance y su retroceso. Con esta explicación, se salvaba el principio según el cual los movimientos celestes eran circulares y uniformes.









**Teoría geocéntrica  
(Ptolomeo)**



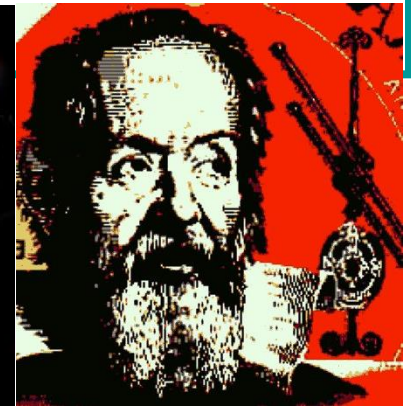
**Teoría heliocéntrica  
(Copérnico)**

# LA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA. EL DESARROLLO DE LA CIENCIA

La ciencia moderna, que se asienta definitivamente en el siglo XVII y que influye de modo directo en el surgimiento de la filosofía moderna con Descartes, culminó gracias a dos factores de tipo filosófico-cultural:

- la importancia dada a la observación y experimentación por parte de los filósofos y científicos ya desde el siglo XIV. Francis Bacon y Galileo Galilei inciden en la importancia del método científico y en los objetivos de la ciencia.
- el descubrimiento renacentista de los científicos griegos, especialmente del pitagorismo y de Arquímedes.

Copérnico conoció la tradición pitagórica, y la actitud de Kepler ante el universo es netamente pitagórica. Por otra parte, Arquímedes ofrecía un modelo de ciencia que será seguido por Galileo. Y con éste, acabamos de nombrar a los tres grandes protagonistas de esta revolución científica, cuyo campo de batalla más espectacular se produjo en el ámbito de la astronomía.



- El principio de **economía** o navaja de Occam, que afirma que «la explicación más sencilla es la correcta».
- El principio de la **regularidad** de la naturaleza, según el cual los sucesos de la naturaleza se producen siempre de la misma manera en cualquier lugar y en cualquier momento.
- El principio de **conservación**, que explica que en el universo hay valores, como la energía, que se conservan a pesar de las transformaciones que puedan producirse.
- El principio de **continuidad**, según el cual en la naturaleza no hay saltos, de manera que magnitudes como la energía cambian de forma continuada, no abrupta.



FRANCIS BACON

1561-1626

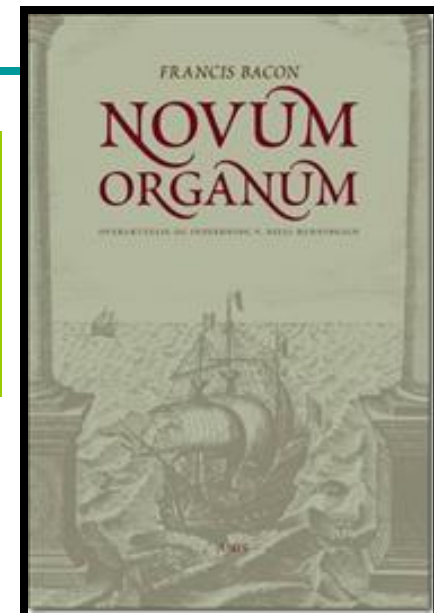
Es uno de los filósofos renacentistas que se preocupa por la ciencia



Combate el aristotelismo con su obra "*Novum Organum*", ya que para Aristóteles la ciencia es un saber teórico, cuyo fin no es otro que la contemplación misma de la verdad. Bacon subraya que la ciencia no es la contemplación de la naturaleza, sino el dominio de esta: "a la naturaleza se la domina obedeciéndola". Se conoce para dominar, se domina para transformar, se transforma para beneficio de la vida humana. A la ciencia se unen la técnica y la idea de progreso

El hombre puede dominar la naturaleza y el instrumento adecuado para ello es la ciencia.

Es necesario conocer las leyes que rigen los fenómenos naturales para utilizarlos en beneficio propio, y proceder en la ciencia siguiendo un método.



**Ídolos de la tribu**

Comunes a todos los hombres  
**Naturaleza humana**

*La tendencia a suponer en la naturaleza un orden mayor al que realmente existe*

**Ídolos de la caverna**

Particulares de cada individuo  
**Personalidad, cultura, formación.**

*Aferrarse siempre a lo antiguo o a lo nuevo, preferir exclusivamente la especulación o la experiencia*

**Ídolos del foro**

Relación entre los hombres  
**La fuerza de las palabras**

*Cuando las palabras sustituyen la realidad es difícil dominarlas hasta recurriendo a las definiciones*

**Ídolos del teatro**

Sistemas filosóficos anteriores  
**Métodos y lógica ficticia**

*Principios y axiomas que prevalecen por tradición, credulidad y negligencia*

Imágenes falsas que se apoderan de la mente y tienden a reaparecer

**Los ídolos de la mente según Francis Bacon**



# COPÉRNICO. 1473-1543

La física aristotélica, que sufrió en estos tiempos reiterados ataques, no pudo resistir la teoría de **Nicolás Copérnico (1473-1543)**, creador del sistema heliocéntrico en su obra "*Las revoluciones de los cuerpos celestes*". Basándose en difíciles cálculos matemáticos sobre la trayectoria de los planetas, Copérnico llegó a la conclusión de que la tierra gira en torno al sol, y no a la inversa, como se había creído erróneamente.



Ptolomeo

El sistema ptolemaico, que afirmaba lo contrario, y que estaba vigente hasta el momento, ofrecía al hombre de la época **mayores ventajas** que el sistema copernicano:

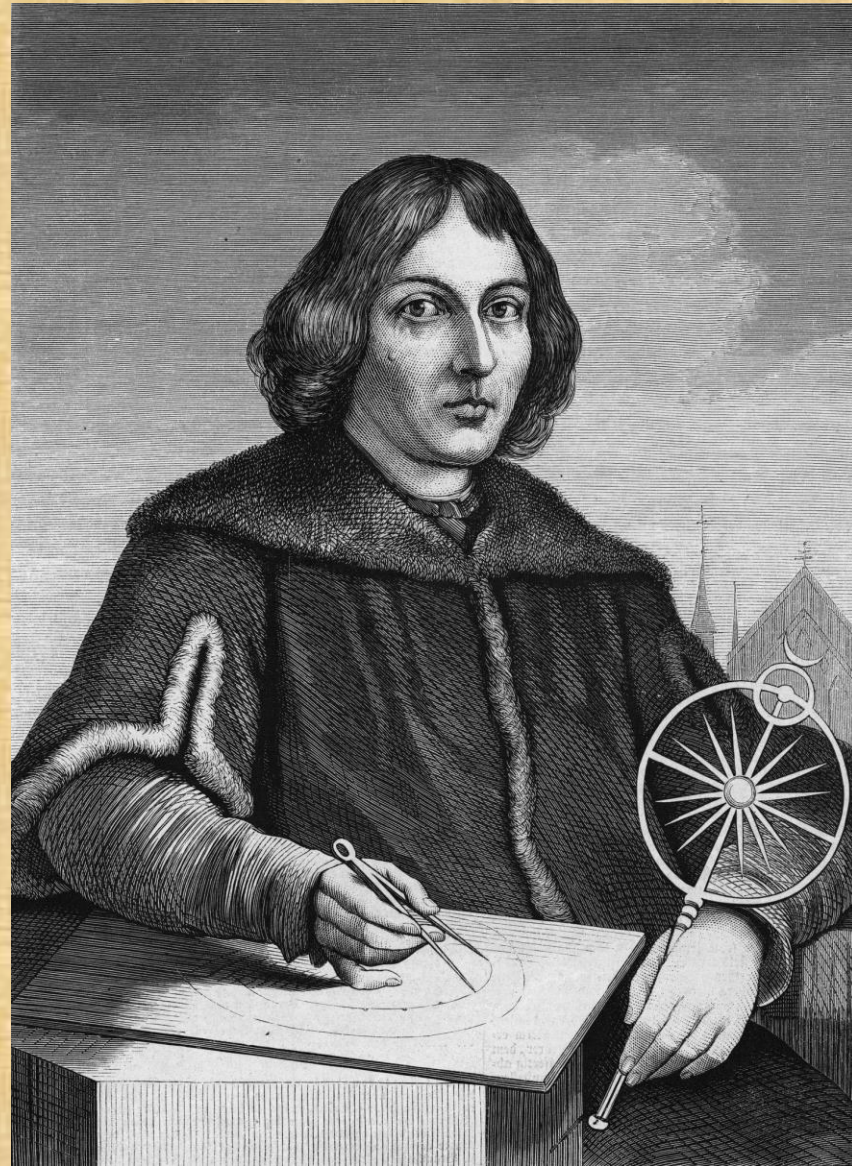
1. Daba una **explicación de las apariencias**, de lo que inmediatamente vemos (lo que muestran los sentidos) cuando observamos los movimientos de los astros.
2. Había llegado a ser **bastante exacto** a la hora de predecir eclipses.
3. Al situar a la **tierra fija en el centro** del sistema, colocaba con ello al **hombre en un lugar privilegiado, en torno al cual gira todo**; y esto era más aceptable que el considerar a la tierra como un astro más, que gira alrededor del sol.



## BIOGRAFÍA RESUMIDA DE NICOLÁS COPÉRNICO

Copérnico nació el 19 de febrero de 1473 en la ciudad de Toruń (actual Polonia), en el seno de una familia acomodada. A los 10 años, tras el fallecimiento de su padre, su tío Ukasz Watzenrode decidió hacerse cargo de su educación.

Ingresó en la Universidad de Cracovia a los 18 años y posteriormente se trasladó a Italia a estudiar derecho canónico. Allí, en Italia, en plena época renacentista, se interesó por diversas disciplinas como la pintura, las matemáticas, la astronomía, la filosofía e incluso la medicina. Aunque llegó a destacar en algunas de ellas, en la astronomía encontró su mayor pasión, dedicando el resto de su vida al estudio del espacio estelar.





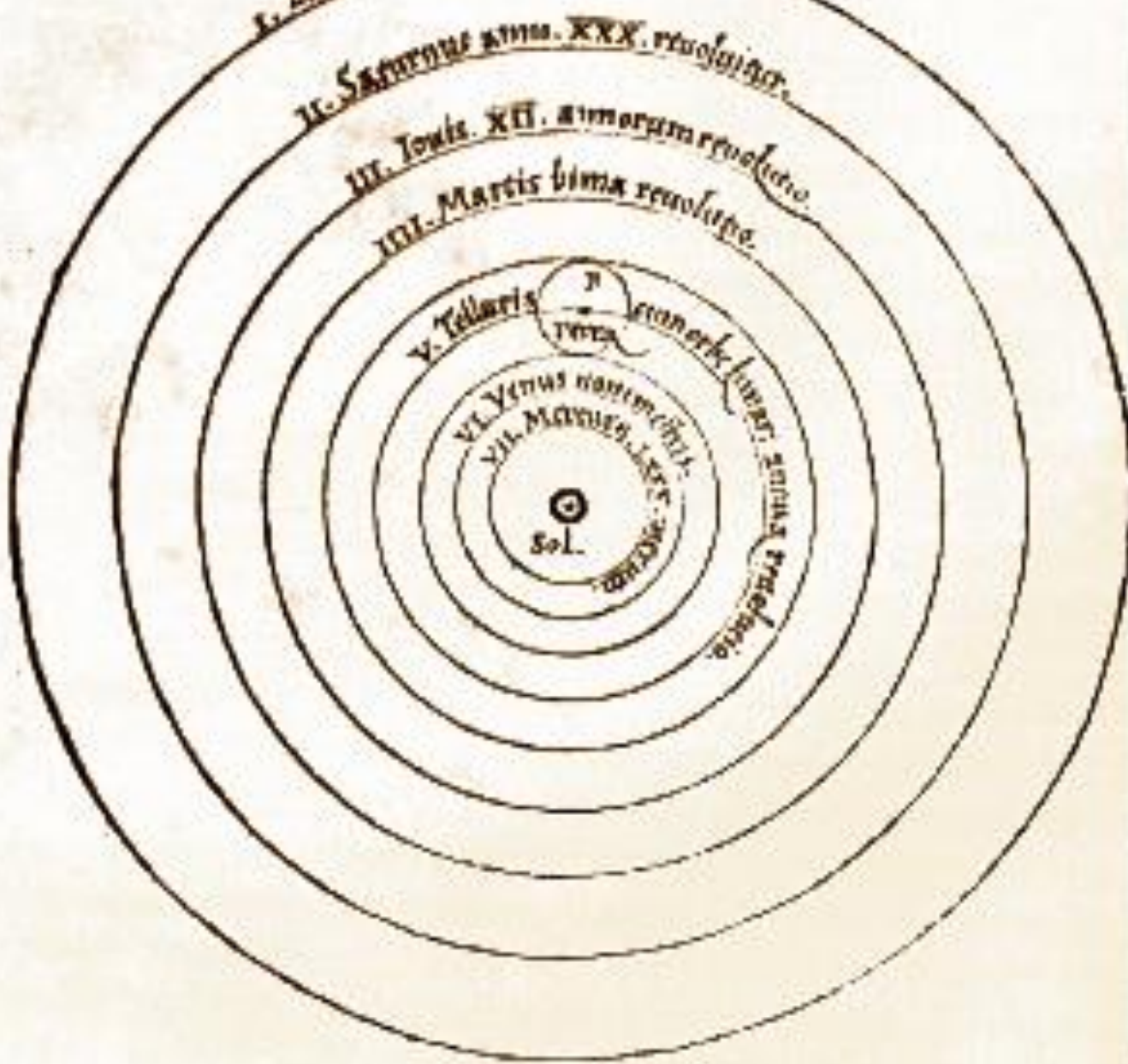
# OBRA PRINCIPAL DE COPÉRNICO

**De revolutionibus orbium coelestium** (Sobre los giros de los orbes celestes) es la obra fundamental del astrónomo Nicolás Copérnico, donde expone su teoría heliocéntrica.

Comenzó a escribirla en 1506, terminándola en 1531, aunque no se publicó hasta el año de su muerte, en 1543, dedicándola al papa Paulo III.

Copérnico pensaba que el sistema ptolemaico era demasiado complicado, y quería proponer un modelo alternativo más simple y correcto.





