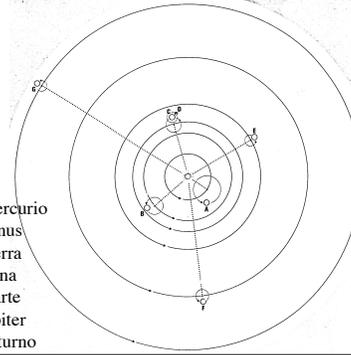


El Sistema Planetario: Renacimiento

Copérnico (1543)

Sistema Heliocéntrico “elimina” necesidad de Epiciclos.
El Sol al centro para iluminar el mundo: ideas religiosas y Aristotélicas.

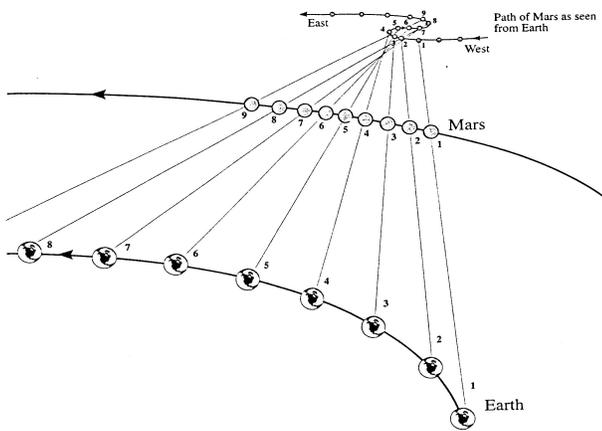


El texto de Copérnico es prácticamente una copia del Almagesto, re-calculando las efemérides.

Movimiento Diurno es “natural” y como tal no engendra fuerzas centrífugas.

Estrellas fijas las ubica a 2000UA, de modo de no observar paralaje anual.

Movimiento Retrógrado en Sistema Heliocéntrico

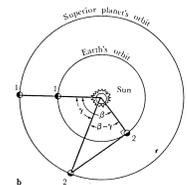
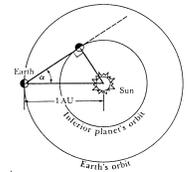


Tamaño del Sistema Planetario

• En el sistema de Copérnico, el tamaño relativo de las órbitas planetarias es fijo.

• Este se mide fácilmente usando el ángulo de elongación máxima para un planeta inferior (Mercurio o Venus).

• Para un planeta superior se mide el intervalo de tiempo entre la oposición y una elongación de 90°



Tamaño del Sistema Planetario

TABLE 4-2

Average Distances of the Planets from the Sun (AU)

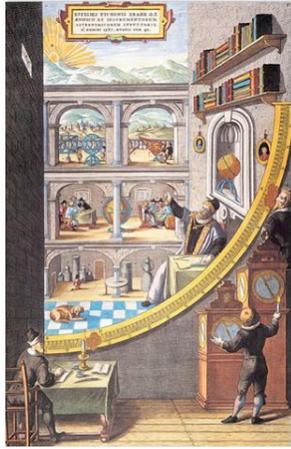
Planet	Copernicus's value	Modern value
Mercury	0.38	0.39
Venus	0.72	0.72
Earth	1.00	1.00
Mars	1.52	1.52
Jupiter	5.22	5.20
Saturn	9.07	9.54

Tamaño del Sistema Planetario

Valores actuales de las distancias planetarias.

Notar la precisión, que ha sido clave para posibilitar la exploración del Sistema Solar.

	Mean Distance (AU)	Mean Distance (10 ¹¹ m)
Mercury	0.3870983098	0.579090830
Venus	0.7233298200	1.08208601
Earth	1.0000010178	1.49598023
Mars	1.5236793419	2.27939186
Jupiter	5.2026031913	7.78298361
Saturn	9.5549095957	14.29394133
Uranus	19.2184460618	28.75038615
Neptune	30.1103868694	45.04449769
Pluto	39.544674	59.157990



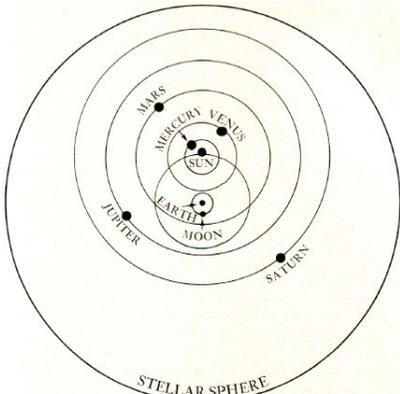
Tycho Brahe (1543)

