



ASTRONOMÍA PARA INGENIEROS INQUIETOS II

CICLOS Y FASES DE LOS PLANETAS



Este documento es de uso único e intransferible para el alumno matriculado en el curso. Cualquier reproducción física o digital del documento sin permiso de los autores vulnera los derechos de propiedad intelectual de los mismos.

ÍNDICE

ÍNDICE.....	3
1. CICLOS Y FASES DE LOS PLANETAS	4
1.1 Mercurio.....	4
1.2 Ciclos y fases de Venus	7
1.3 Ciclos y fases de Marte	28
1.4 El cinturón de asteroides	37
1.5 Júpiter y sus satélites	38
1.6 Los anillos de Saturno	54

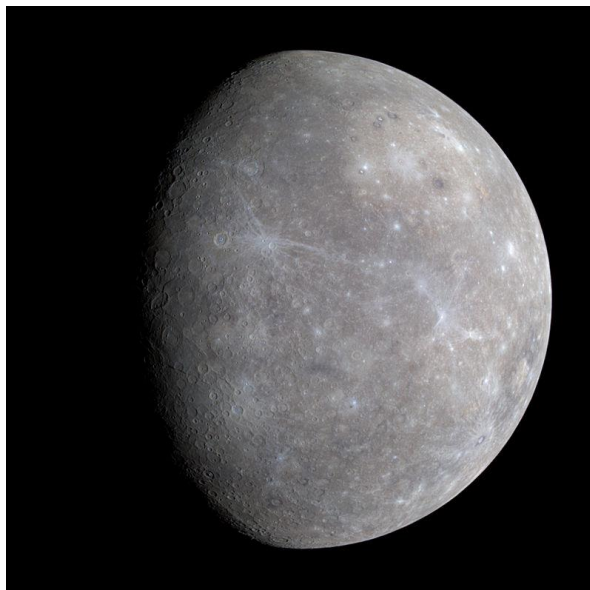
1. CICLOS Y FASES DE LOS PLANETAS

En este tema analizaremos cada uno de los ciclos y fases de los planetas más visibles. Y nos detendremos en aprender la utilidad que han tenido cada uno de ellos para el desarrollo de la ciencia.

1.1 Mercurio

Con Mercurio nos detendremos poco, porque prefiero explicar las fases de los planetas interiores cuando veamos Venus (en Mercurio será igual).

El planeta Mercurio es el más denso de todos los del sistema solar, después de la Tierra. En general, los planetas más densos se formaron más cerca del sol, y los menos densos (gaseosos) se formaron más lejos.



La Tierra parece ser una excepción porque es el planeta más denso de todos, y no es el más cercano. Esto se debe a que, como explicamos en el curso pasado, es muy posible que la Tierra haya sufrido una colisión importante con otro planeta, quedando ambos núcleos fusionados, y habiendo salido expulsada una parte más ligera (que luego formó la luna). De esta manera la Tierra quedó con una densidad mayor.

Que Mercurio es el más denso se averiguó en tiempos contemporáneos, obviamente. Pero llama la atención que este planeta siempre se relacionó desde muy antiguo con el metal Mercurio, de hecho llevan el mismo nombre. Y curiosamente ese metal es el más denso de la naturaleza.



Si recordamos los videos que vimos del movimiento de los planetas por la eclíptica, Mercurio era el planeta que más rápido se movía por ella. De hecho es el planeta que da vueltas al sol más rápidamente (tarda solo 88 días en dar la vuelta completa).

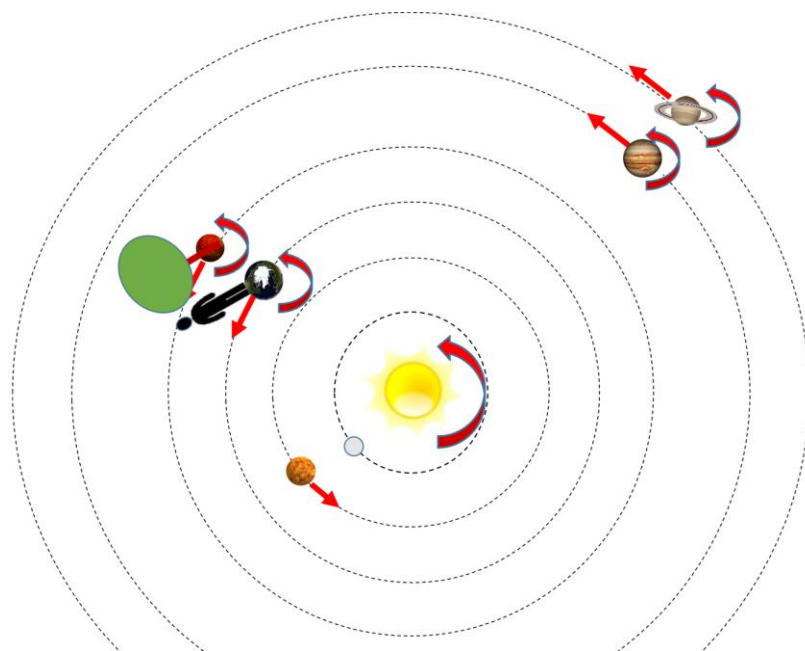
Es por esta razón que este planeta fue asociado con el Dios Mercurio, el dios mensajero de los pies alados, el más rápido del Olimpo. También es el dios de los “mercaderes”, que eran quienes en la práctica llevaban las noticias y mensajes de un lugar a otro en el mundo griego.



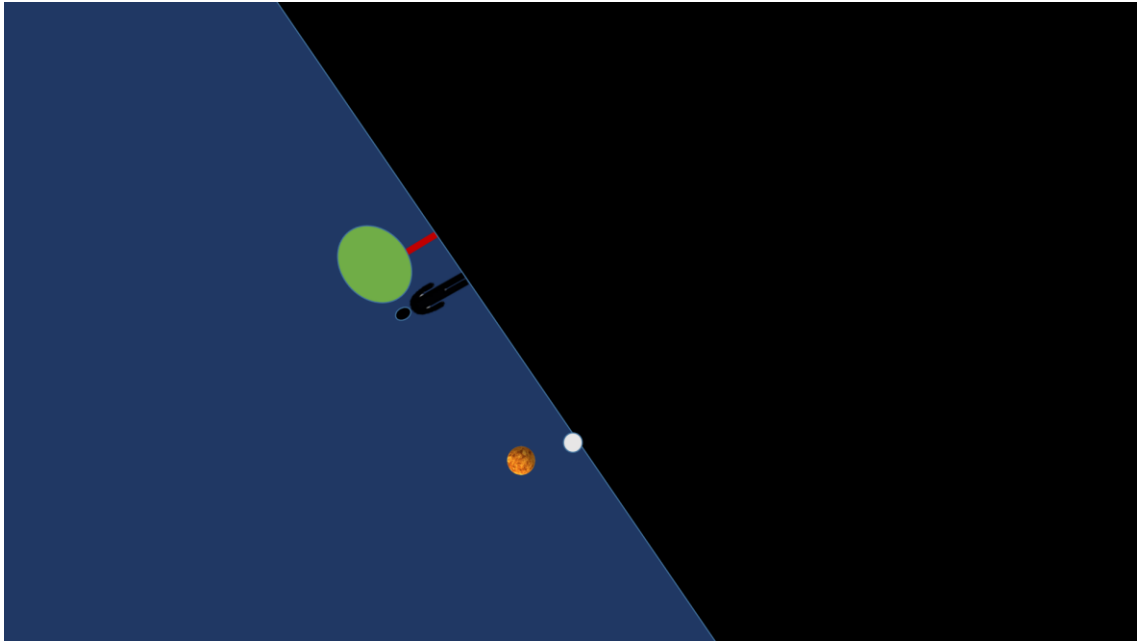
Al ser el planeta de órbita más interior, siempre lo veremos cerca del sol en el cielo. Por tanto solo lo podemos ver, o bien justo al atardecer, o bien justo al anochecer.

Es necesario estar muy precavido para localizarlo, porque aunque puede brillar bastante más que la mayoría de las estrellas, como aún está la claridad de la puesta del sol, apenas se le ve.