**Copérnico (XV – XVI) desarrolló la teoría heliocéntrica según la cual es la Tierra la que gira alrededor del Sol, y no al contrario.**



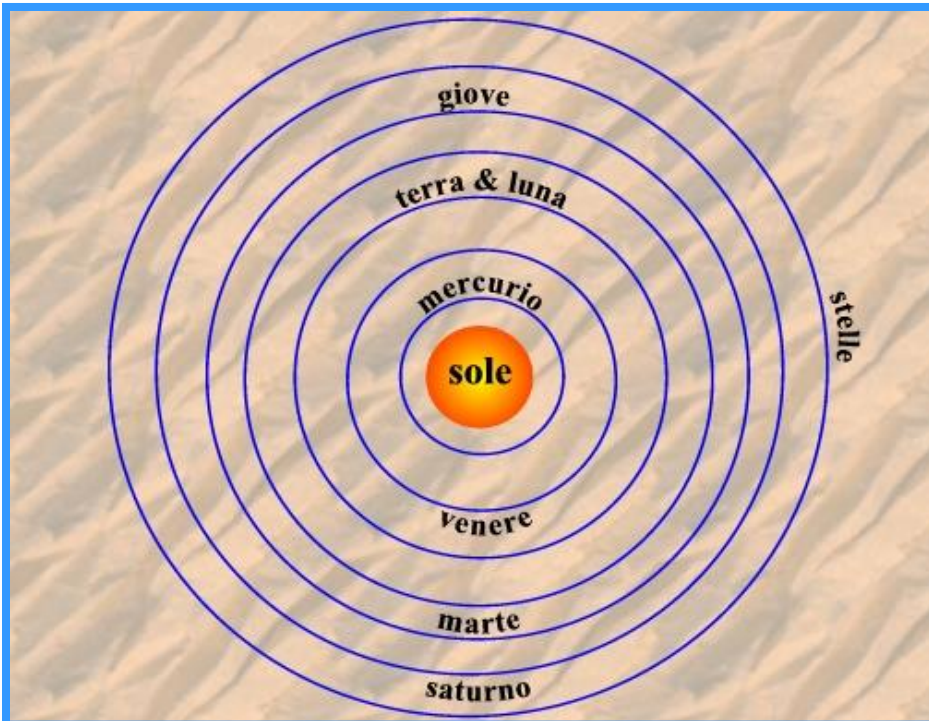
# Hipótesis de Copérnico

- **1:** El mundo (universo) es esférico.
- **2:** La Tierra también es esférica.
- **3:** El movimiento de los cuerpos celestes es regular, circular y perpetuo o compuesto por movimientos circulares. Se distinguen varios tipos de movimientos:
  - **3.1:** Movimiento diurno: Causado por la rotación de la Tierra en 24 horas y no de todo el universo.
  - **3.2** Movimiento anual del Sol: Causado por la traslación de la Tierra alrededor del Sol en un año.
  - **3.3:** Movimiento mensual de la Luna alrededor de la Tierra.

# Hipótesis de Copérnico

- **3.4:** 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.
- **4:** El cielo es inmenso respecto a la magnitud de la Tierra.
- **5:** 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.

La hipótesis copernicana simplificó notablemente el universo ptolemaico, explicando satisfactoriamente todos los fenómenos astronómicos: la sucesión de la noche y el día, las estaciones del año, las fases de la luna, etc.

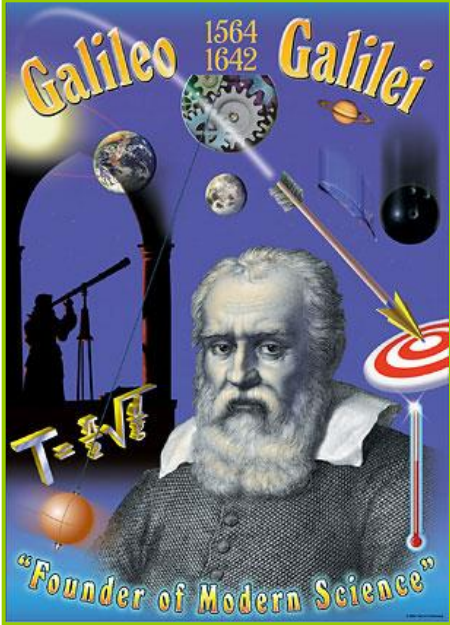


La revolución copernicana desencadenó una gran oposición en todos los medios oficiales de la época, sobre todo, por parte de la jerarquía eclesiástica. Dicha oposición se extendió a toda Europa y culminó con el proceso de Galileo. A pesar de todo, en los medios científicos, la nueva doctrina fue ganando adeptos entre los más prestigiosos pensadores de la época.

Kepler y Galileo aceptan de inmediato el sistema copernicano frente al de Ptolomeo, lo cual supone un paso enorme en el ámbito de la epistemología; supone dar primacía a la razón sobre los sentidos, ya que aceptan una teoría menos evidente (el movimiento de la tierra no se aprecia por los sentidos), en lugar de otra que reúne en sí dos condiciones importantes: el estar ya aceptada y el ser evidente a los sentidos (el sol se mueve, sale, se pone).

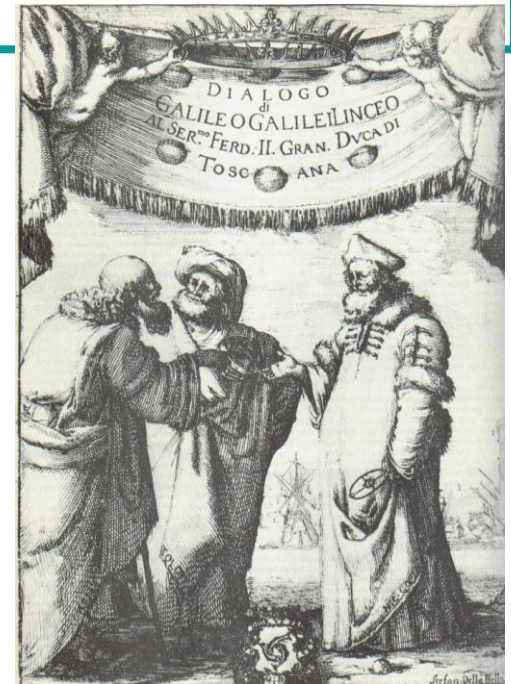


## GALILEO GALILEI. 1564- 1642



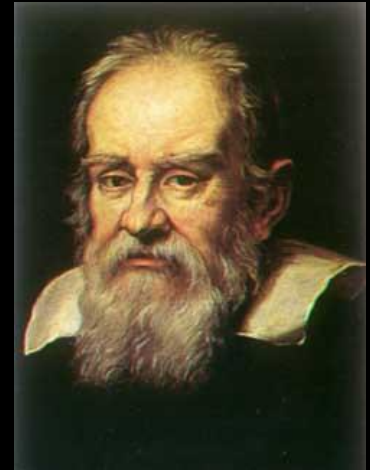
El gran artífice de la revolución científica moderna fue sin duda **Galileo Galilei (1564-1642)**. El punto de coincidencia entre Kepler y Galileo, que les hace merecedores (**junto con Descartes**) del título de primeros hombres de la modernidad, es su **insistencia en presentar sus descubrimientos en el lenguaje de las matemáticas**. Galileo sobrepasa a Kepler en esta idea pues lleva a las más extremas consecuencias el programa pitagórico. **Para él, la naturaleza está escrita en lenguaje matemático.**

Esta **lectura del mundo con ojos matemáticos chocó**, necesariamente, con los dos grandes **poderes** de la época: la **ciencia aristotélica** y la **iglesia**. Esta última le había advertido que no difundiese públicamente el sistema copernicano, pero su reacción fue publicar "**Diálogo sobre los dos grandes sistemas del mundo**", con lo cual la Inquisición terminó condenándolo a prisión perpetua y prohibiendo su libro.



# Galileo Galilei (1564-1642)

**1609** Galileo Galilei (1564-1642) observa el cielo con el telescopio e inicia la etapa de la astronomía instrumental. En los años siguientes observó: montañas en la Luna, manchas en el Sol, fases en el planeta Venus. De manera similar detectó que la Vía Láctea estaba compuesta por numerosas estrellas.

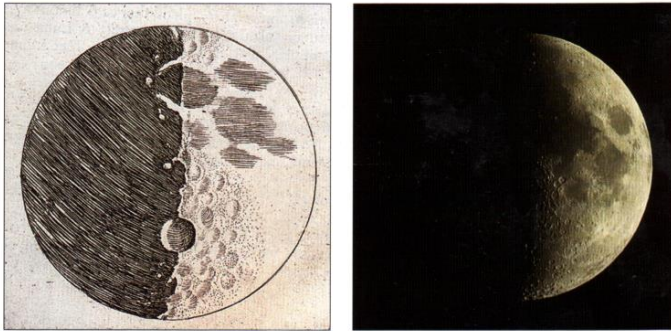


Uno de los primeros en usar experimentos para deducir leyes físicas: leyes de movimiento, velocidad, aceleración, inercia, péndulo, cuerpos cayendo.

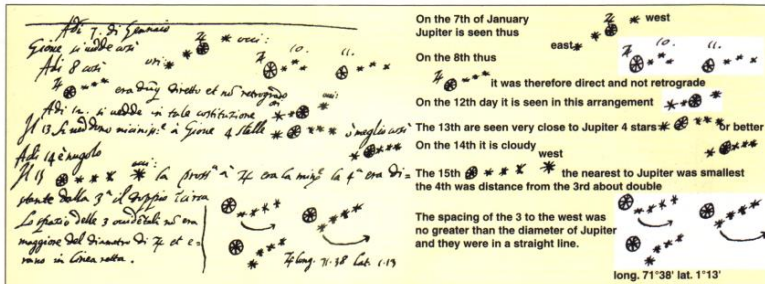
- Usó telescopios para la astronomía.
- Después de su escepticismo inicial, adoptó el modelo de Copérnico ya que las evidencias empíricas lo apoyaban.

# Descubrimientos de Galileo

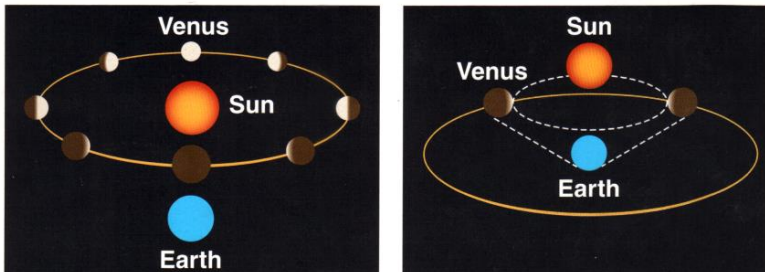
Pasachoff, The Cosmos: Astronomy in the New Millennium .  
Figure 3.1, 5.23, 5.24, 5.25



Los cuerpos celestes no son perfectos: montañas sobre la luna, manchas solares.

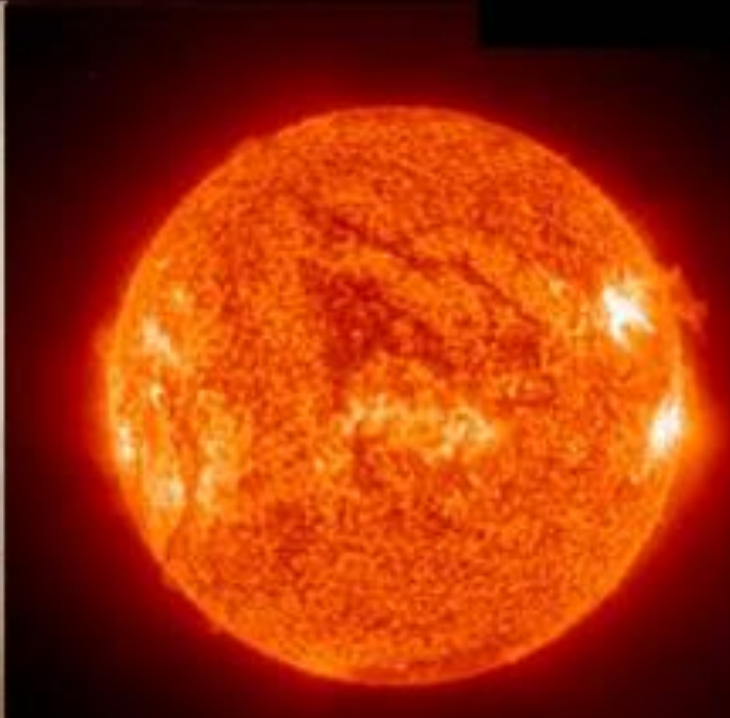


La Tierra no es solamente el centro de rotación (p.ej. Lunas de Jupiter).



Venus pasa frente y por detrás del Sol (no puede ocurrir si el sistema de Ptolomeo es correcto).





**Con el uso del telescopio, Galileo (XVI – XVII) observó elementos incompatibles con el modelo antiguo: manchas solares, relieve lunar, satélites de Júpiter, etc, por lo que apoyó el heliocentrismo.**



## **2. El experimento de la torre de Pisa (Galileo – siglo XVII)**

**A fines del siglo XVI todos creían que los objetos pesados caían más rápidamente que los livianos. Después de todo, Aristóteles había dicho que así eran las cosas.**

**Galileo arrojó simultáneamente dos pesos diferentes desde la punta de la torre inclinada de la ciudad de Pisa y observó que los dos objetos aterrizaran al mismo tiempo.**

**Su osadía demostró la importancia de tomar a la experiencia, y no a la imaginación humana, como árbitro en materias de ciencia.**

## EL PRIMER EXPERIMENTO DE GALILEO

En una mañana como todas, cuando Galileo iba a la Catedral de Pisa, un sacristán encendió la lámpara que colgaba de una cadena en la cúpula.

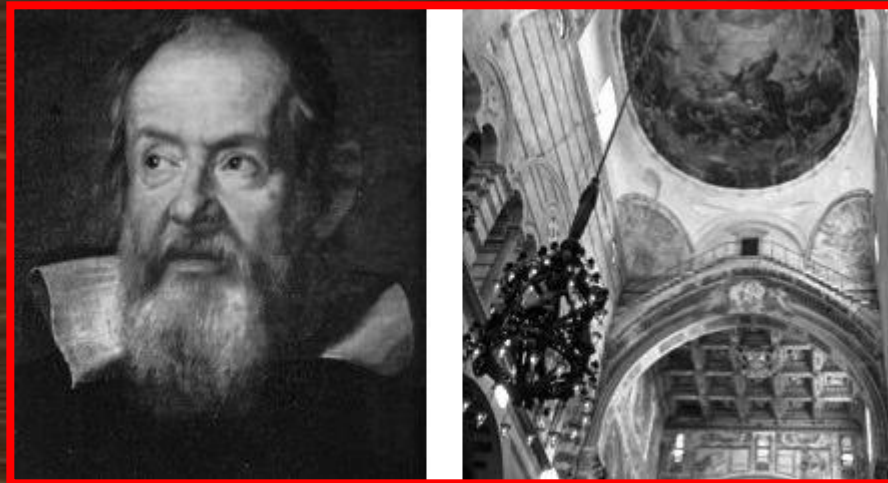
Galileo observó que la lámpara, al ser empujada por el sacristán, adquiría un movimiento oscilatorio.





## GALILEO MIDIÓ EL TIEMPO DE OSCILACIÓN

Galileo Galilei observó la regularidad del movimiento de esa lámpara, midió con su propio pulso el tiempo de oscilación y llegó a la conclusión que tardaba lo mismo en cada oscilación.