- Gran observador del Cielo.
- Construyó el observatorio de Uraniborg financiado por el rey Federico II de Dinamarca.
- Durante 30 años midió las coordenadas estelares más precisas de su época, incluyendo excelentes efemérides planetarias.
- Demostró que la (super)Nova de 1572 y el cometa de 1577 eran más distantes que la Luna, debido a no tener paralaje geocéntrico medible.

Uso de paralaje para medir distancias.



Modelo de Tycho Brahe



- Inventa Sistema Planetario en el cual el Sol (y la Luna) giran en torno a la tierra y los demás planetas en torno al Sol.
- Sólo sus herederos lo tomaron en cuenta.
- El sistema era equivalente al de Copérnico pero conceptualmente mucho más complejo.

Navaja de Occam

De todas las explicaciones posibles de cualquier fenómeno natural, aceptamos como probablemente más correcto el que sea conceptualmente más simple.

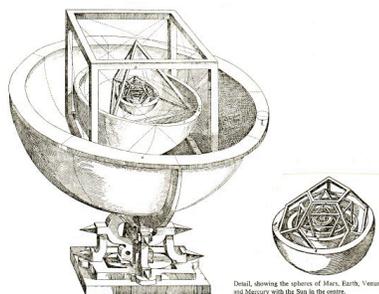
Giordano Bruno

- Universo es Infinito
- Estrellas son Soles

Kepler

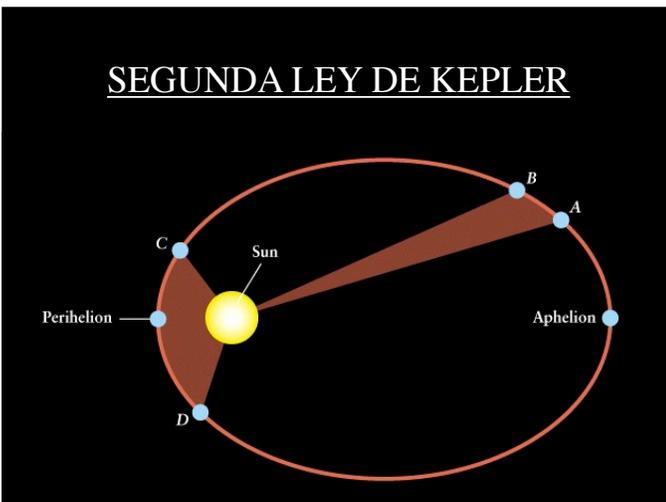
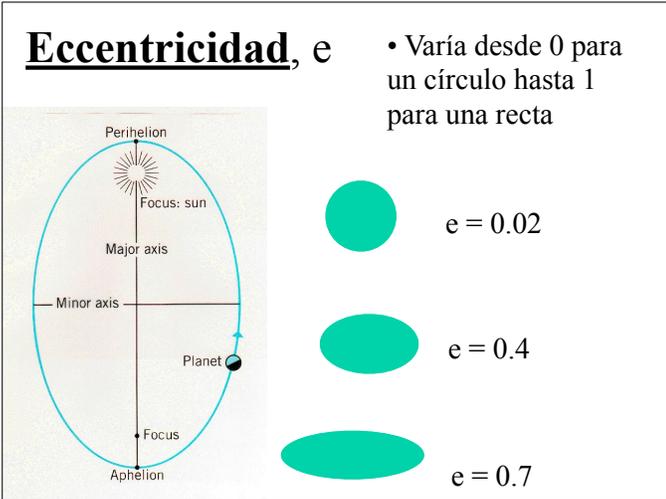
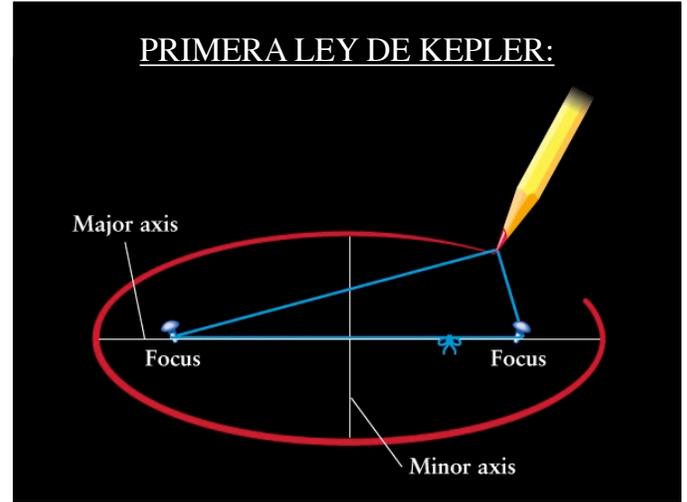
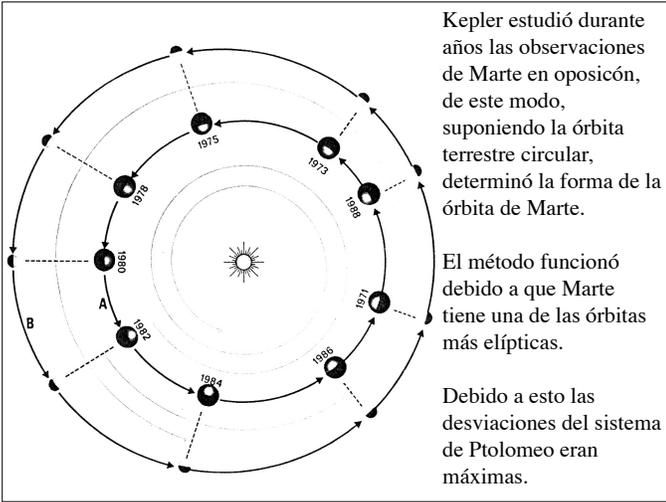
- Gran matemático, se encantó con la simplicidad del modelo de Copérnico.