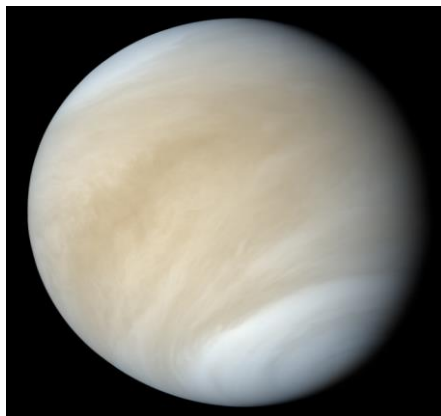
Si imaginamos una disposición de los planetas como esta, y nos colocamos a nosotros en la Tierra dando vueltas alrededor de sí misma:



Podemos fácilmente ver que justo antes del amanecer veremos a Venus y Mercurio:



1.2 Ciclos y fases de Venus



Estoy seguro de que alguna vez has visto Venus en el cielo y lo has confundido con un avión que, extrañamente, está parado en el cielo. Muchas personas no creen que, algo que brille tanto, puede ser un planeta o una estrella. Este astro nos ha maravillado siempre. Tanto cuando lo vemos por la tarde (la estrella vespertina), como cuando lo vemos por la mañana (el lucero del alba). No hay nada más bonito en el cielo. Para los romanos fue la Diosa de la Belleza.

Yo, Jesús, (...)

soy la raíz y la descendencia de David,

el lucero resplandeciente de la mañana.

(Apocalipsis 22,16)

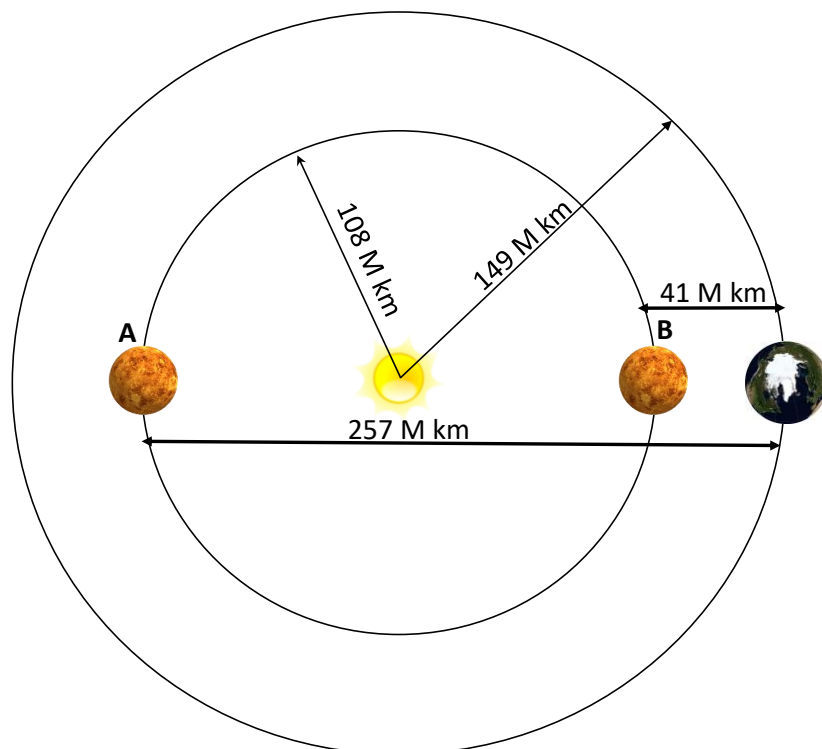
De momento, recuerda para siempre que ambos luceros son el mismo planeta en realidad.

En este apartado vamos a analizar cómo se ve, cuándo se ve y dónde se puede encontrar Venus.

Obviamos la explicación de Mercurio por ser casi idéntica.

1.2.1. El ciclo de Venus

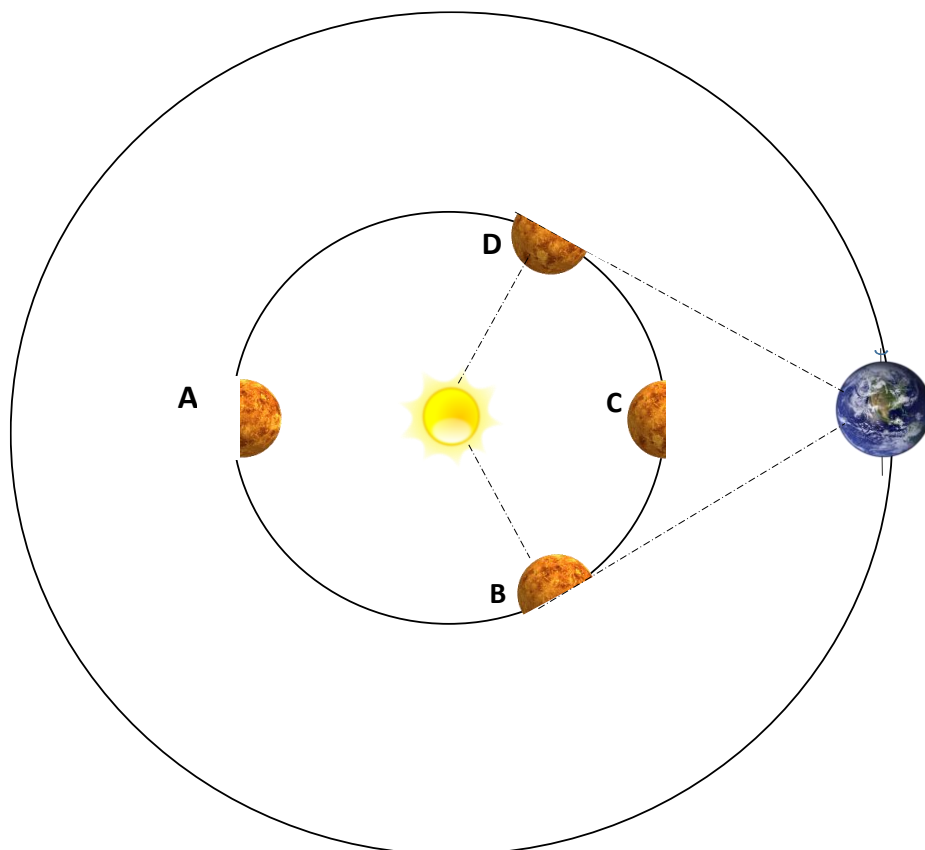
Para entender el ciclo de Venus debemos reflexionar sobre las diferentes posiciones relativas que este planeta puede tener respecto a nosotros. Como vemos en el gráfico, a diferencia de la luna o el sol, que siempre se encuentran aproximadamente a la misma distancia, Venus puede estar muy cerca o lejísimos.



Análisis de las distancias de Venus a la tierra

Cuando Venus se encuentra en A, su distancia a la Tierra es la suma de los “radios” de la órbita de cada planeta ($149+108 = 257$ Mkm). Sin embargo, si se encuentra en B, las distancias se restan ($149-108 = 41$ MKm).

Consideremos también las fases. Venus, como cualquier cuerpo opaco, y como la Luna, tendrá una cara iluminada por el sol, y una cara en sombra.



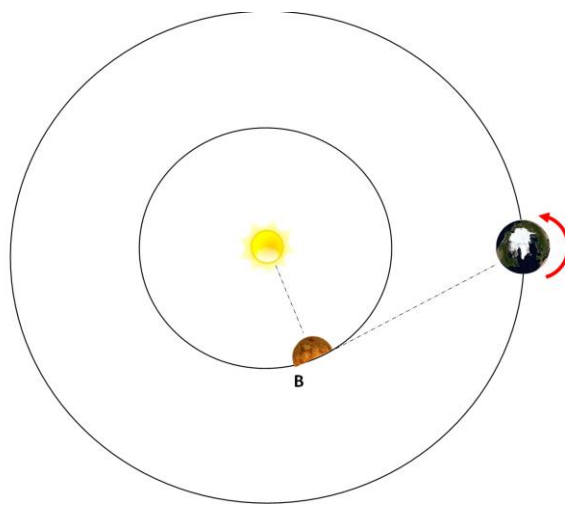
Análisis de las fases de Venus

Venus gira alrededor del sol, del punto A al D pasando por B y C. En el punto A y sus alrededores, veríamos desde la tierra a Venus totalmente iluminada (fase 100%), pero al encontrarse en la misma dirección del sol no conseguiremos verlo, porque el sol nos deslumbra e inunda el día con su luz. En el punto B veremos solo la mitad iluminada (fase 50%), una especie de cuarto menguante.