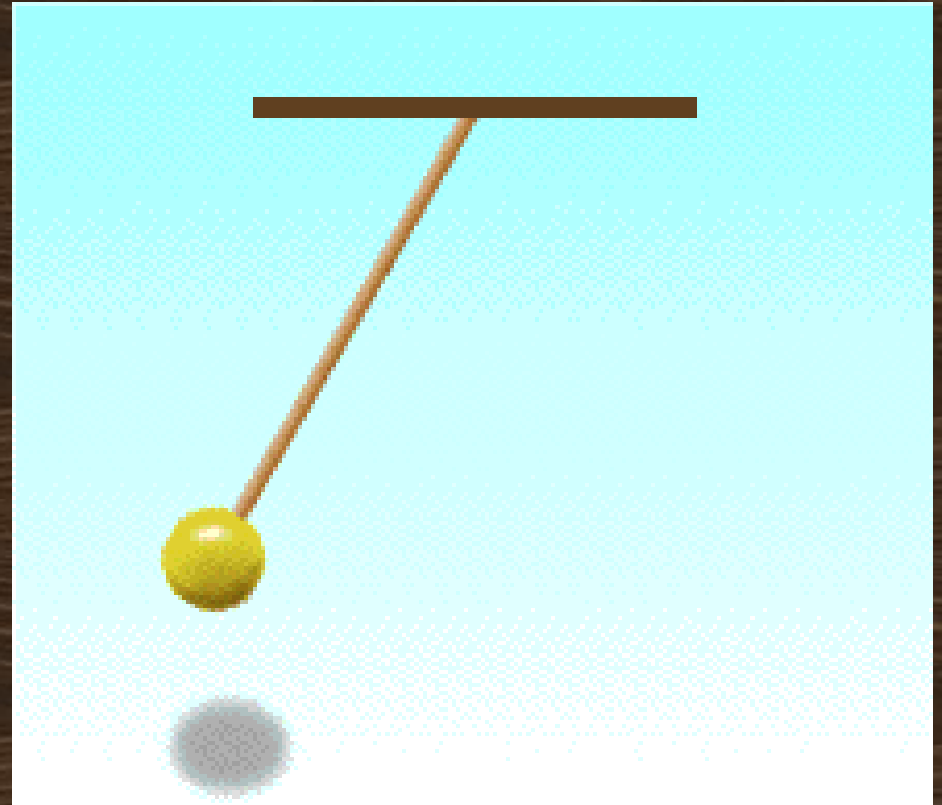
Esto lo realizó cuando tenía 17 años de edad, en el año 1581

## GALILEO REALIZA EXPERIMENTOS

Con esta idea preparó una serie de experimentos para investigar el movimiento que llamó pendular (oscilación cuerpos suspendidos).

Se construyó dos péndulos iguales, pero uno con una bola de oro y otro con una bola de madera.

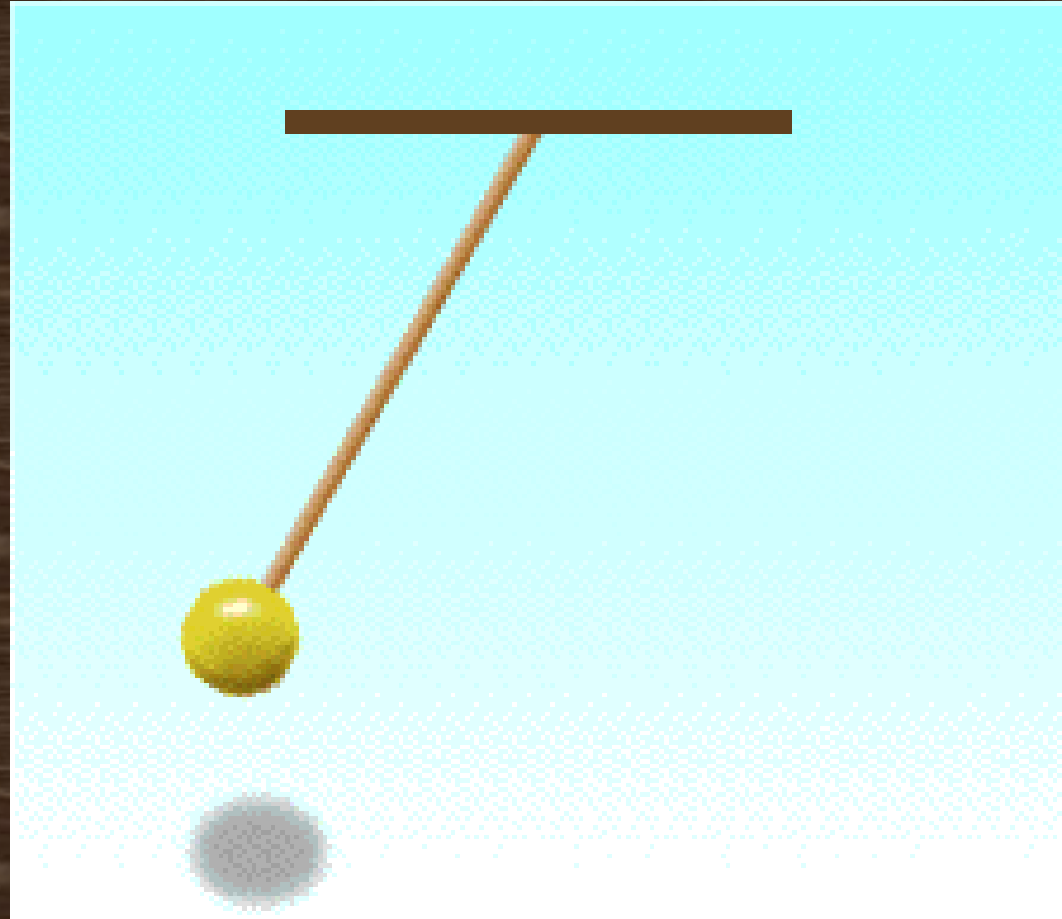
Mientras observaba uno de los péndulos, un amigo miraba el otro, contando ambos las oscilaciones.



## RESULTADOS DE LOS EXPERIMENTOS DE GALILEO

“Increíblemente, los dos tardaban el mismo tiempo en oscilar, con la condición de que ambos colgaran de una cuerda de la misma longitud”

Concluyó que  
Aristóteles  
estaba  
equivocado.

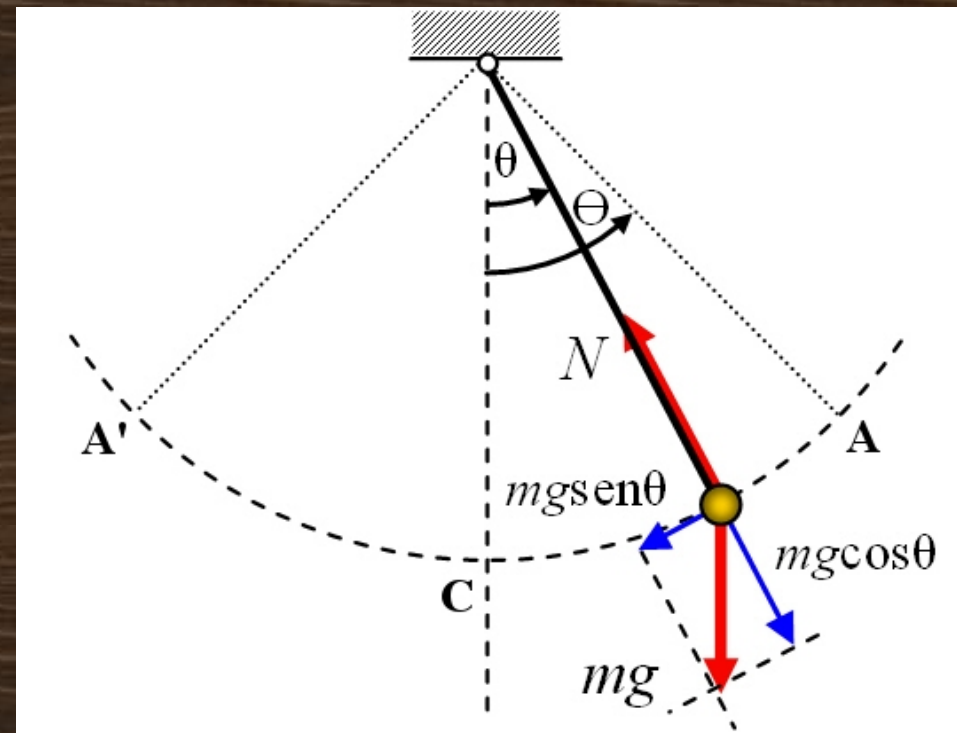




# GALILEO

## IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES INVOLUCRADAS

Las variables medibles involucradas son la longitud  $L$  de la cuerda, el tiempo  $t$  de oscilación, el ángulo  $\theta$  de inclinación y la masa  $m$  del objeto que oscila.



# Algunas consecuencias para la física aristotélica

- Al dejar de ser la Tierra el centro, toda la teoría del “lugar natural” deja de tener sentido. Ya no se puede hablar de que “los objetos pesados tienden a caer al centro de la tierra” y los “objetos ligeros tienden a ascender a los cielos”
- Si todo aquello que se mueve “es movido por otro”, ¿cómo es que en ocasiones, sin seguir en contacto la fuente del movimiento –motor- y el objeto –móvil- continúa el movimiento? (principio de inercia).
- La caída de los graves: la aceleración de los cuerpos al acercarse al suelo y la caída simultánea de cuerpos ligeros y pesados si caen desde el mismo punto de inicio
- Se termina con el carácter ontológico y teleológico del paradigma anterior. Se busca responder al “cómo” en vez del “por qué”, buscando un modelo matemático





# Tycho Brahe 1546-1601



Danés notable, el Rey Federico II le dio una isla pequeña para que construyera el mejor observatorio del mundo.

Diseñó, construyó y usó instrumentos muy precisos para medir las posiciones del cielo. Mantuvo grandes marcas por años. Ayudó a Kepler a tratar de entender el movimiento de Marte. Construyó un modelo con el Sol girando alrededor de la Tierra, pero los planetas orbitando al Sol. Encontró que los cometas se mueven entre las órbitas de los planetas (no Tolemaico). El movimiento de Marte aún no se explica completamente.

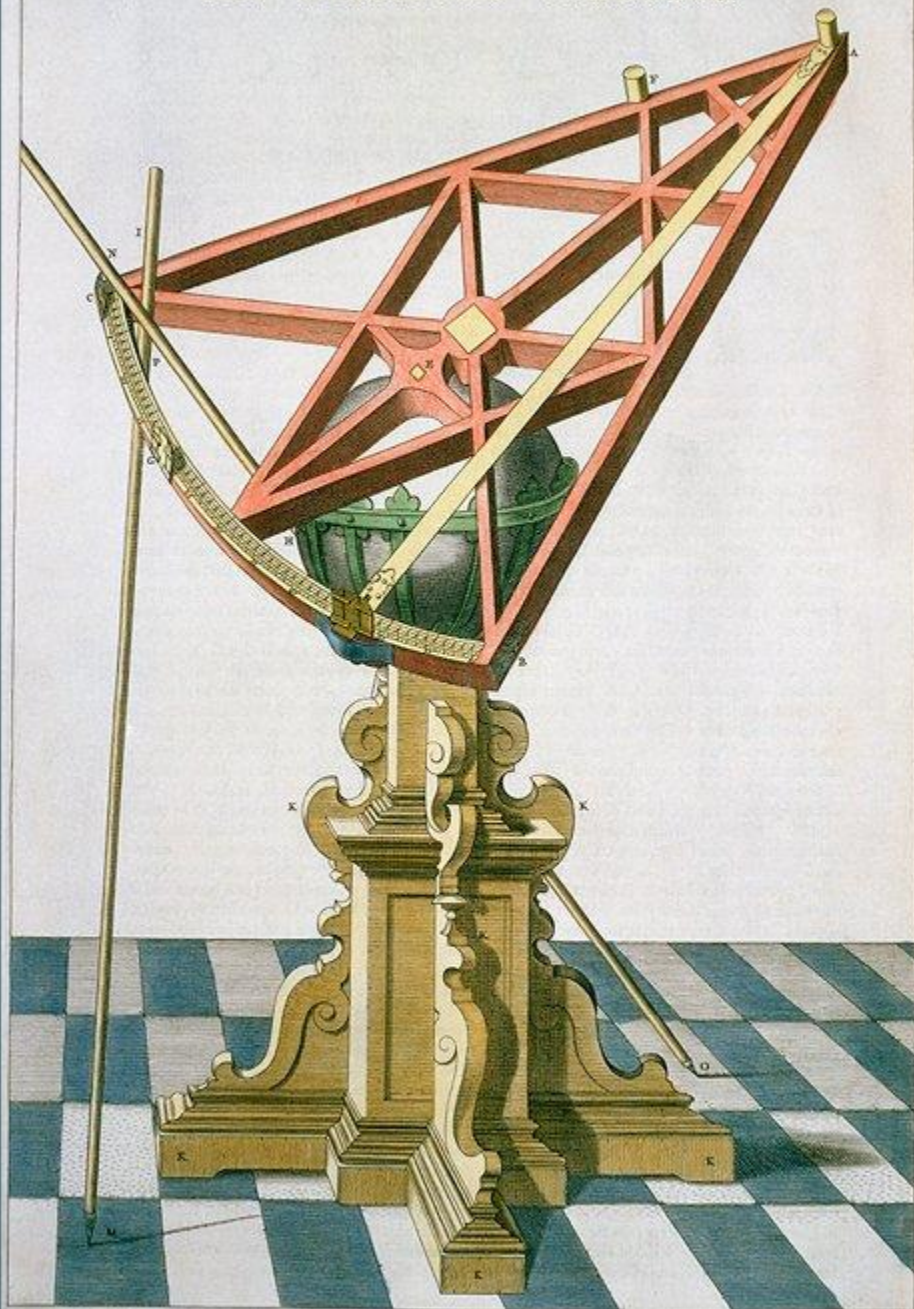




**Algunas observaciones de Tycho Brahe (XVI) contradecían la imagen antigua del Universo: la visión de una estrella nova negaba la inmutabilidad de los cielos, la naturaleza supralunar de los cometas los hacía incompatibles con las esferas.**

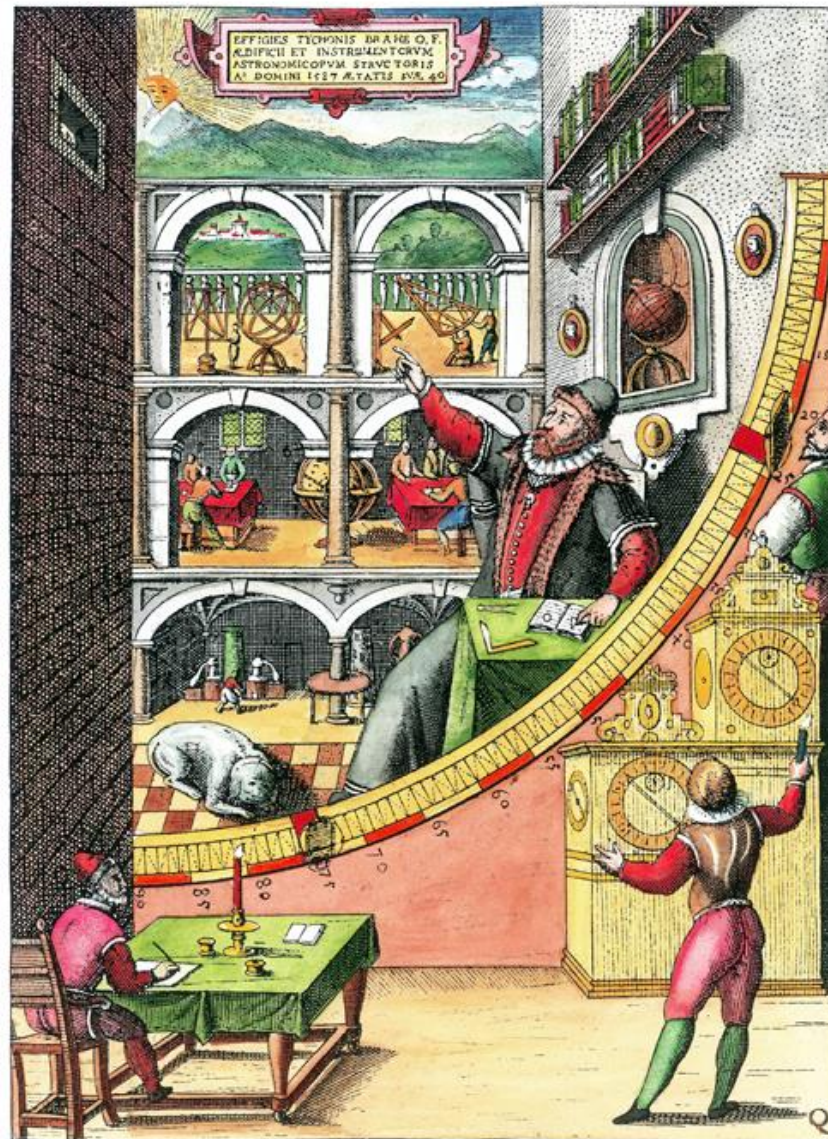


SEXTANS ASTRONOMICUS TRIGONICUS  
PRO DISTANTIIS RIMANDIS.