Propone modelo en que las distancias de los seis planetas al Sol se obtienen de circunscribir esferas a los cinco poliedros regulares (gran Pitagórico). Sin embargo descarta el modelo al ver que no reproduce las observaciones.



Kepler

- Trabaja un par de años con Brahe, se pelean, y luego vuelve a hacerse cargo del Observatorio a pedido del Emperador. Durante este período se dedica principalmente a estudiar e intentar reproducir la órbita de Marte, que mostraba las mayores desviaciones c/r al sistema de Ptolomeo.
- En 1609 publica sus resultados:
 1. Los planetas giran en órbitas elípticas en torno al Sol, que ocupa uno de sus focos.
 2. El radio vector Sol-Planeta barre áreas iguales en tiempos iguales.



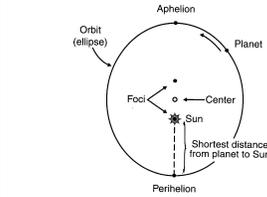
Kepler

- Continúa buscando relaciones matemáticas en el Sistema Planetario mientras trabaja en el catálogo de Brahe, hasta que en 1619 publica un libro “Harmonia Mundi” lleno de eccentricismos, pero donde se escondía su famosa tercera ley del movimiento planetario:
 - El cuadrado del período sideral de cada planeta es proporcional al cubo del semi-eje mayor de su órbita.
- Finalmente en 1629 publica las “Tablas Rudolfinas” resumiendo todas las observaciones de Tycho Brahe e interpretándolas con el modelo de Copérnico-Kepler.

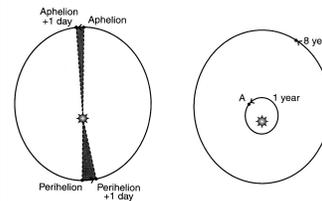
Tercera Ley de Kepler: $P^2 = a^3$

	Sidereal period P (yr)	Semimajor axis a (AU)	P^2	=	a^3
Mercury	0.24	0.390	.06		0.06
Venus	0.61	0.72	0.37		0.37
Earth	1.00	1.00	1.00		1.00
Mars	1.88	1.52	3.53		3.51
Jupiter	11.86	5.20	140.7		140.6
Saturn	29.46	9.54	867.9		868.3
Uranus	84.01	19.19	7,058		7,067
Neptune	164.79	30.06	27,160		27,160
Pluto	248.54	39.53	61,770		61,770