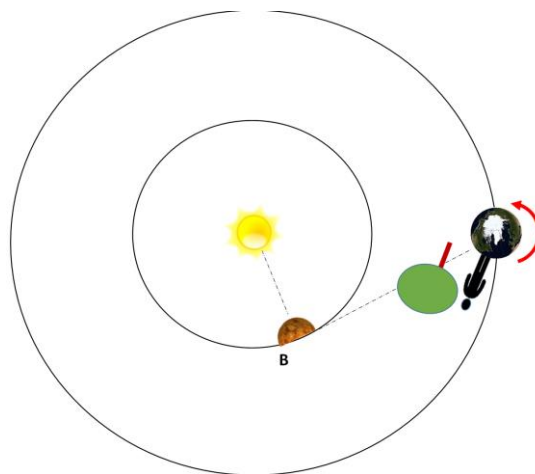
En el punto C no veremos a Venus porque siempre se muestra de día, y porque su cara iluminada no mira hacia nosotros (fase 0%) (es el caso equivalente a luna nueva). En el punto D veremos la mitad de Venus (fase al 50%), está en fase cuarto creciente. Estas son las fases de Venus.

Podemos aprovechar el dibujo también para analizar en qué momento de la noche podemos ver a Venus.

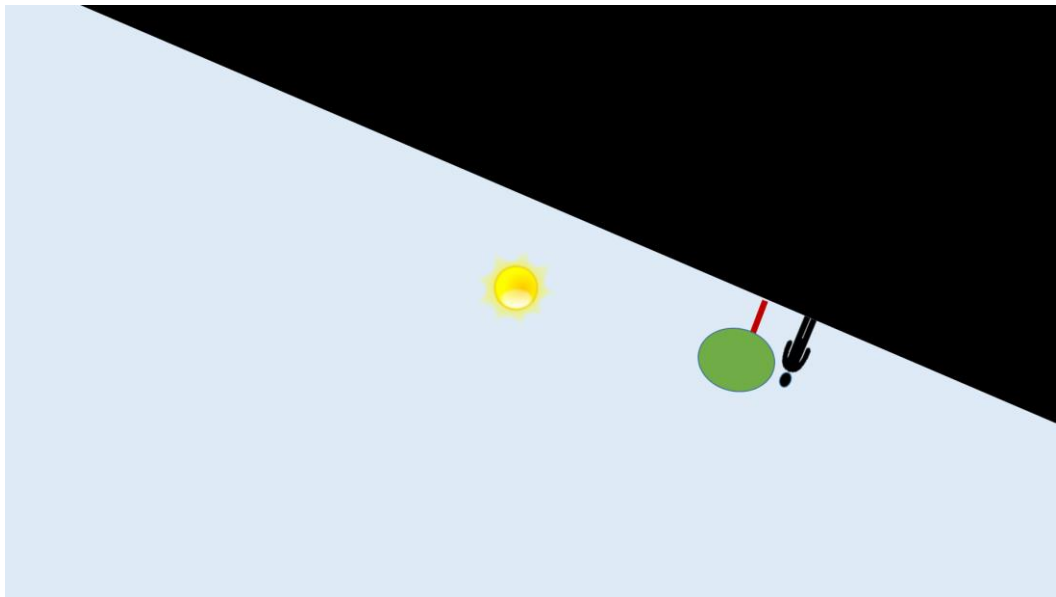
Cuando Venus está en B. Cuarto menguante.



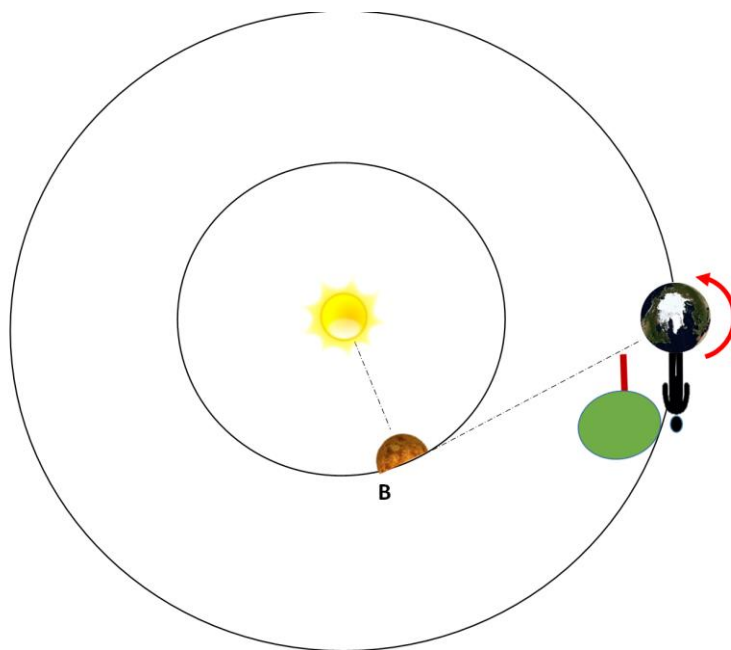
Nosotros, como siempre, estamos en la Tierra, girando alrededor de ella misma como un pollo asado.



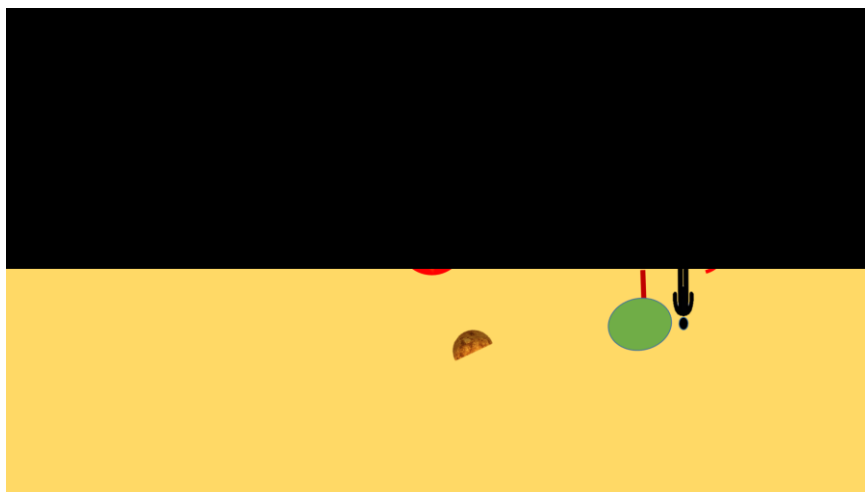
Cuando estamos en la posición del dibujo, es de día, y está a punto de atardecer. Como es de día todavía, aún no vemos Venus porque la luz del sol lo inunda todo, pero en realidad está ahí arriba en el cielo.



Un par de horas después la tierra ha girado 30 grados

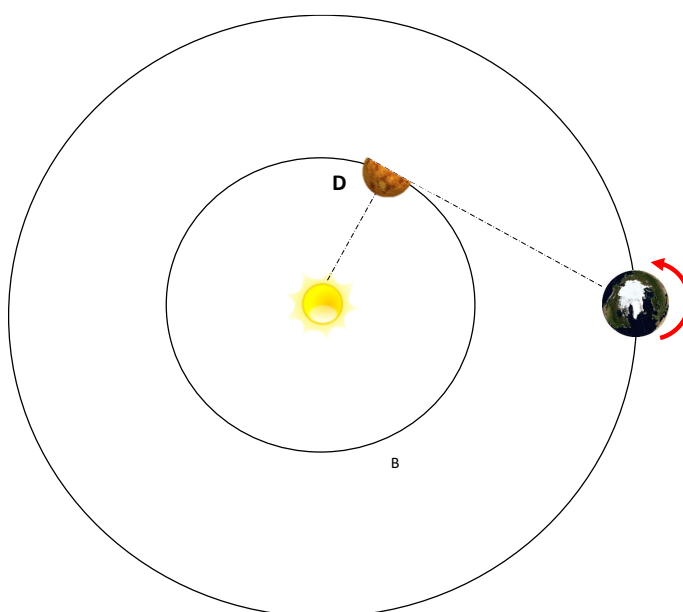


El sol ya se ha puesto y la luz del atardecer se hace más débil. Es el momento en que Venus, orgullosa, se muestra con toda su belleza.