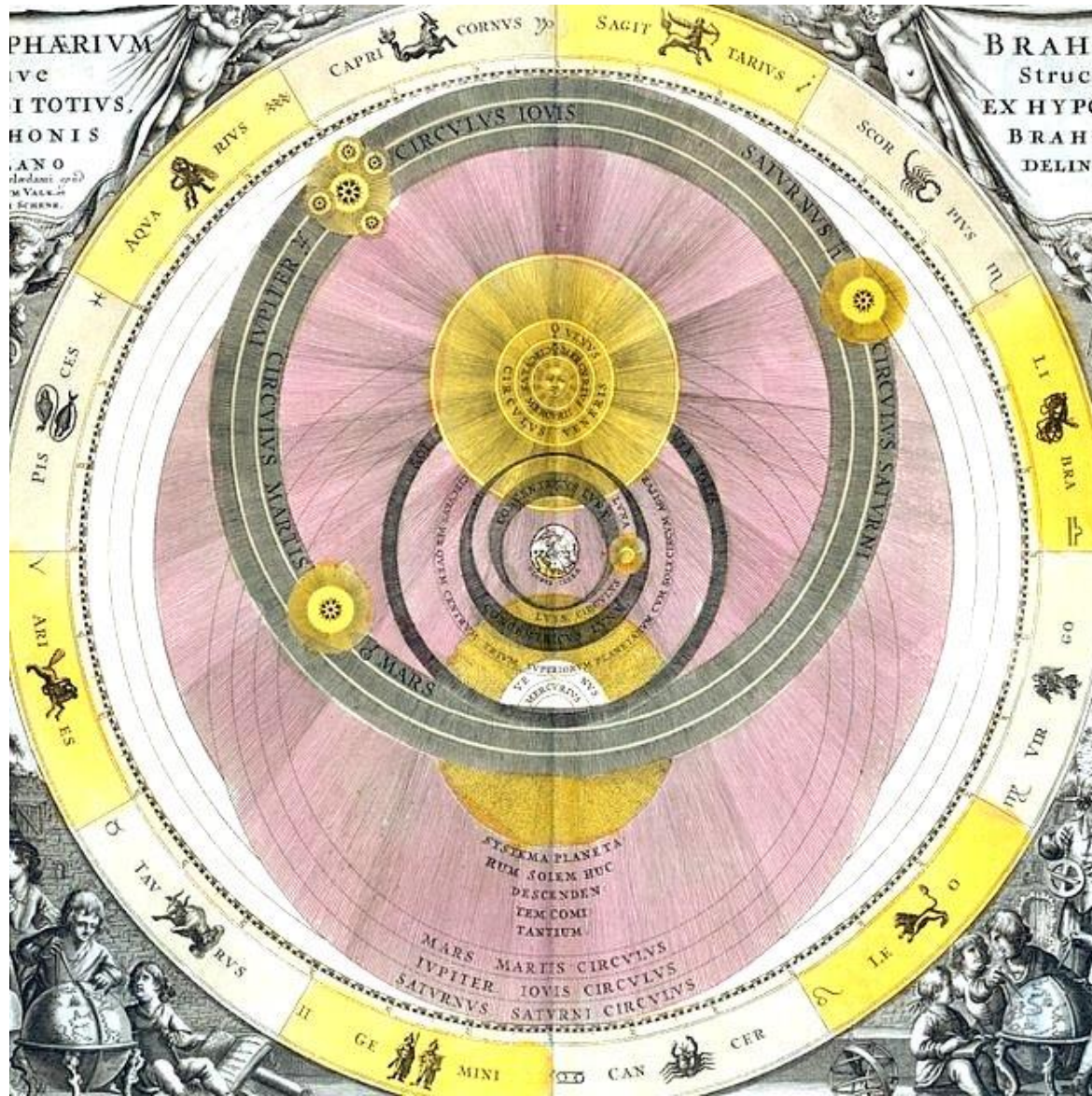






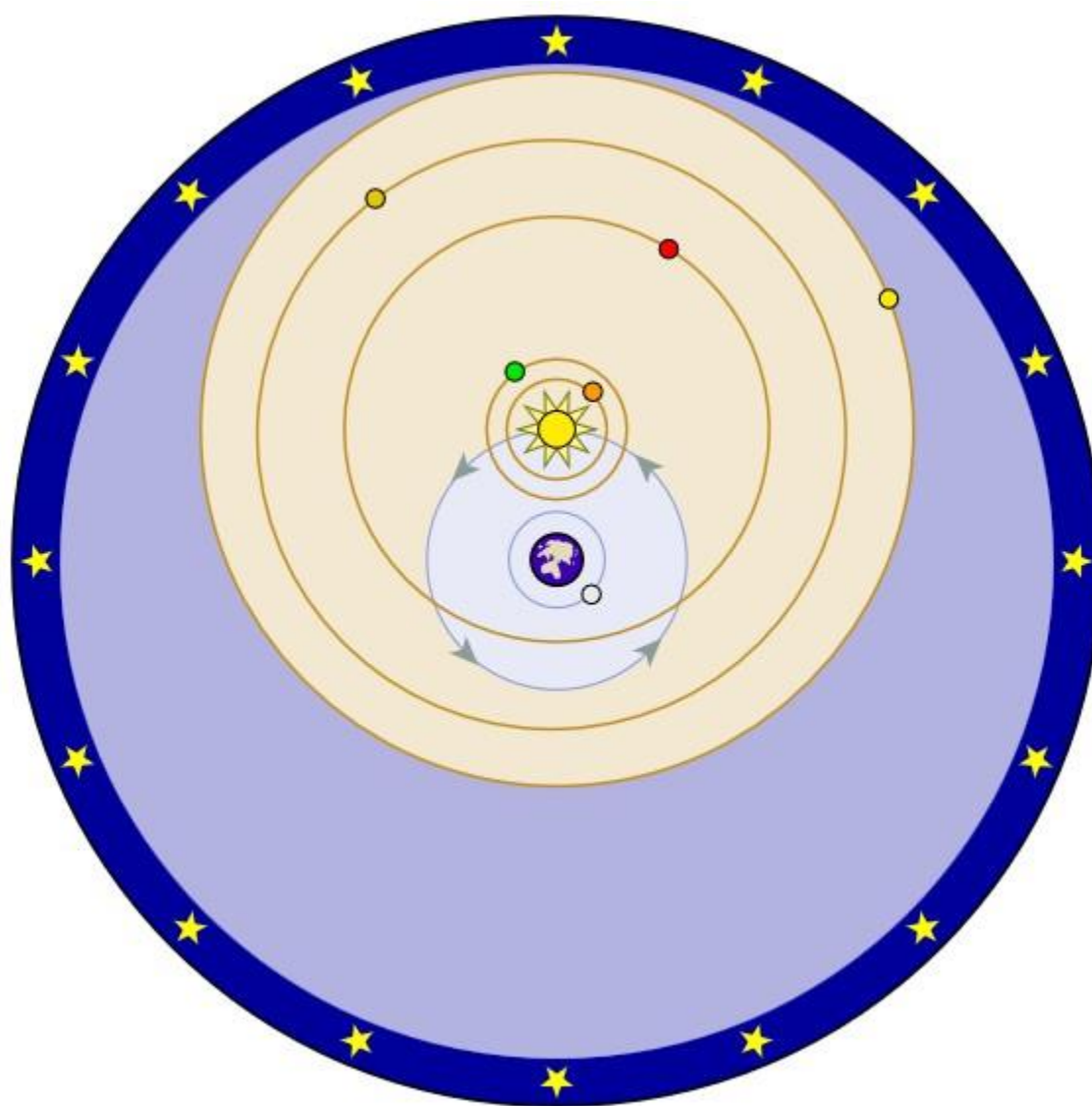
En este cuadrante mural, Tycho Brahe aparece en el centro señalando hacia el cielo. También hay empleados del observatorio midiendo la posición de una estrella: uno la ve por una pequeña ventana (arriba, izq.), otro registra el momento en que la ve (abajo, der.) mientras que otro (abajo, izq.) apunta los datos del evento.





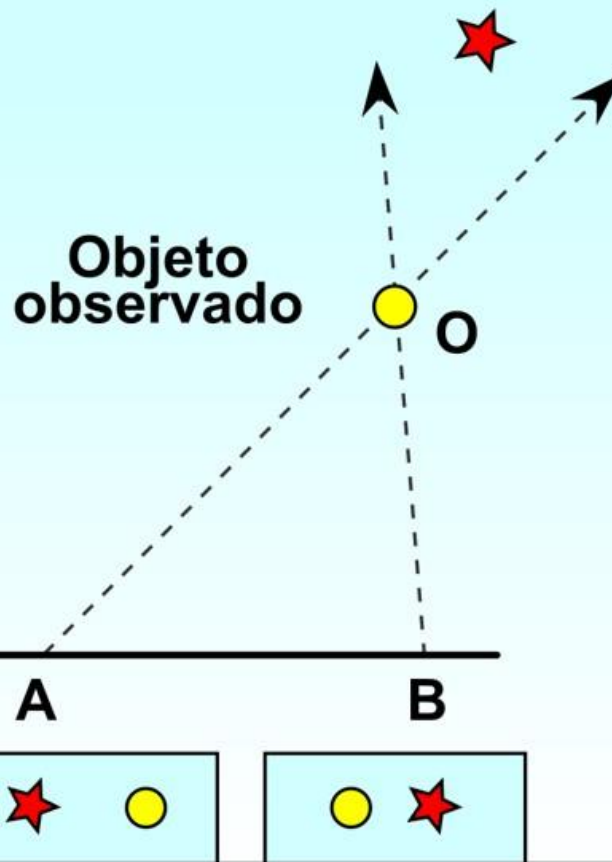
Brahe creía en el "geoheliocentrismo" según el cual el Sol y la Luna giran alrededor de la Tierra, mientras que Marte, Mercurio, Venus, Júpiter y Saturno giran alrededor del Sol.





### **Sistema tychónico o sistema geoheliocéntrico**

Brahe creía en el "geoheliocentrismo" según el cual el Sol y la Luna giran alrededor de la Tierra, mientras que Marte, Mercurio, Venus, Júpiter y Saturno giran alrededor del Sol.



Debido al paralaje, dos observadores ven el objeto O en posiciones distintas respecto al fondo. Al proyectar el objeto observado O contra un fondo suficientemente distante, la posición de O varía según el punto de vista en A o en B. Desde A, el objeto observado parece estar a la derecha de la lejana estrella roja, mientras que desde B se ve a la izquierda de aquella. El ángulo AOB se denomina **ángulo de paralaje**, que abarca el segmento AB desde O.

# Johannes Kepler 1571-1630

Nació enfermo y pobre.

Johannes Kepler (1571-1630) publica su obra "*El misterio del Universo*" obra de enfoque casi místico. Escribe su frase célebre "*entre Marte y Júpiter yo coloco un planeta*".

**1604:** Reporta la presencia de una "*estrella nueva*" en la constelación del Serpentario.

**1609:** Publica las dos primeras leyes sobre el movimiento de los planetas en el Sistema Solar en el libro "*Astronomia nova*".

**1611:** Publica "*Dioptrik*" el primer tratado sobre las bases numéricas de la óptica.





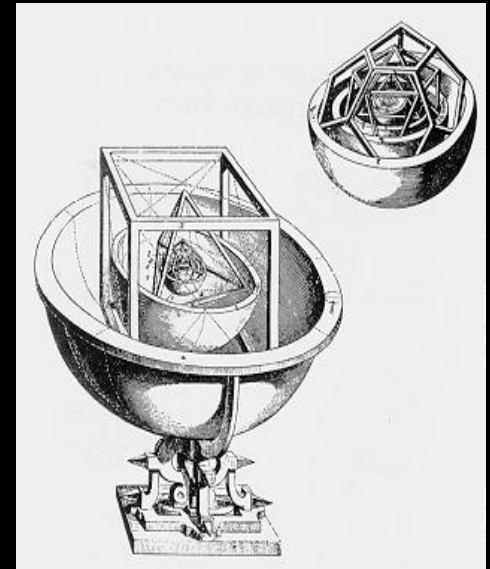
# Johannes Kepler 1571-1630

**1619** Johannes Kepler (1571-1630) publica la tercera ley del movimiento planetario en su libro "*Harmonices mundi*".

**1619** Johannes Kepler (1571-1630) postula la existencia de un viento solar en su explicación de la dirección de la cola de los cometas.

**1621** Willebrod Snell (1591-1626) descubre la refracción de la luz.

**1627** Johannes Kepler (1571-1630) publica sus *Tabulae Rudolphinae* (*Tablas Rodolfinas*), que constituyeron la base para el cálculo de los movimientos planetarios. Estas tablas obtienen su nombre del Emperador *Rodolfo II* de Alemania, al cual fueron dedicadas. En ellas se predice por primera vez el *tránsito de Venus y Mercurio* por el disco del Sol para 1631.



KEPLER

1571-1630

Vivió una vida de persecuciones a causa de la doctrina física que profesaba.



Después de catorce años de reiterada observación de nuestro sistema astronómico, Kepler enuncia sus tres leyes del movimiento planetario, que probaban matemáticamente la teoría copernicana. Con estas leyes quedaba explícitamente abierta la imagen del mundo de la modernidad. El universo está regido por leyes inmutables y extrínsecas a los cuerpos (caída del concepto griego de physis).