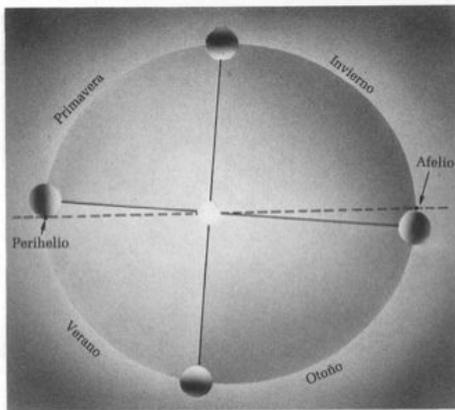
Johannes Kepler



1. Órbitas planetarias son elipses con el Sol en uno de sus focos.
2. El radio vector Sol-planeta barre áreas iguales en tiempos iguales.
3. El cuadrado del período sideral de cada planeta es proporcional al cubo de su distancia media al Sol.



Órbita Terrestre



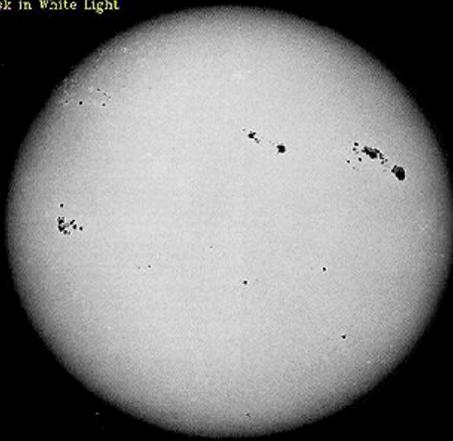
El Perihelio y Afelio no coinciden con los Solsticios, sino que están desplazados (hoy) aproximadamente por 2 semanas.

En 1986, la Tierra estuvo en el perihelio el día 4 de enero. La precesión de los equinoccios hace que la fecha del perihelio se desplace lentamente, cambiando a lo largo de los meses en el curso de 26.000 años.

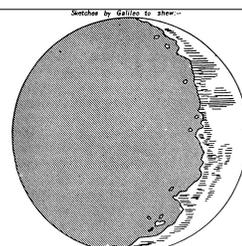
Galileo Galilei

- Gran físico italiano. Estudiando la caída de los cuerpos se da cuenta que todos caen con igual aceleración, independiente de su masa! Contradiciendo los postulados de Aristóteles.
- En 1609 se entera del descubrimiento del telescopio por ópticos holandeses y construye sus propios instrumentos, con los cuales hace numerosos descubrimientos que publica en 1610:
 - Manchas solares
 - Cráteres Lunares
 - Vía Láctea compuesta de estrellas
 - Satélites de Júpiter
 - Fases de Venus

The Solar Disk in White Light



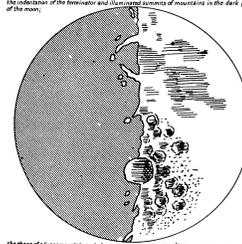
IAO A-001

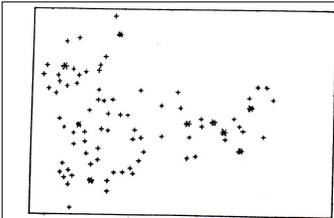


Galileo

Observa directamente los cráteres lunares. Estudiando sus sombras durante el mes lunar, determina la altura de varios de ellos:

La Luna NO es esférica!

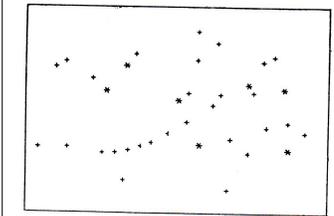




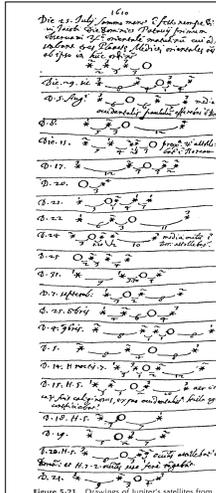
Galileo

Descubre numerosas estrellas nuevas en Orion, las Pleiades

...
La Vía Láctea está compuesta de millares de estrellas.