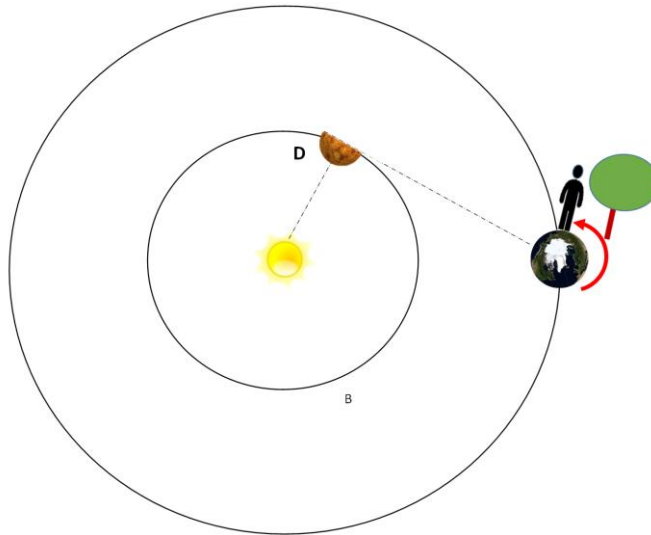


Fíjate que, si observamos a Venus con el telescopio en este momento, **lo veremos como si fuera una media luna.**

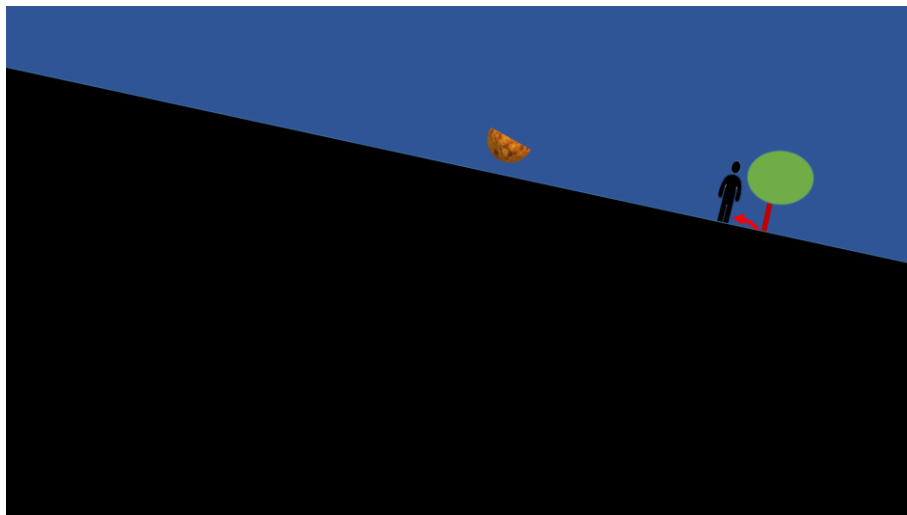
Pasados tres meses Venus habrá pasado por delante nuestra, y ahora se encuentra en el otro lado (posición D):



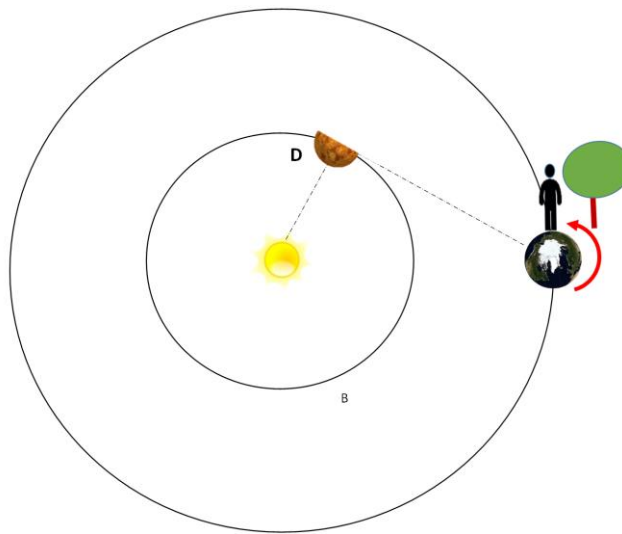
Y ahí seguimos nosotros, en la tierra, dando vueltas alrededor de nosotros mismos...



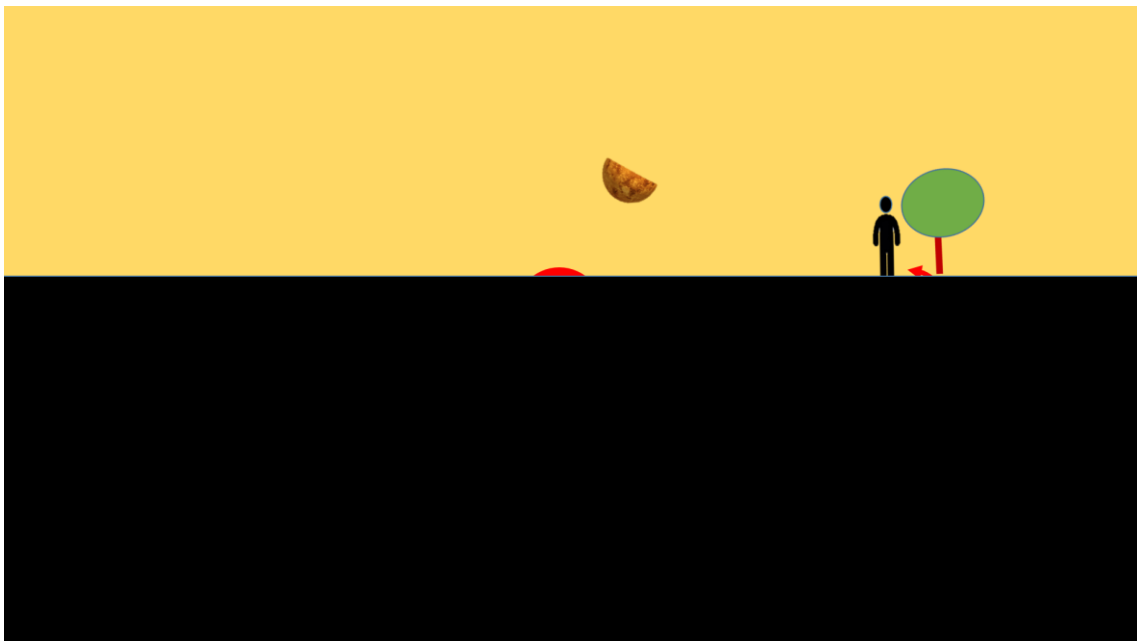
En la posición del dibujo, aun es de noche. El sol aún no ha salido y Venus ha salido hace una hora, mostrándose radiante:



Pasada una hora o dos, la tierra habrá seguido girando unos grados



Saldrá el sol de la mañana que inundará el cielo con su luz. Pocos minutos le quedan ya a Venus para dejar de ser visible, por muy bella que sea, no puede competir con la luz del sol.



El brillo de Venus

¿En qué momento brillará más Venus? ¿Cuándo esté en A (la cara completa iluminada pero a más distancia) o cuando esté en B (mitad de la cara iluminada pero a menos distancia)?

En primer lugar consideremos los factores que influyen en el brillo de Venus que percibimos en la Tierra:

- La potencia del sol. Es prácticamente constante.
- El albedo (porcentaje de luz que refleja el planeta). Es siempre el mismo y en el caso de Venus es de un 70%. Por ser una atmósfera llena de nubes refleja una buena parte de la energía solar que le llega.
- La fuerza con la que brilla Venus es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de Venus al sol. Esto es prácticamente constante en todo su recorrido, por ser una órbita casi circular.
- Pero, a su vez, el brillo de Venus que nos llega a la Tierra es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de Venus a la Tierra, y por tanto, la distancia a la que se encuentra este planeta es un factor muy importante a considerar, y ya vimos que varía mucho.
- La fase en la que se encuentra. Cuando está en una fase del 5% solo ese porcentaje de su disco nos ilumina.
- Por último, el brillo de Venus es directamente proporcional al cuadrado del radio de Venus. Este valor es siempre constante.