Kepler fue incapaz de dar el paso definitivo de Galileo: la matematización total del universo. Kepler estuvo indeciso toda su vida entre la fidelidad a la observación y la especulación teórica, sin llegar a fundir una y otra. Por ello, se puede decir que el descubrimiento del método experimental corresponde por entero a Galileo.

IOH. KEPLERI  
MATHEMATICI  
OLIM IMPERATORII

SOMNIVM,

*Scilicet*

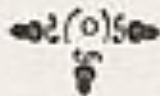
OPVS POSTHVMVM  
DE ASTRONOMIA  
LVNARI

*Divulgatum*

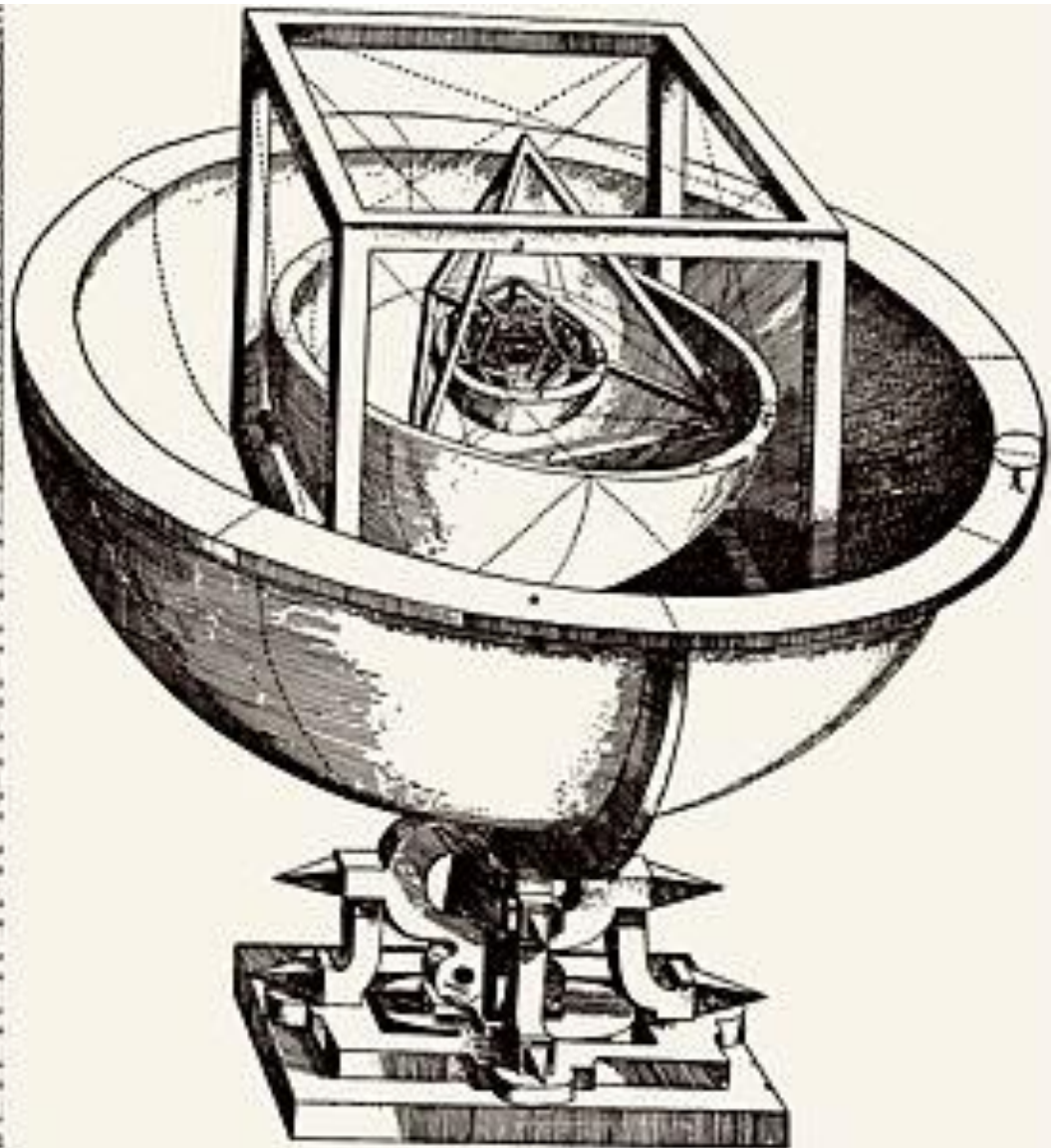
à

M. LUDOVICO KEPLERO FILIO,  
Medicinæ Candidato.

*Impressum partim Sagani Silesiorum, absolutum Fran-  
cofurti, sumptibus heredum  
authoris.*

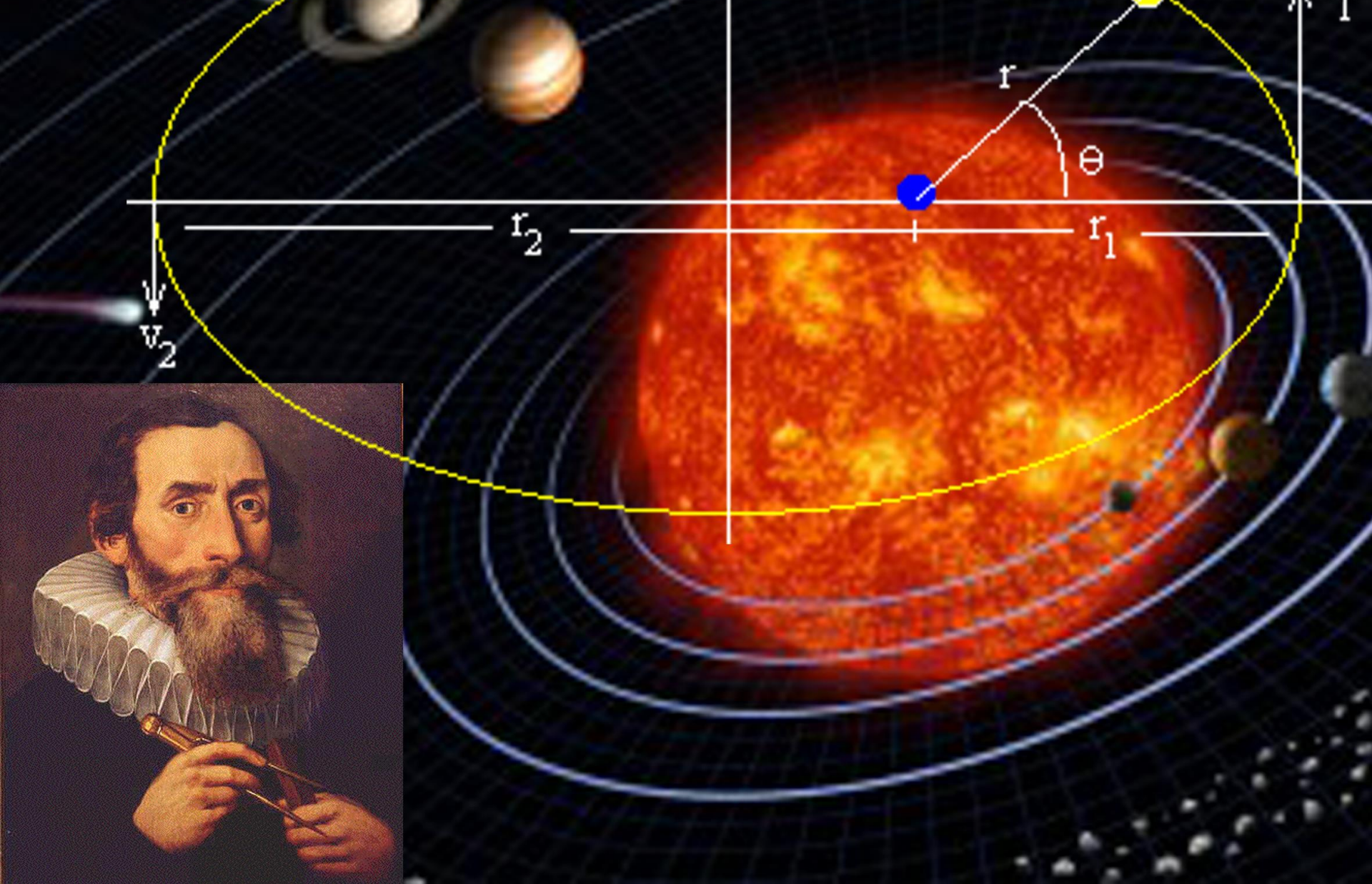


ANNO M DC XXXIV.



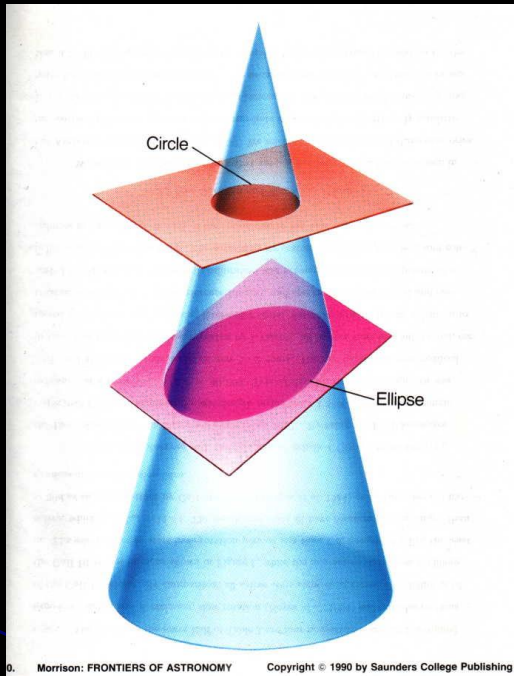
Modelo platónico del Sistema Solar presentado por Kepler en su obra *Mysterium Cosmographicum* (1596).





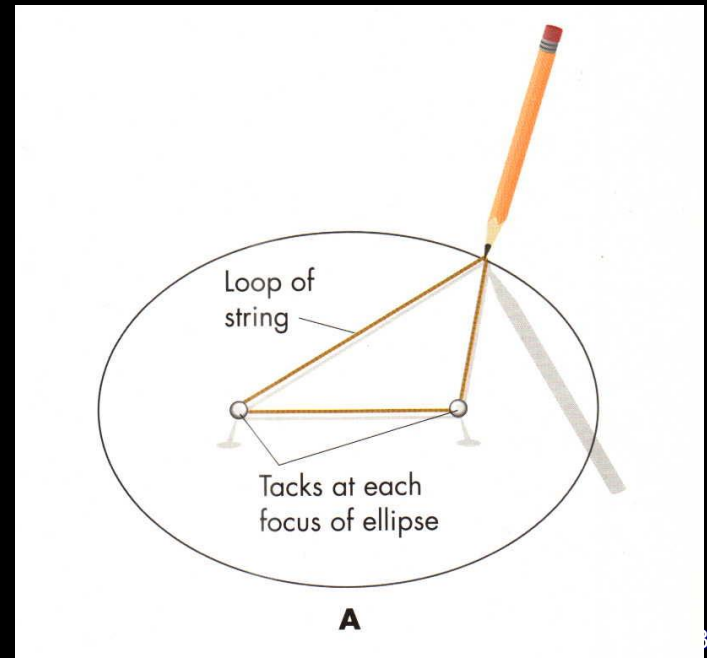
**Con sus tres leyes Kepler (XVII) culminó la Revolución en la Astronomía. El Sol es el centro del sistema y los planetas giran en órbitas elípticas con velocidades y periodos regulares.**

# Elipses

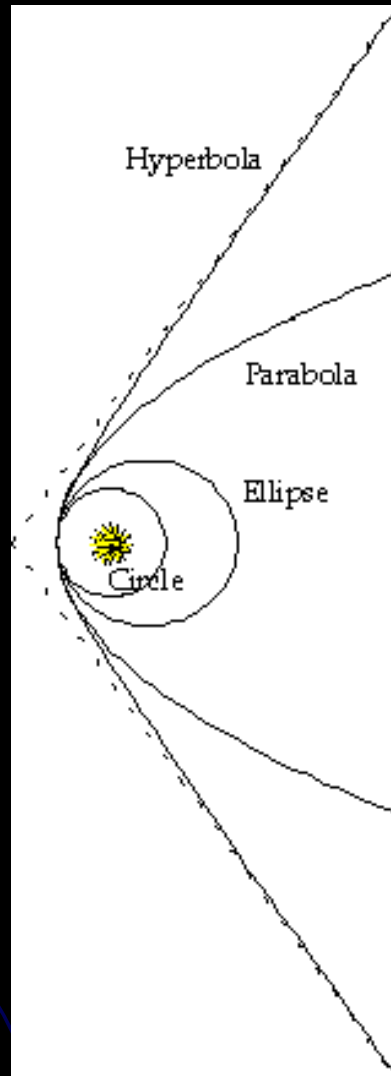


Una elipse es un ejemplo de una “sección cónica”. Los círculos y las hipérbolas pertenecen a otra familia. Todas son formas posibles de órbitas.

Una elipse se puede hacer con dos cuerdas un lápiz. Las cuerdas están en el foco y si se alejan uno del otro, la elipse es mas excéntrica (una sola cuerda hace un círculo).