Galileo 'Siderius Nuncius'



Galileo

Cuatro satélites de Júpiter:
Demuestra que orbitan Júpiter observándolas durante meses, incluido el pase en las cercanías de una "estrella fija"

No todo gira en torno a la tierra!

Figure 5-31 Drawings of Jupiter's satellites from Galileo's Sidereus Nuncius

72 THE SIDEREAL MESSENGER.

attention of that atmosphere, they appear larger. Want of time prevents my going further into these matters; my readers may expect further remarks upon these subjects in a short time.

Original Configurations of Jupiter's Satellites observed by Galileo in the months of January, February, and March 1610, and published with the 1st edition of his book SIDEREUS NUNCIVS, Venice, 1610.

No.	DATE.	EAST.	WEST.
1	Jan. 7	* * * ○ *	
2	8		○ * * *
3	10	* * ○ *	
4	11	* * ○ *	
5	12	* * ○ *	
6	13	* ○ * * *	
7	15		○ * * * *
8	15		○ * * * *
9	16	* ○ * *	*
10	17	* ○ *	*

73 THE SIDEREAL MESSENGER.

No.	DATE.	EAST.	WEST.
11	Jan. 17	* * ○ *	*
12	18	*	○ *
13	19	* ○ * *	
14	19	* * ○ * *	
15	20		○ * * *
16	20	* ○ * *	
17	20		○ * * *
18	21	* * ○ *	*
19	22	* ○ * *	
20	22		○ * * *
21	23	* * ○ *	*
22	23	*	○ *
23	24	* * ○ *	
24	25	* * ○ *	
25	26	* ○ * * *	
26	26	* * ○ * *	*
27	27	*	○ *
28	30	* ○ * *	*
29	31	* * ○ *	*

74 THE SIDEREAL MESSENGER.

No.	DATE.	EAST.	WEST.
30	Jan. 31	* * ○ *	*
31	Feb. 1	* * ○ *	*
32	2	* * ○ * *	*
33	2	* * ○ * *	*
34	3	* * ○ * *	*
35	4	* * ○ * *	*
36	4	* * ○ * *	*
37	6		○ * * *
38	7	* * ○ *	
39	8	* * ○ *	
40	9	* * ○ *	*
41	10	* * ○ *	*
42	11	* * ○ *	*
43	11	* * ○ *	*
44	11	* * ○ *	*
45	12	* * ○ * *	*
46	13	* * ○ * *	*
47	15	* * ○ *	*
48	15	* * ○ *	*

75 THE SIDEREAL MESSENGER.

No.	DATE.	EAST.	WEST.
49	Feb. 15	* * ○ *	*
50	16	*	○ *
51	17	*	○ *
52	18	* * ○ *	*
53	18	* * ○ *	*
54	19		○ * * *
55	21		○ * * *
56	25	* * ○ *	*
57	26	*	○ *
58	26	*	○ *
59	26	○ * *	*
60	27	○ * *	*
61	28	Star ○	*
62	28	Star ○	*
63	Mar. 1	* * ○ *	*
64	2	* * ○ *	Star ○

Ptolomeo

Nunca se debe ver Venus lleno

Galileo

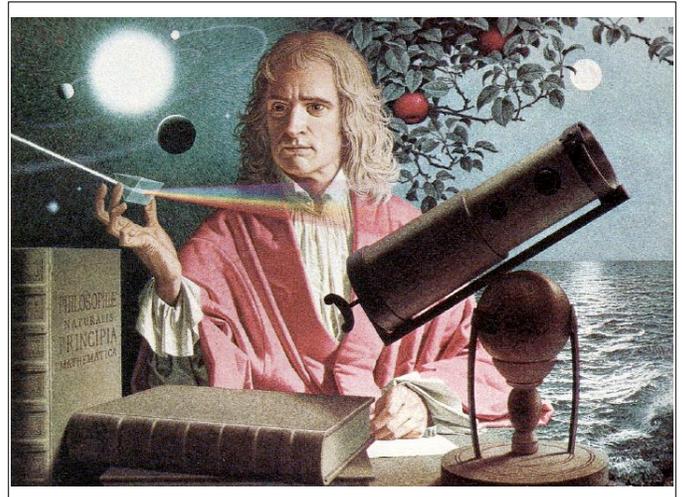
Venus muestra fases como la Luna!