Calculemos ahora el brillo de Venus en cada caso. Para ello debemos tener en cuenta todos los factores antes mencionados:

Conocemos la potencia de la luz solar

$$P_{sol} = 3,8 \times 10^{26} \text{ W}$$

La potencia solar en W/m² que llega hasta la distancia en que se encuentra Venus es

$$P_{solar \text{ a la distancia de Venus}} = \frac{P_{sol}}{4 \times \pi \times D^2}$$

siendo D la distancia de Venus al sol.

La potencia (W) que refleja Venus es

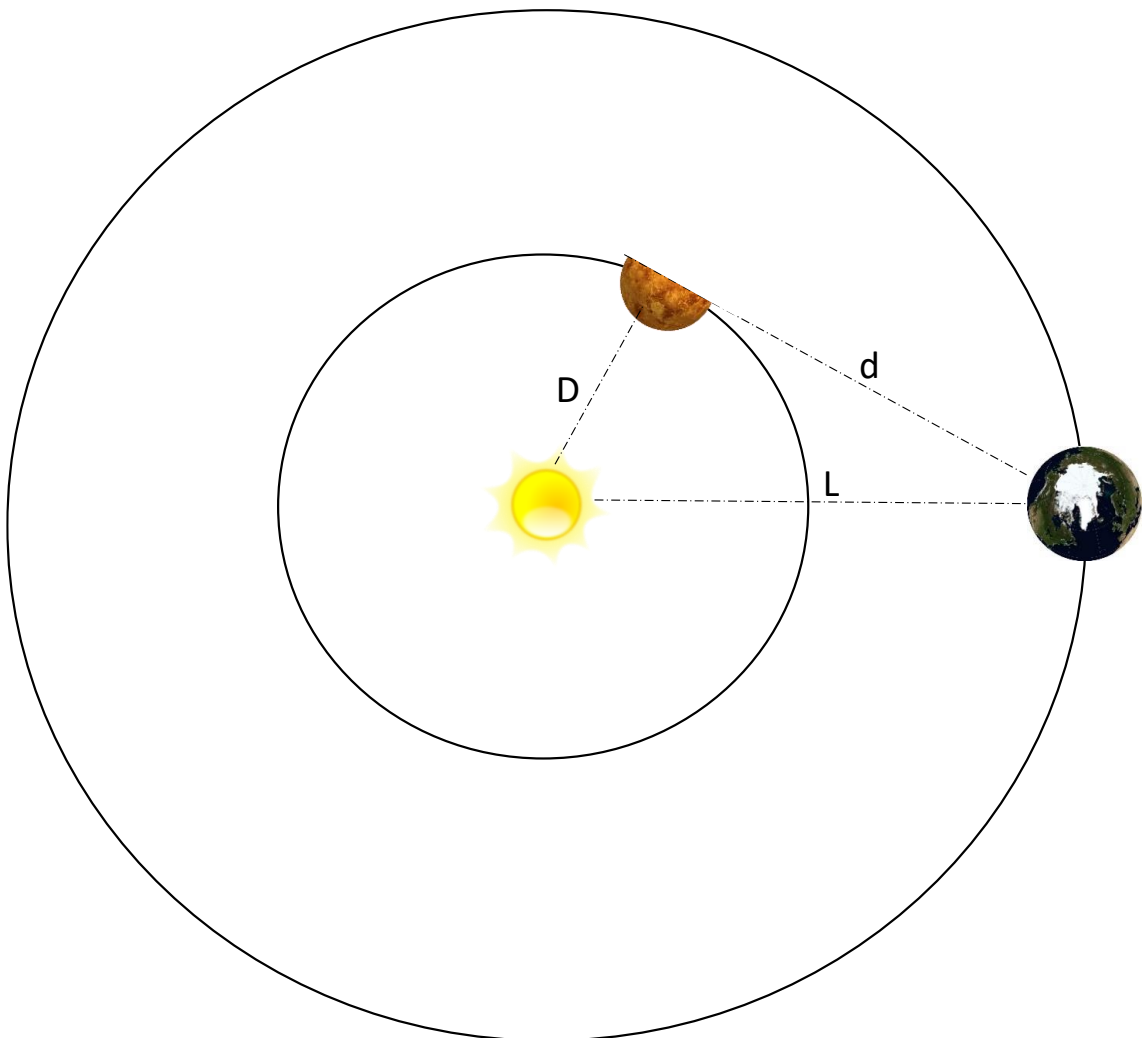
$$P_{\text{Venus reflejada}} = P_{\text{solar a la distancia de Venus}} \times \pi \times R^2 \times \text{Albedo}$$

siendo R el radio de Venus

La potencia (w/m2) de luz de Venus que nos llega a la Tierra es

$$\text{Brillo} = \frac{P_{\text{Venus reflejada}} \times \text{Fase (\%)}}{4 \times \pi \times d^2}$$

siendo d la distancia de Venus a la Tierra.



Quedaría pendiente explicar cómo podemos conocer d (distancia de la Tierra a Venus) cuando está en fase 50%. Según vemos en el gráfico, es fácil de calcular si conocemos D (distancia de Venus al Sol) y L (distancia de la Tierra al sol)

$$L^2 = d^2 + D^2$$

Con estas fórmulas obtenemos los siguientes cálculos:

VENUS			
Esquema			
Distancia de Venus al sol (miles de Km)	108.000	108.000	108.000
Diámetro (Km)	12.103	12.103	12.103
Distancia a la tierra (miles de Km)	41.600	103.519	257.600
Fase	5%	50%	100%
Tamaño aparente (miliradianes)	0,29	0,12	0,05
Albedo	0,70	0,70	0,70
Brillo de Venus (w) (reflejo de la luz solar)	2,10769E+23	2,10769E+23	2,10769E+23
Brillo de Venus en la tierra w/m2	0,48	0,78	0,25

Nótese la extraordinaria diferencia de la distancia de Venus a la tierra en cada una de las fases (se multiplica más de 5 veces)

Vemos que el brillo de Venus varía mucho. En realidad el brillo de Venus visto desde la Tierra es máximo cuando está en una fase aproximada al 25-30%. Pero sobre todo, hay que tener en cuenta que en esa fase se puede ver muy bien porque es posible verlo en momentos donde la luz solar no lo invade todo.