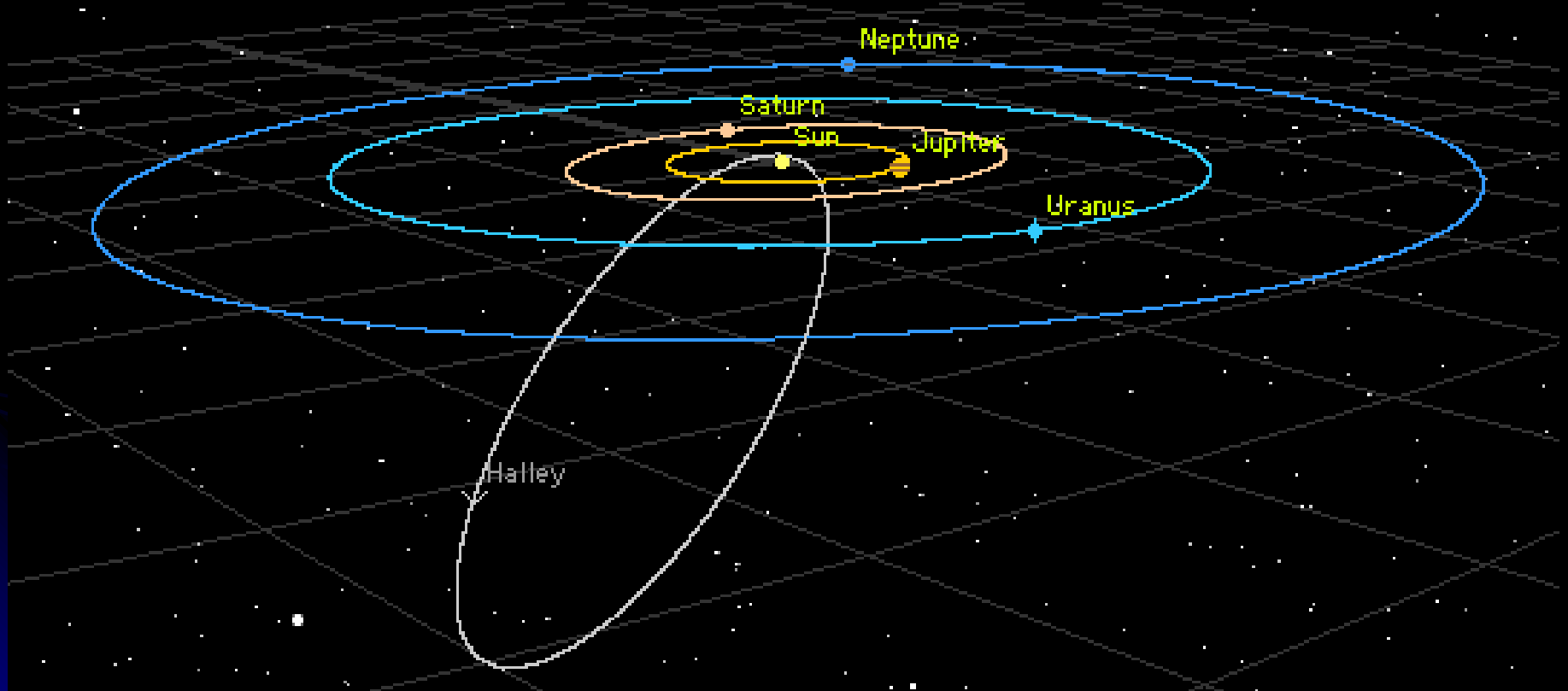


# Leyes de Kepler

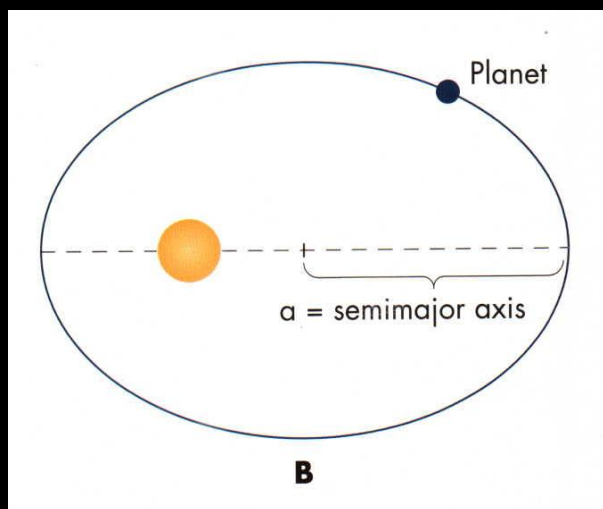




# Leyes de Kepler



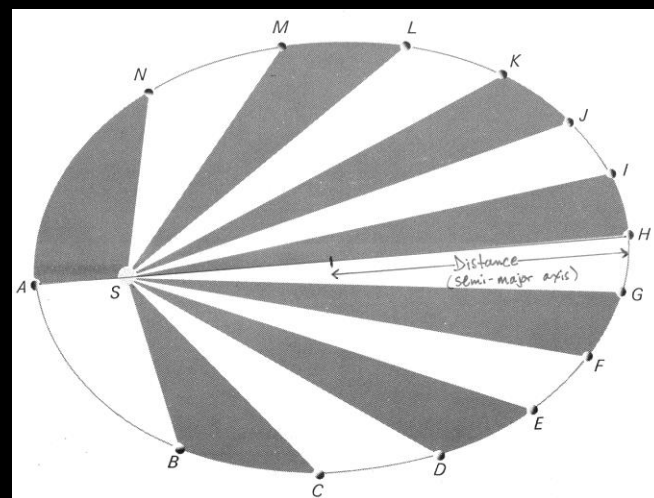
# Leyes de Kepler



**Primera:** Los planetas se mueven en órbitas elípticas, con el Sol en uno de los focos.

**Segunda:** Una línea entre un planeta y el Sol barre áreas iguales de una elipse en tiempos iguales.

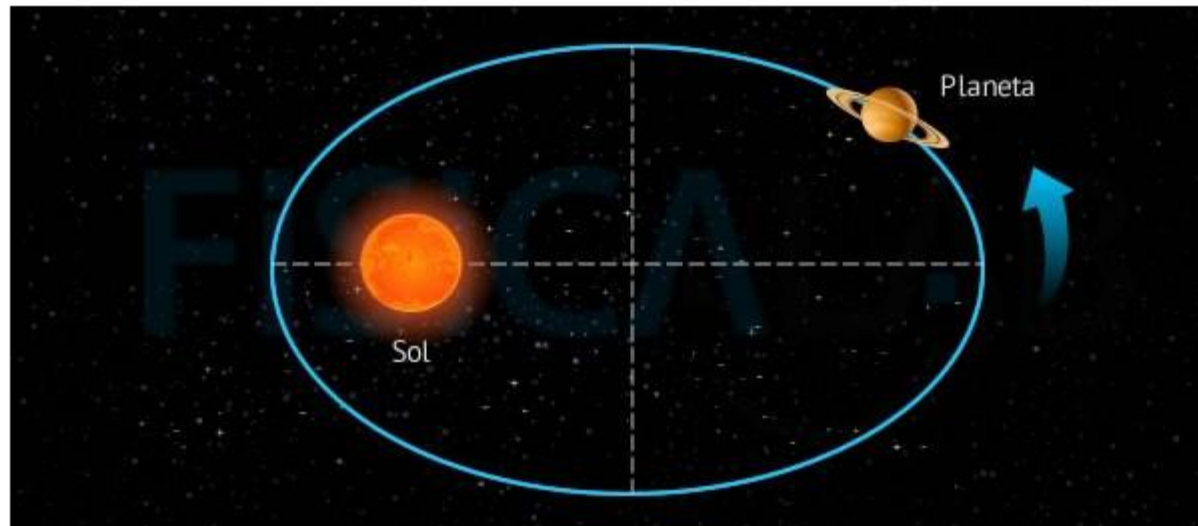
**Notas:** no hay nada en el otro foco o en el centro. La Segunda Ley quiere decir que los planetas giran alrededor del Sol mas rápido cuando están mas cerca de él. Estas leyes valen para cualquier cosa que esté orbitando alrededor de cualquier cosa debido a la gravedad.



# Primera ley de Kepler: ley de las órbitas

La primera ley, conocida como ley de las órbitas, acaba con la idea, mantenida también por Copernico, de que las órbitas debían ser circulares.

Los planetas giran alrededor del Sol siguiendo una trayectoria elíptica. El Sol se sitúa en uno de los focos de la [elipse](#).

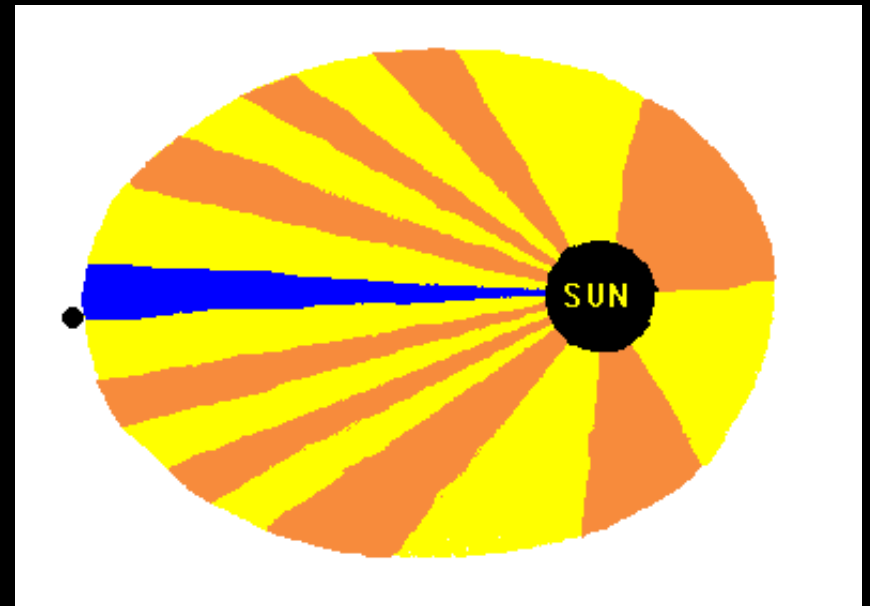
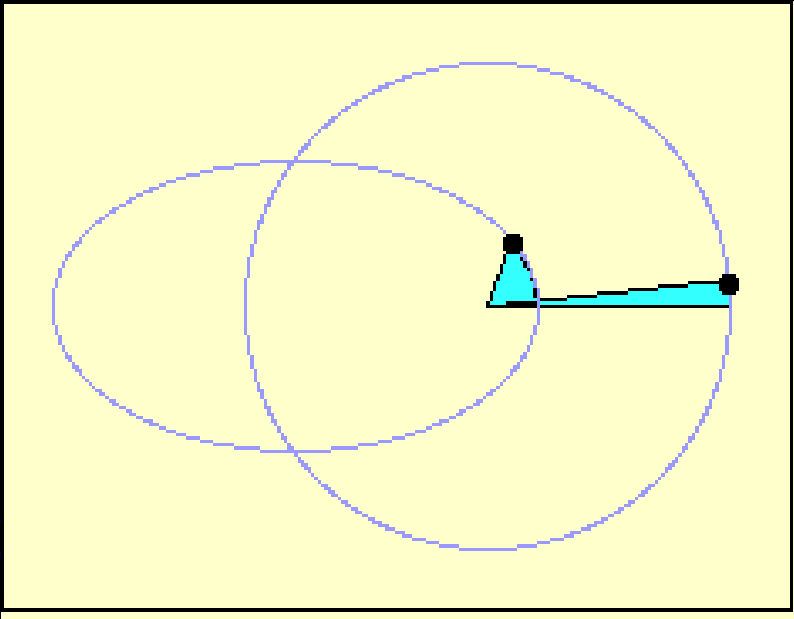


## Primera Ley de Kepler

La primera ley de Kepler establece que todos los planetas se mueven alrededor del Sol describiendo una trayectoria elíptica.



# Segunda Ley de Kepler

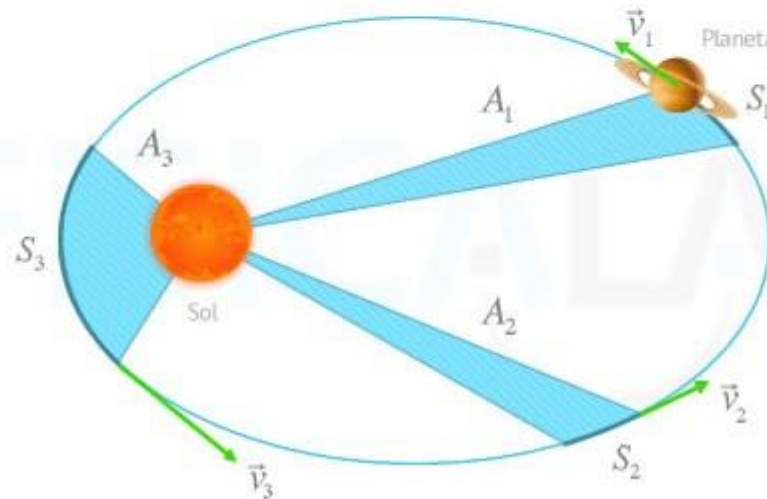


# Segunda ley de Kepler: Ley de las áreas

La segunda ley, conocida como ley de las áreas, nos da información sobre la **velocidad** a la que se desplaza el planeta.

La recta que une el planeta con el Sol barre áreas iguales en tiempos iguales.

Para que esto se cumpla, la velocidad del planeta debe aumentar a medida que se acerque al Sol. Esto sugiere la presencia de una fuerza que permite al Sol atraer los planetas, tal y como descubrió Newton años más tarde.



## Segunda Ley de Kepler

Suponiendo que el tiempo que se tarda en recorrer un espacio  $S_1$ ,  $S_2$  y  $S_3$  es el mismo, las áreas  $A_1$ ,  $A_2$  y  $A_3$  también serán iguales. Esto se debe a que a medida que disminuye la distancia al Sol, la velocidad aumenta ( $v_1 < v_2 < v_3$ )

# Leyes de Kepler

**Tercera:** El periodo orbital de un planeta es proporcional a su semieje mayor de acuerdo con la relación  $P^2 \sim a^3$ .

La forma mas general de esta ley (esencial para determinar todas las masas en astronomía) es

$$P^2 \propto \frac{a^3}{M_{central}}$$

Para los planetas del sistema solar (con el Sol como la masa central), si las unidades del semieje mayor ( $a$ ) están dadas en UA y el periodo ( $P$ ) en años, la constante de proporcionalidad es 1.

Por ejemplo, si Jupiter está a 5 UA, ¿cuál es su periodo orbital?

$$P^2 = 5^3 = 125; P = \sqrt{125} = 11.2$$

Kepler no entendió las bases físicas de estas leyes (el sospechaba que surgían debido a que el Sol atraía a los planetas posiblemente a través de un magnetismo).



# Tercera ley de Kepler: Ley de los periodos

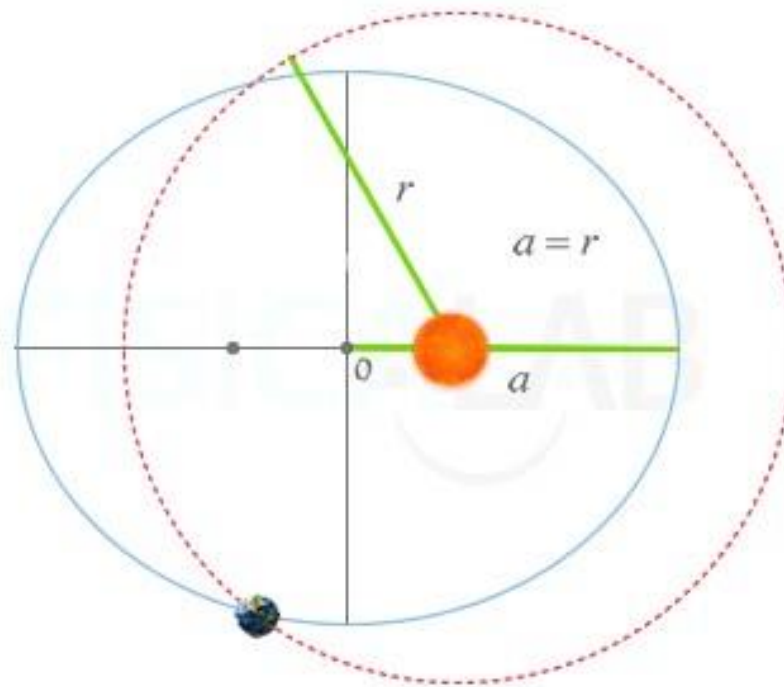
La tercera ley, también conocida como armónica o de los periodos, relaciona los periodos de los planetas, es decir, lo que tardan en completar una vuelta alrededor del Sol, con sus radios medios.