$\alpha = 58''$ $\alpha = 42''$ $\alpha = 24''$ $\alpha = 15''$ $\alpha = 10''$

El Sistema Planetario: Newton

Acción a Distancia?

- Gilbert publica “On the magnet” en 1600, en el cual postula que la tierra es un gran imán.
- Kepler: el Sol atrae a los planetas
- Descartes: teoría de vórtices planetarios
- Hooke: fuerza gravitacional decae como r^{-2} ; dice que de este modo se reproducen las leyes de movimiento planetario de Kepler pero es incapaz de demostrarlo.



Isaac Newton

- Leyes de la Mecánica:
 1. Un cuerpo se mantiene en movimiento uniforme a menos que actúe una fuerza sobre el (Principio de inercia de Galileo).
 2. La tasa de variación de la cantidad de movimiento es igual a la fuerza aplicada
 3. Acción y reacción.
- Ley de Gravitación Universal:

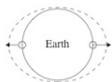
$$\mathbf{F}_{\text{grav}} = -\frac{GM_1M_2}{r_{12}^3}\mathbf{r}_{12}$$

Isaac Newton

- Leyes de Kepler son consecuencia de la Ley de **Gravitación Universal**
- Explicación física de las **mareas**.
- Determinación de la **forma de la tierra** utilizando experimentos de **péndulo**.
- Explicación de la **Precesión de los Equinoccios**
- **Óptica**
- **Cálculo**
- **Telescopio Reflector**

Mareas

- Son “fuerzas diferenciales” es decir relativas entre un punto y otro



Moon

$$\frac{a_{Luna}}{a_{Sol}} = \frac{M_L}{M_S} \frac{d_S^3}{d_L^3} \sim 2$$

- Dos mareas altas y dos bajas cada día
- Efectos Máximos en Luna nueva y Luna llena

Precesión de los Equinoccios

- Precesión de los equinoccios se deben al torque que generan el Sol y la Luna sobre el abultamiento ecuatorial de la tierra, intentando “enderezar” el polo de rotación terrestre con el polo eclíptico.

Isaac Newton

- Nacimiento de la Astrofísica:
 - Astronomía Gravitacional
 - Astronomía de Posición
 - Astronomía Galáctica y Extragaláctica (Herschel)

Astronomía Gravitacional

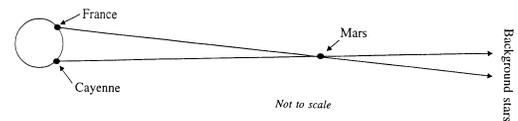
- A partir de los 18 cuerpos del Sistema Solar y las leyes de la Mecánica y la Gravitación; deducir posición y velocidad para todo objeto en todo tiempo. Sol, Mercurio, Venus, Tierra+Luna, Marte, Jupiter+4, Saturno+5+anillos
- O bien, intentar resolver el problema de 3 cuerpos
 - Teoría Lunar: $d_{\text{Sol}} \gg d_{\text{Luna}}$
 - Teoría Planetaria: $M_{\text{sol}} \gg M_{\text{planeta}}$
 - Clairant, Euler, D'Alembert, Lagrange, Laplace

Astronomía de Posición

- Observaciones precisas de posiciones estelares para determinar su paralaje anual.
- Observaciones precisas de Movimiento Lunar y/o Satélites de Júpiter con el objetivo de poder determinar la longitud en el mar.
 - Esto implicó un gran esfuerzo observacional debido a la importancia para la navegación, y a la existencia de un gran premio de 20000 libras establecido para tales efectos por la corona inglesa.
 - El objetivo era producir tablas con el momento de eventos astronómicos tales como la ocultación de una estrella por la Luna o de satélites por Júpiter. El marino podría entonces medir la hora local de un evento y comparar con la hora tabulada para un observador en Greenwich (por ejemplo), la diferencia de hora indica la longitud del barco.
- Medir la forma de la Tierra.
 - Experimentos de péndulo y medidas de un arco de meridiano en diversos puntos del globo.

Medida de la Unidad Astronómica

- Expedición francesa a Guyana para medir el paralaje geocéntrico de Marte en oposición (1671).



En el cielo se ve algo así:
Se obtuvo valor de UA con
10% de error.