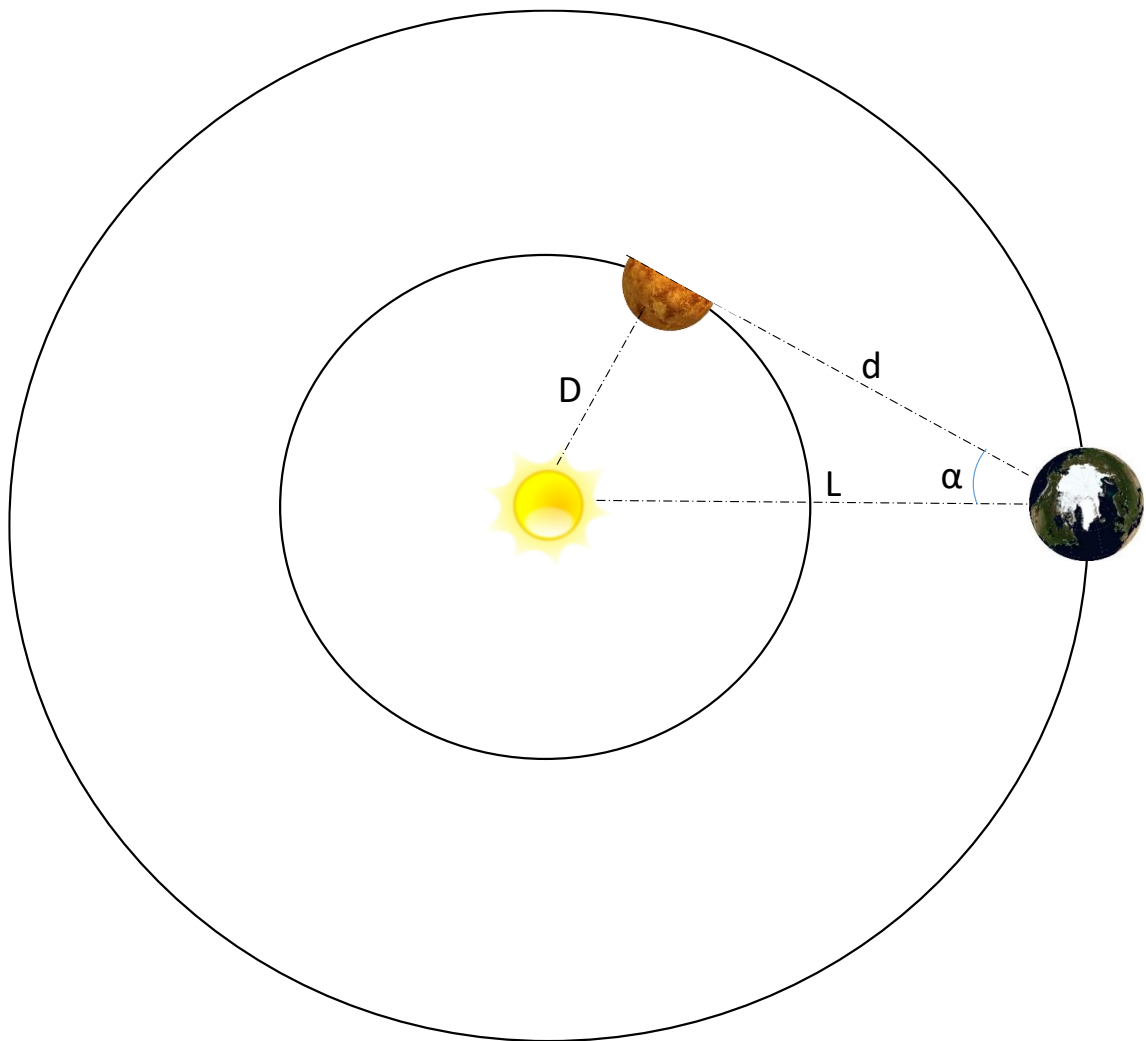
Venus con el telescopio (fase al 40% aproximadamente).

Tener la oportunidad de ver Venus con un telescopio, aunque sea de aficionados, es un auténtico privilegio. Si lo vemos desde un punto de vista relativo, muy pocas personas en la historia de la humanidad han tenido esta oportunidad. La belleza de Venus en sus distintas fases hipnotiza. Hablaremos de ello en el capítulo correspondiente a las observaciones astronómicas.

1.2.2. Cuánto tiempo podemos ver a Venus en el cielo

Ya hemos visto que al tratarse de un planeta que está más cerca del sol que la Tierra, Venus siempre lo veremos más o menos cerca del sol.

El momento en que veremos Venus lo más alejado posible del sol será cuando tenga una fase del 50%. Porque en este momento la visual Venus-Tierra es tangente a la órbita de Venus. Analicemos a continuación cuál es el arco visible que forman el sol y Venus desde la tierra, en ese momento, para analizar cómo de separado del sol puede llegar a verse Venus.



En el gráfico anterior vemos que podemos calcular fácilmente el ángulo α que forma la visual Venus-Tierra con la visual Venus-Sol cuando Venus tiene una fase del 50%:

$$\text{Seno } \alpha = D / L = 108 / 149,6 = 0,72$$

$$\alpha = 46^\circ$$

Es decir, el máximo arco de la visual Venus-Sol será de 46° . Si entramos en Sky Walk o en Solar Walk podemos ver que el 2 de Marzo de 2020 la fase de Venus es del 50% y este es el momento en que podemos disfrutar más tiempo de observar Venus. Ese día, desde que se pone el sol (20:00 h) hasta que se pone Venus (23:50 h), pasan casi cuatro horas.

El resto de días veremos a Venus cada vez menos tiempo.

Hemos visto que cuando Venus se va acercando a la Tierra se va viendo solo un % pequeño de su cara iluminada, pero se va viendo su radio más grande y cada vez brilla más.

Las fases de Venus considerando también su tamaño aparente:

<https://observatorio.info/2006/01/las-fases-de-venus/>

Al irse acercando a la tierra su ángulo aparente con el sol se va empequeñeciendo y se verá muy poco tiempo desde que se pone el sol, o muy poco tiempo hasta que amanece. Además al verse solo cuando acaba de ponerse el sol, su brillo queda eclipsado por la iluminación solar vespertina.

Venus es de una gran belleza y se ve perfectamente en cualquier ciudad. Es lógico que la diosa que se le asignó fuera Venus, la diosa de la belleza.

1.2.3. Ciclo de Venus

Si nos gusta ver a Venus en el atardecer (y no en el amanecer porque no nos gusta madrugar), nos gustará saber cuántos días tienen que pasar hasta que podamos verlo al atardecer.

Ya vimos que Venus completa una vuelta cada 224 días. Y la Tierra la completa cada 365 días. Por tanto la velocidad de giro de cada planeta es:

$$\omega_{Tierra} = 1 \text{ vuelta} / 365 \text{ días} = 0,00274 \text{ vueltas/día}$$

$$\omega_{Venus} = 1 \text{ vuelta} / 224 \text{ días} = 0,00446 \text{ vueltas/día}$$

Por tanto Venus, que es más rápida, habrá doblado a la Tierra cuando se vuelvan a encontrar y, por tanto, habrá dado una vuelta más, pero ¿cuántos días pasarán?

$$\text{Número de vueltas de Venus} = \text{Número de vueltas de La Tierra} + 1$$

$$\omega_{Venus} \times N = \omega_{Tierra} \times N + 1$$

$$N = 584 \text{ días}$$

Es decir, cada año y 219 días volveremos a ver este espectáculo. Cuando lo veamos, disfrutémolo.

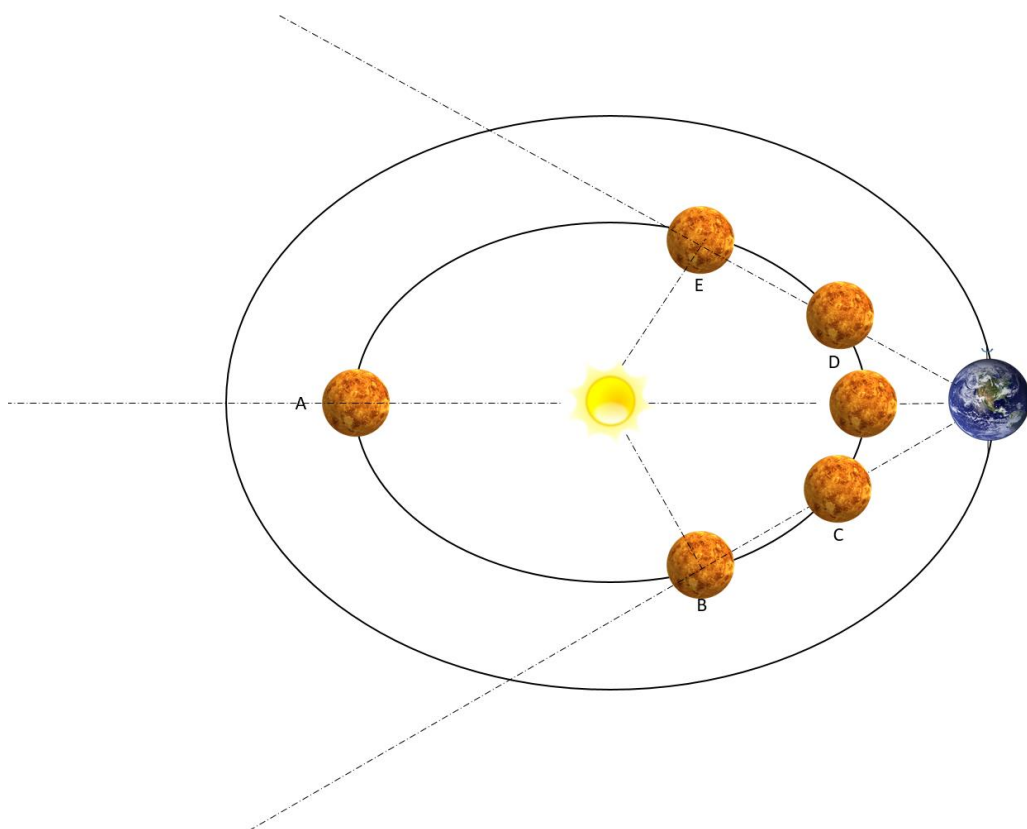
1.2.4. Aceleración, avances y retrocesos de Venus en la eclíptica

El movimiento de los planetas que percibimos desde la Tierra es realmente complicado. La mayor parte del tiempo parecen avanzar por la eclíptica en el mismo sentido que avanza el sol. Pero de repente se detienen unos días en una constelación y luego ¡comienzan a retroceder! Luego se paran de nuevo unos días y comienzan a avanzar de nuevo. Esto fue un problema científico de primera magnitud durante milenios.