Para un planeta dado, el cuadrado de su periodo orbital es proporcional al cubo de su distancia media al Sol. Esto es,

$$T^2 = k \cdot r^3$$

Donde:

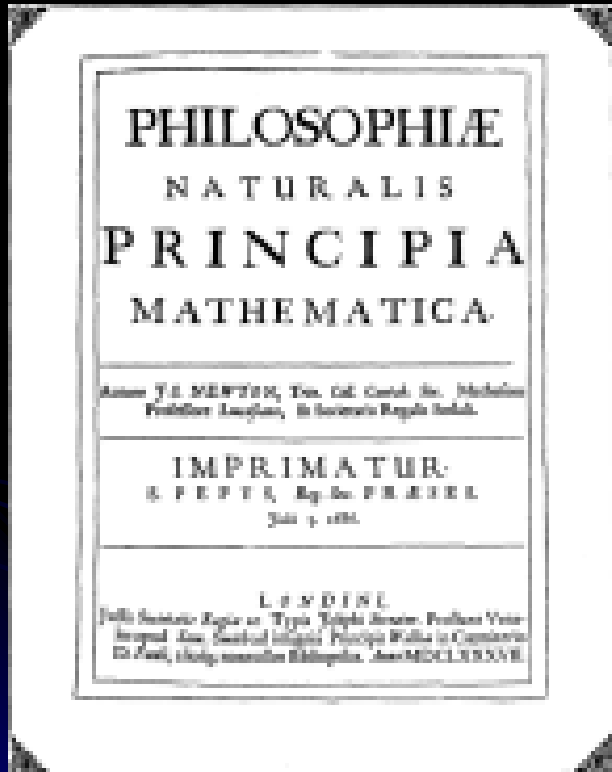
- $T$ : Periodo del planeta. Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el segundo (  $s$  )
- $k$ : Constante de proporcionalidad. Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el segundo al cuadrado partido metro cúbico (  $s^2/m^3$  )
- $r$ : Distancia media al Sol. Por las propiedades de la elipse se cumple que su valor coincide con el del semieje mayor de la elipse,  $a$ . Su unidad de medida en el Sistema Internacional es el metro (  $m$  )



### Valor del radio medio de una elipse

La distancia media  $r$  de un planeta al foco de su órbita (ocupado por el Sol) coincide con la longitud del semieje mayor  $a$  de la elipse. Consideraremos este valor  $a$  a la hora de determinar la longitud de la elipse cuando esta tenga una excentricidad pequeña. Así, en la figura, podríamos aproximar la longitud de la elipse, en verde, por la del círculo

# Isaac Newton 1642 - 1727



**Newton: uno de los mas grandes científicos.** Profesor, Teólogo, Alquimista, Director de la Real Casa de la Moneda, Presidente de la Royal Society, miembro del Parlamento. Coinventor del cálculo infinitesimal. Descubridor de la ley de la Gravitación Universal y de las tres leyes de Newton del movimiento. Hizo la mayor parte de su trabajo antes de los 25 años.



Trinity College,  
Cambridge

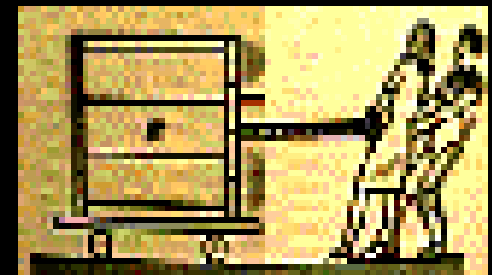
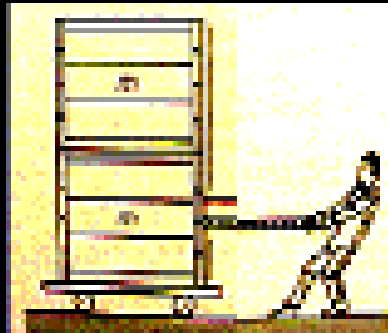
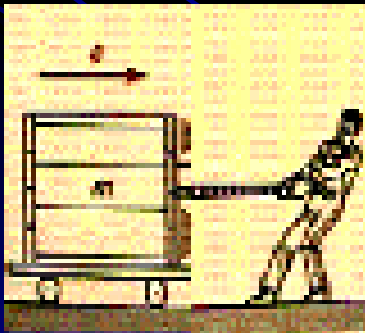


# Las Tres Leyes de Newton

**Ley de la Inercia (Primera Ley):** en ausencia de fuerzas (fuerza neta = 0) los objetos se moverán a velocidad constante. “Si sobre un cuerpo no actúa ninguna fuerza o la fuerza resultante es cero, el cuerpo se mantiene en reposo o con velocidad constante.

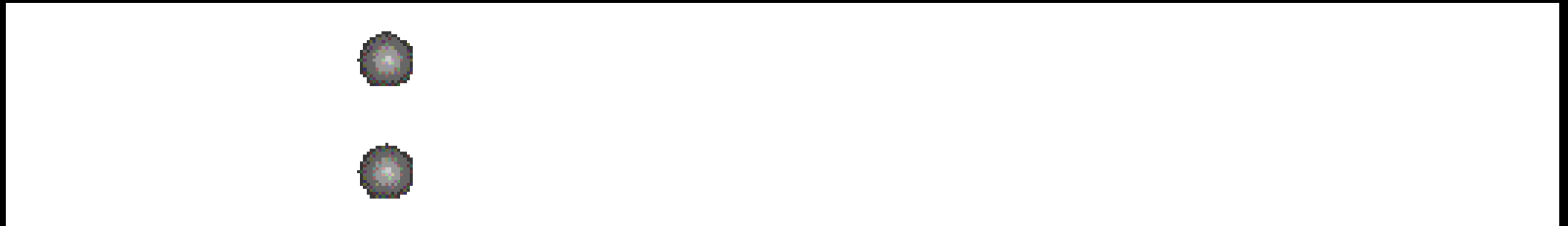


**Ley de Fuerza (Segunda Ley):** una fuerza producirá que un objeto cambie su velocidad (aceleración) directamente proporcional a la fuerza aplicada e inversamente proporcional a la masa del objeto. Esta ley puede se puede expresar como  $F = m \cdot a$  o bien,  $a = F/m$ .

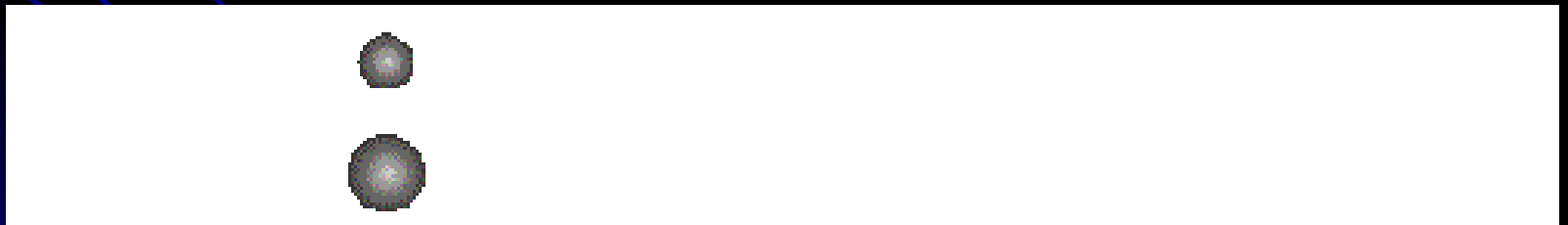


# Las Tres Leyes de Newton

Una fuerza mas grande produce una mayor aceleración



Una masa mas grande tendrá una aceleración menor y viceversa



1

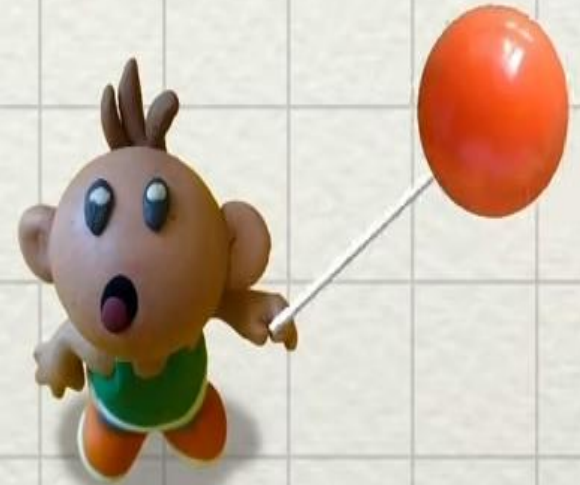
# Ley de la inercia





1

# Ley de la inercia



2

# Ley fundamental de la dinámica



2

# Ley fundamental de la dinámica





2

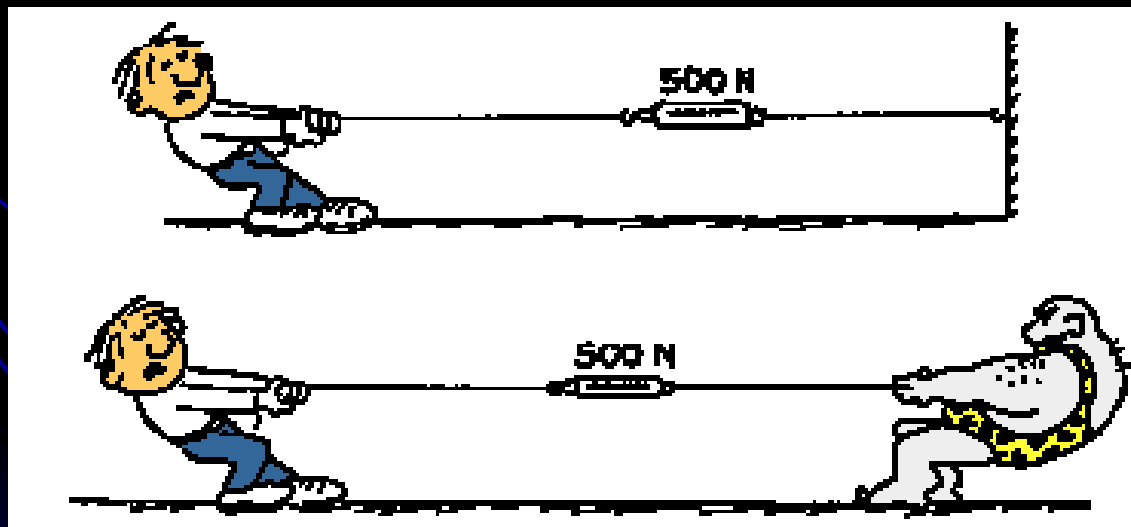
# Ley fundamental de la dinámica



Colisión elástica:  
Aquella en la que toda la energía  
de movimiento se convierte en movimiento  
(y no en calor, sonido u otro).

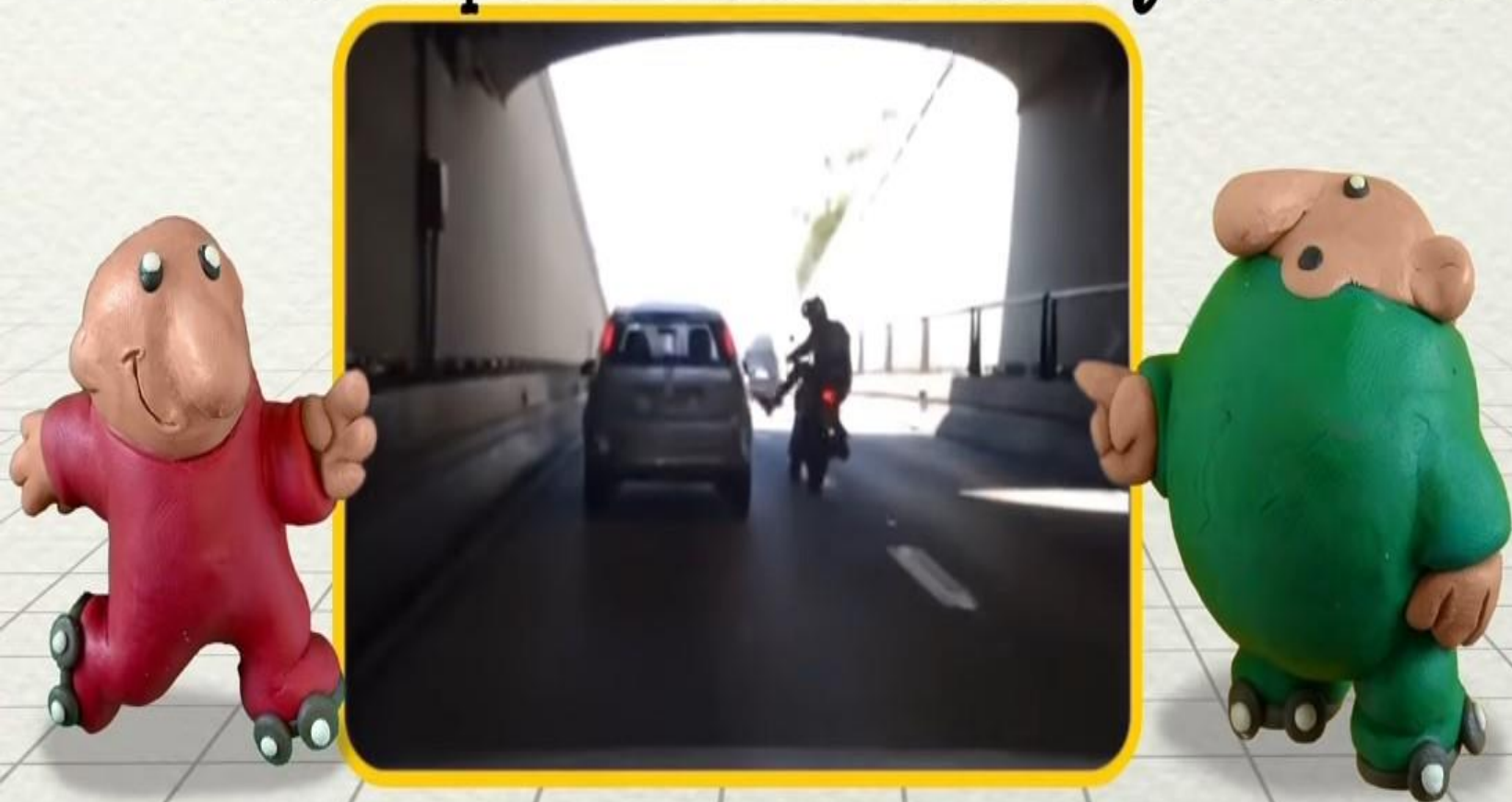
# Las Tres Leyes de Newton

**Ley de la Reacción (Tercera Ley):** a cualquier acción hay una reacción igual y en dirección opuesta, es decir, las fuerzas ocurren en pares iguales y opuestos.