Cuando un planeta se mueve por la eclíptica del cielo en el sentido contrario al movimiento que hace el sol a lo largo del año, se dice que está en retrogradación. Venus tiene una retrogradación de 42 días, es decir, durante 42 días tiene un movimiento aparente en dirección contraria.

Vamos a explicar ahora que este movimiento retrógrado es debido al movimiento combinado de la Tierra y Venus.

Venus tarda en dar la vuelta al Sol 224 días, es decir, es más rápido dando vueltas que la Tierra, que tarda 365 días.



Explicación del movimiento retrógrado de Venus (desde los puntos C al D)

Una explicación simplificada del fenómeno se puede ver en el dibujo de arriba. Desde el punto E al punto B la proyección de Venus sobre el fondo de estrellas (sobre la eclíptica) se moverá en el sentido del sol (de arriba abajo en el dibujo). ¡Desde el punto B al punto C el planeta parece haberse frenado! (porque la visual del planeta se mantiene orientada en la misma dirección durante un buen tramo). Finalmente desde los puntos C al D, durante 42 días, el planeta comienza a retroceder por la eclíptica, movimiento que fue desconcertante para los primeros astrónomos. Del D al E de nuevo se frena, y luego reinicia su movimiento regular por la eclíptica, siempre cerca del sol.

Esta explicación la puedes ver muchísimo más clara en el video del curso.



El hecho de que Venus y el resto de planetas no viajaran de forma uniforme por la eclíptica es uno de los fenómenos que más desconcertó a los antiguos. Estos extraños movimientos de los planetas tuvieron que ser explicados, como veremos, con supuestas esferas que giraban unas sobre otras (esquema de Ptolomeo).

Sin embargo la propuesta de Copérnico (todo gira alrededor del sol incluida la Tierra) simplificaba todo esto, y además explicaba por qué Venus y Marte cambiaban su brillo de manera tan acusada. Una prueba importante del modelo heliocéntrico la ofreció Galileo cuando pudo ver las fases de Venus con el telescopio. Más adelante explicaremos todo esto en detalle.

PRACTICA:

Con la App Star Walk haz clic en Venus y mueve la escala de tiempos para comprobar como Venus realiza el movimiento retrógrado. Situándote en el año 2017, apunta entre qué días realiza dicho movimiento anómalo

Utilizando la App Star Walk es fácil ver el movimiento retrógrado de Venus. Se observa como del 21 de feb de 2017 al 5 de marzo se queda parada en el Centro de Piscis. Luego inicia su movimiento retrógrado, cruzándose con el sol que viaja por la eclíptica en sentido contrario, hasta el 16 de abril donde nuevamente se frena al final de la constelación de piscis, casi en acuario. Para enseguida reiniciar la marcha regular de nuevo por la eclíptica en el sentido del sol. No se volverá a frenar hasta el 28 de Septiembre de 2018, completándose así el ciclo de 584 días que habíamos visto.

Es muy interesante ver también en la App Solar Walk como se corresponden estos movimientos con la situación de los planetas en el sistema solar en esos días. Se puede observar cómo Venus se va acercando a la Tierra y el 21 de Febrero comienzan a moverse juntas apuntando siempre en la misma dirección hasta el 5 de Marzo, fecha en que Venus comienza el paso por delante de la Tierra.

1.2.5. Rotación de venus

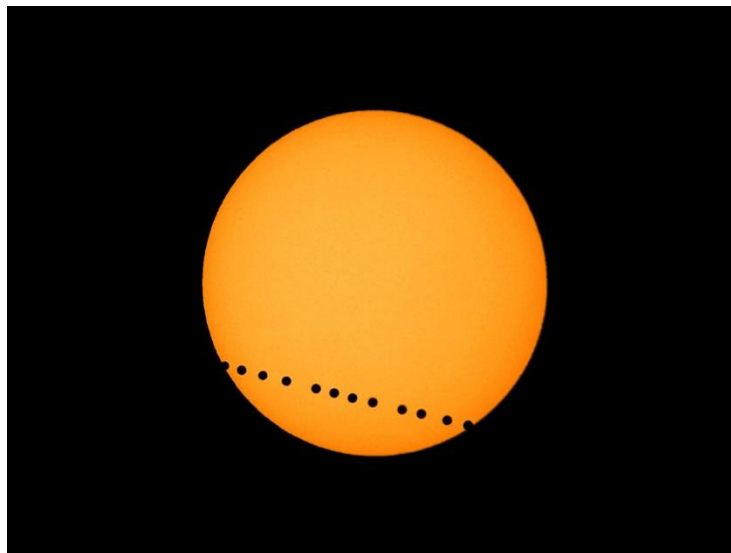
Venus es el planeta con la órbita más circular de todas (con menor excentricidad). Posee además el día más largo del sistema solar (243 días terrestres), gira por tanto muy lentamente alrededor de sí mismo y es la gran excepción entre los planetas porque gira **en el sentido contrario al resto**.

Se proponen distintas hipótesis para esta anomalía. Una posible es el choque colosal de un objeto celeste, o bien la inestabilidad en el eje de giro que habría girado casi 180°.

1.2.6. Tránsito de Venus. Cálculo de la distancia del sol y de su diámetro

El tránsito de Venus se da cuando este planeta se coloca justo entre el Sol y la Tierra de manera que se ve su silueta pasar por delante del disco solar.

Solo Mercurio y Venus tienen tránsito solar, porque solo estos dos planetas están entre el Sol y la Tierra. El resto transitan por detrás del sol.



Tránsito de Venus

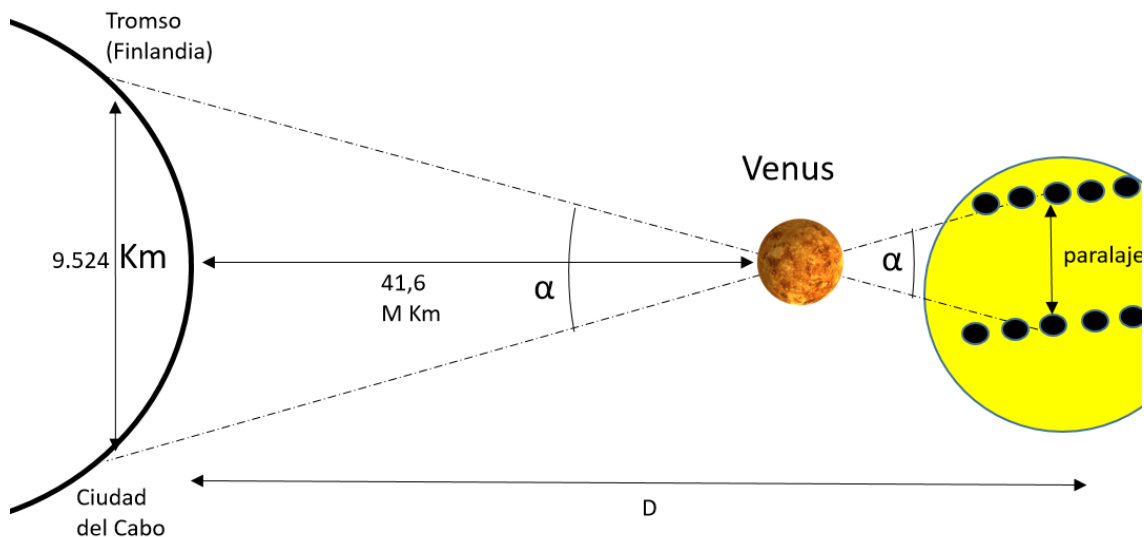
Este fenómeno ha sido utilizado, desde el siglo XVII, para intentar medir de manera más exacta la distancia del Sol a la Tierra.