3

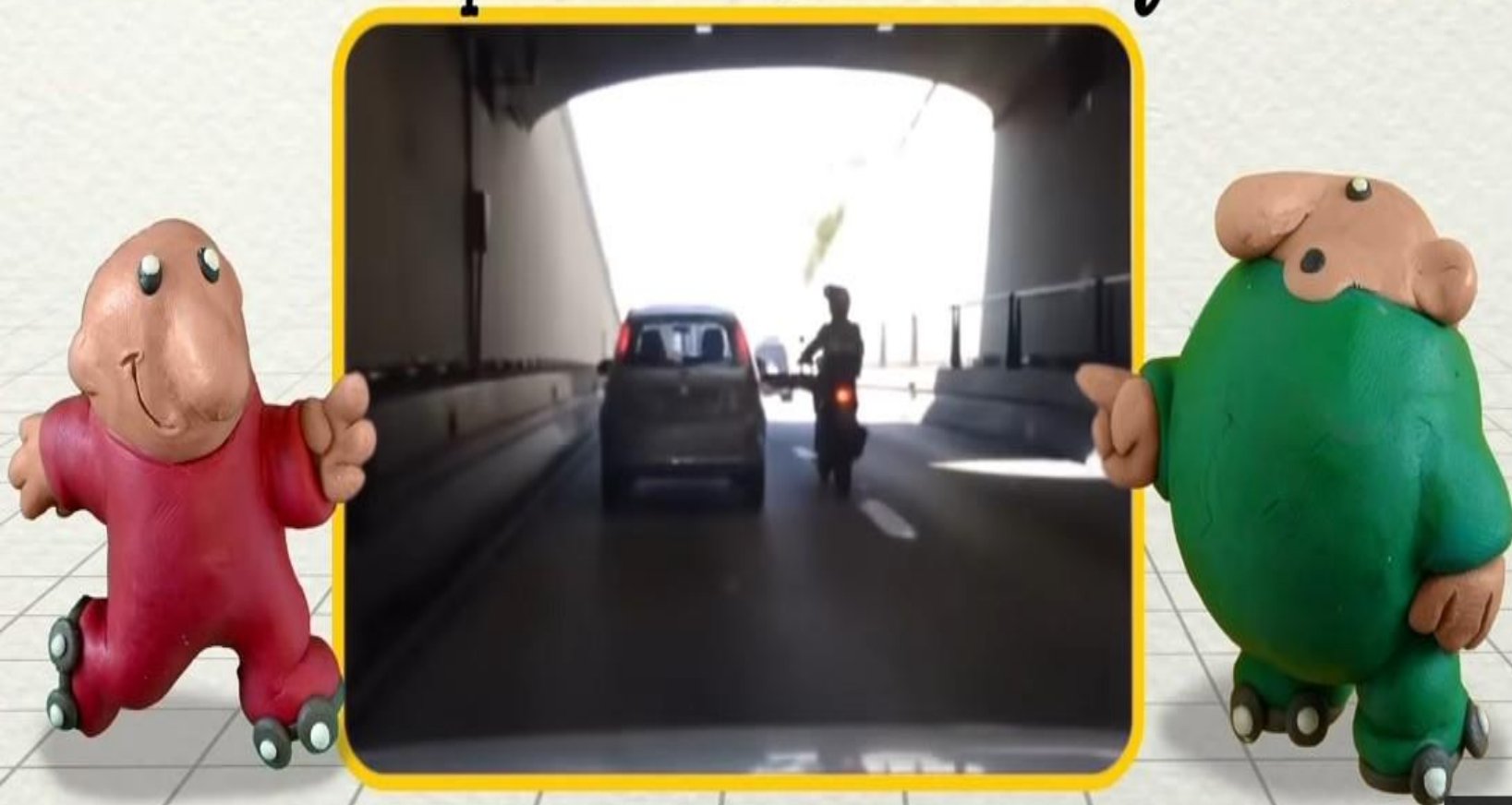
# Principio de la Acción y reacción





## 3

# Principio de la Acción y reacción



CuriosaMente

SUSCRIBIRSE 1,2 M



3

# Principio de la Acción y reacción





# Ley de la Gravitación Universal

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

La fuerza que ejerce una partícula puntual sobre otra es directamente proporcional al producto de las masas, e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa.



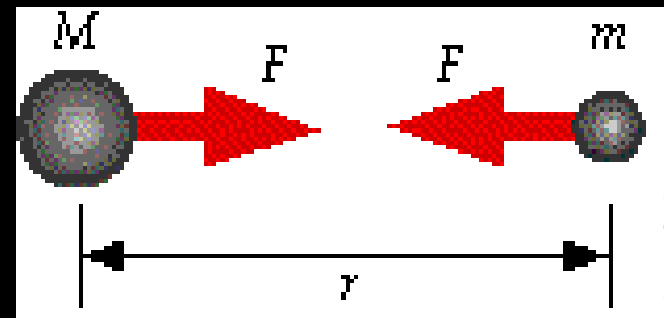
# Ley de Gravitación Universal

Newton, para completar su estudio del movimiento de los planetas, sus leyes de movimiento con una descripción específica de la fuerza de gravedad

Conociendo el comportamiento básico de los planetas a partir de las leyes de Kepler, Newton pudo determinar una ley de fuerzas apropiada, la Ley de la Gravitación Universal:

$$F = G \frac{M m}{r^2}$$

- F** es la fuerza gravitacional
- M** y **m** son las masas de los dos objetos
- R** es la separación entre los dos objetos
- G** es la constante de gravitación universal



# Ley de la Gravitación

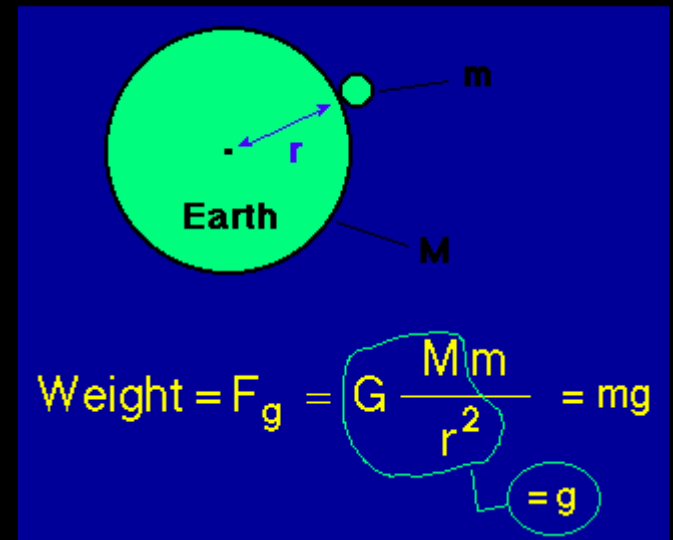
La gravedad es una fuerza atractiva, y de acuerdo con la Tercera Ley de Newton, las dos masas (cuerpos) sienten fuerzas iguales y opuestas.

La gravedad es relativamente débil debido al valor tan pequeño de la constante de la gravitación  $G$ , en unidades métricas,

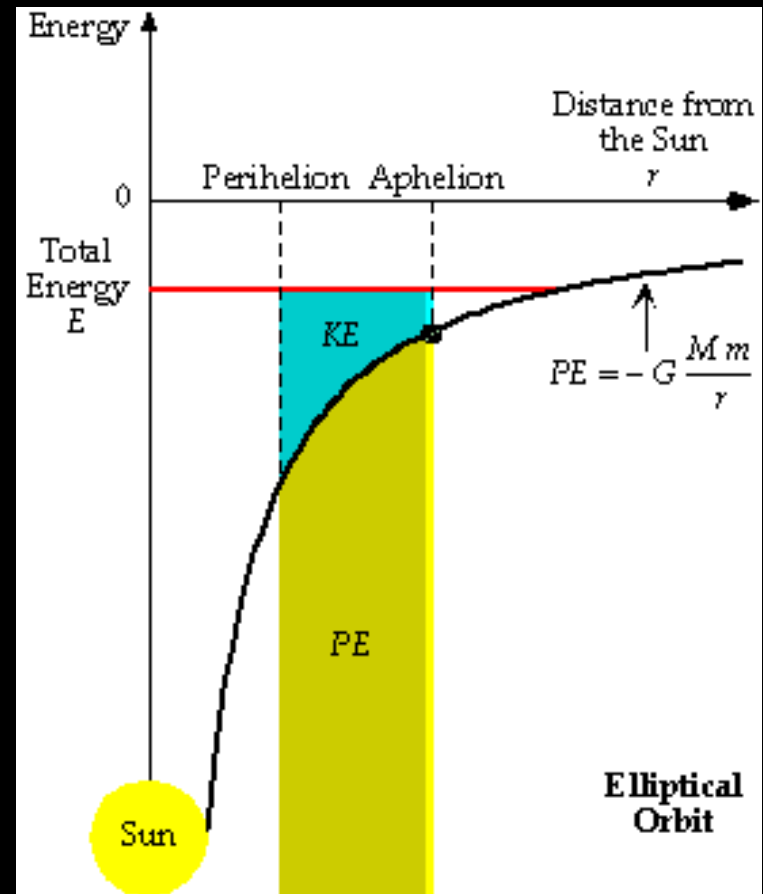
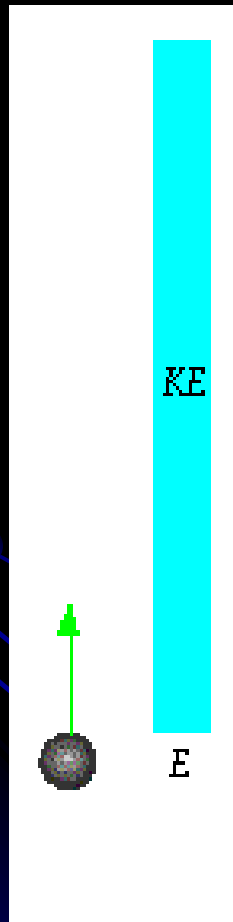
$$G = 6.7 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$$

Por lo tanto, se requieren masas grandes para poder sentir una fuerza apreciable, p.ej. La masa de la Tierra es  $6.0 \times 10^{24}$  kg.

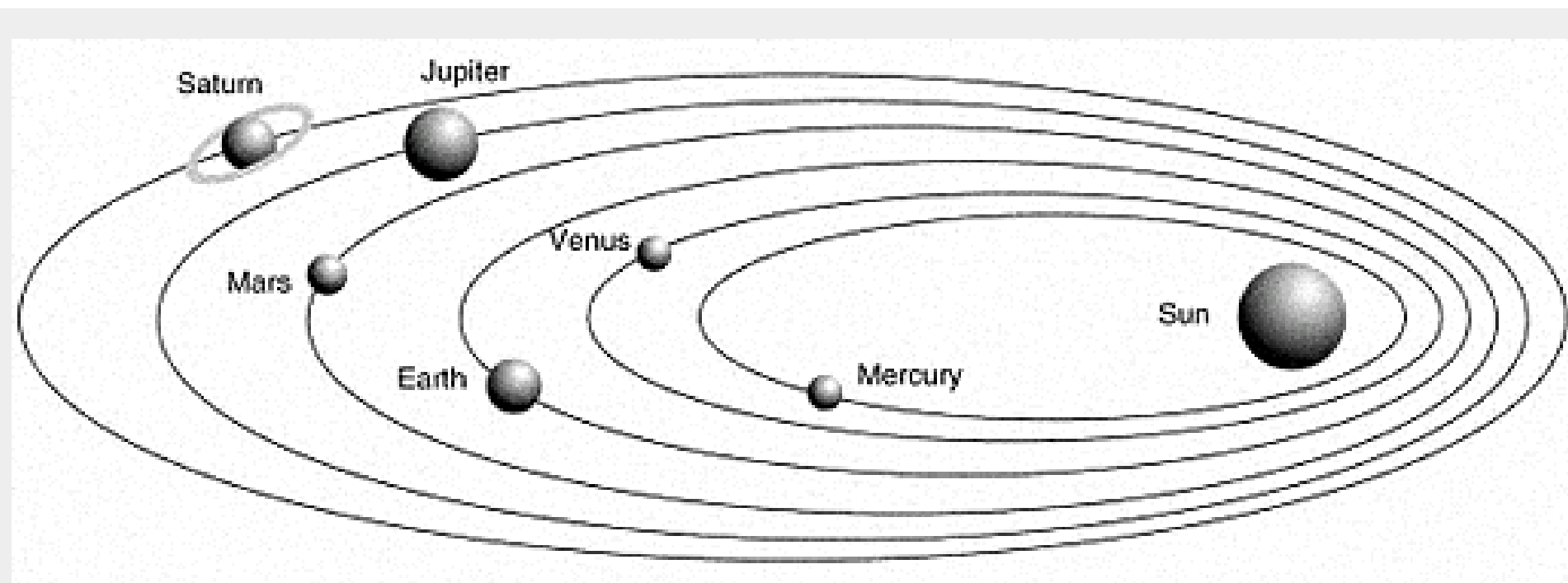
A pesar de la masa grande de la Tierra, la fuerza gravitacional que sientes en la superficie de la Tierra, **tu peso**, es solamente unos cientos de Newtons.



# Gravitación







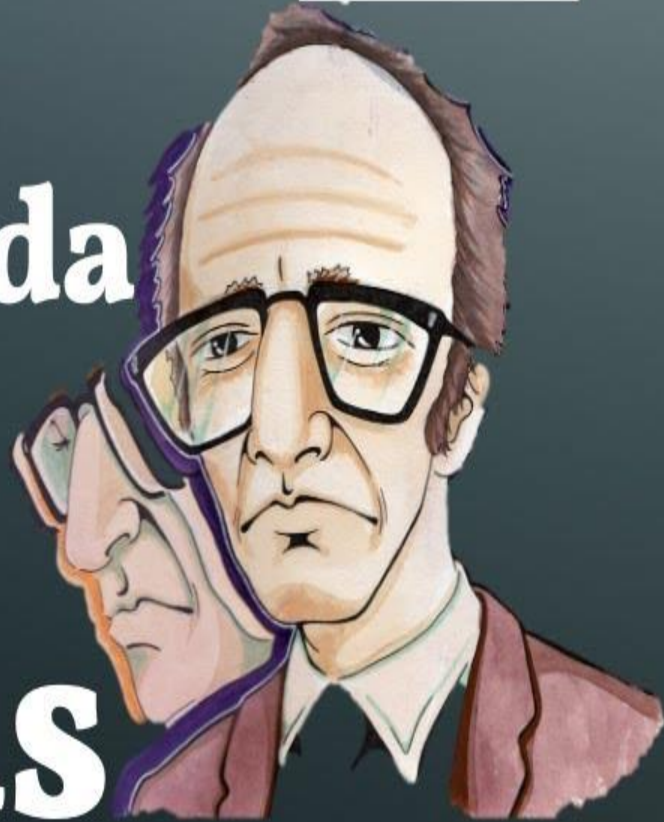
*Kepler's Laws*

# Thomas Kuhn

KUHN



La  
Inconmensurabilidad  
de los  
Paradigmas



# Inconmensurabilidad

---

- Término que tomaron Paul Feyerabend y el mismo Kuhn de la geometría, y que significa "sin medida común". Es la carencia de conceptos con significado común entre teorías, que la transición de un paradigma a otro ocurren de una manera radical y repentina, casi podemos decir irracional.