Sir Edmond Halley, el famoso descubridor del cometa, impulsó las campañas científicas para la observación de los tránsitos de Venus que se sabía que tendrían lugar en los años 1761 y 1769. De hecho el tránsito de 1761 es considerada como **la primera campaña científica internacional a gran escala**. Más de 130 diferentes expediciones en todo el mundo realizaron 151 observaciones en 77 lugares diferentes del globo.

El procedimiento consiste en observar el fenómeno desde dos lugares muy alejados entre sí que estén en el mismo meridiano. Por ejemplo Tromso en Finlandia (Latitud +69,56°) y Ciudad del Cabo en Suráfrica (Latitud -33,92°).

En el gráfico se puede ver como desde Ciudad el Cabo veremos el fenómeno de las sombras de Venus en el Sol un poco más arriba que desde Finlandia. Esta diferencia de ángulo de la visual desde la Tierra se llama Paralaje.

Explicamos a continuación un método simplificado para calcular la distancia del sol a partir del paralaje.



En primer lugar es preciso calcular la distancia en línea recta entre ambas ciudades, entendiendo por “línea recta” la que atravesando la Tierra evita la curvatura de su superficie.

Con el conocimiento del Seno de los ángulos de las latitudes es fácil calcular que la Distancia en línea recta entre ambas ciudades:

$$H = R_{Tierra} \times \text{Seno} (Lat_{Tromso}) + R_{Tierra} \times \text{Seno} (Lat_{Ciudad\ del\ Cabo})$$

$$H = 9.524\text{ Km}$$

	Latitud (°)	Latitud (rad)
Tromso	69,565	1,2141
Htromso		5.969
Ciudad del Cabo	33,92	0,5920
Hciudaddelcabo		3.555
Dist recta entre ciudades		9.524

Además, por trigonometría es fácil plantear las fórmulas que son necesarias para el cálculo de la distancia del Sol a la Tierra (D)

$$H / D_{Venus-Tierra} = \alpha \text{ (en radianes)}$$

$$\text{Paralaje} / (D - D_{Venus-Tierra}) = \alpha \text{ (en radianes)}$$

Por otra parte ya se conocía desde antiguo que el ángulo que ocupa el sol en el cielo es 0,00933 radianes (tamaño relativo del sol), y por tanto

$$Diam_{Sol} / D = 0,00933$$

De estas tres fórmulas, los investigadores ya tenían, antes del tránsito de Venus, los siguientes valores conocidos:

- $D_{Venus-Tierra}$ en el momento de la oposición= 41.600.000 Km. Distancia que se había calculado por paralaje previamente con el mismo procedimiento que ya se explicó para la luna en el curso anterior.
- $H = 9.524$ Km

El paralaje, midiéndolo por diferencia entre la imagen fotografiada en Ciudad del Cabo y la imagen del tránsito fotografiada en Tromso, resultó ser equivalente al 1,77% del Diámetro del sol, de donde se obtiene una nueva fórmula:

$$\text{Paralaje} / Diam_{Sol} = 0,0177$$

Por tanto, era conocida la siguiente tabla de datos:

Dist recta Tromso-CiudadCabo (km)	9.524
Distancia VenusTierra (Km)	41.600.000
DiamSol/D (conocido)	0,009333
α (radianes)	0,000229
Paralaje/DiamSol	1,77%

Simplificando las fórmulas se obtiene:

$$0,000229 = 0,00177D / (D-41.600.000)$$

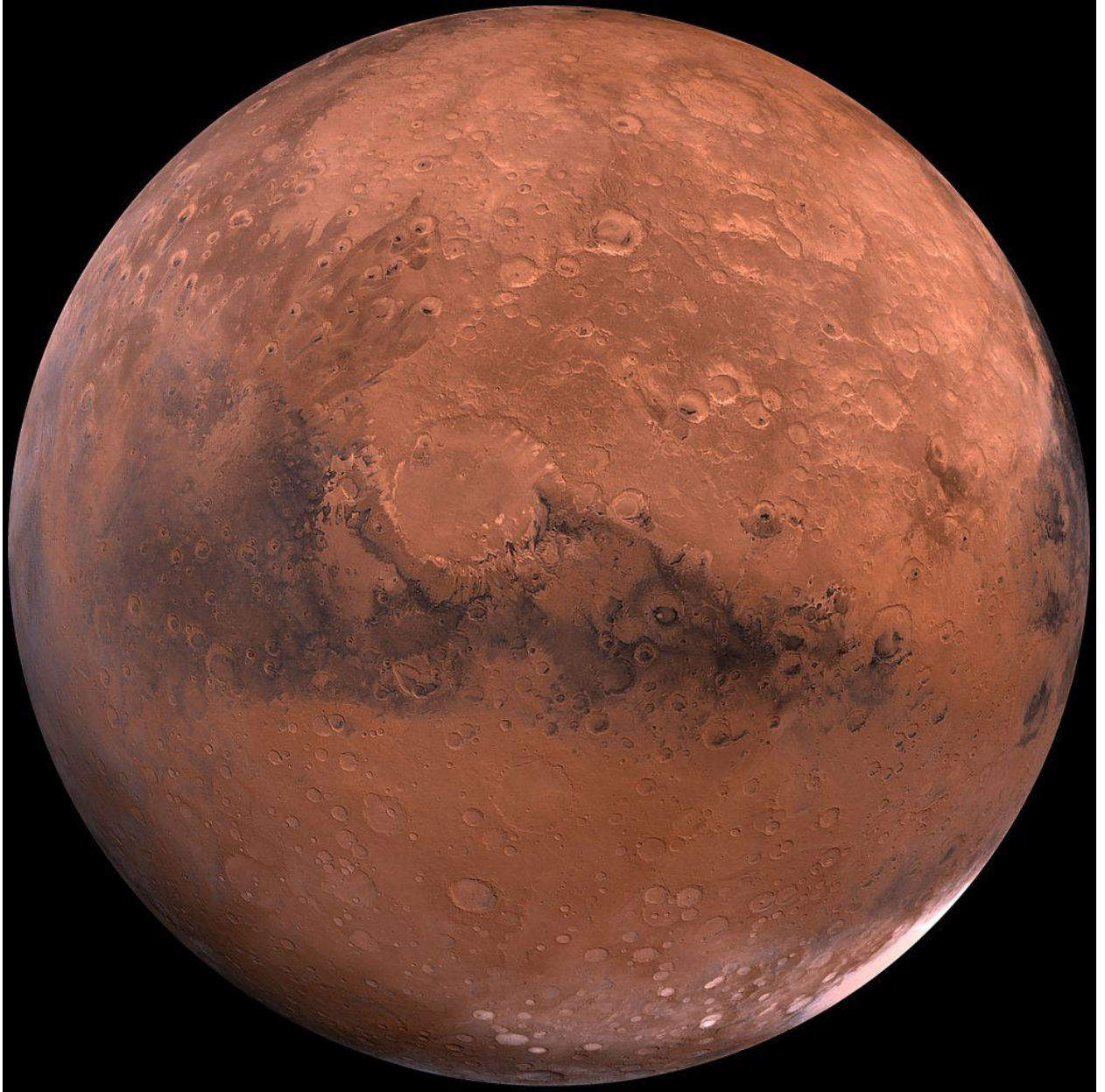
Despejando D se obtiene $D = 150.000.000$ Km

Así se conoció que el sol se encuentra a una distancia de 150 M de Km.

Y por tanto, $Diam_{Sol} = 150.000.000 \times 0,00933 = 1.400.000$ Km

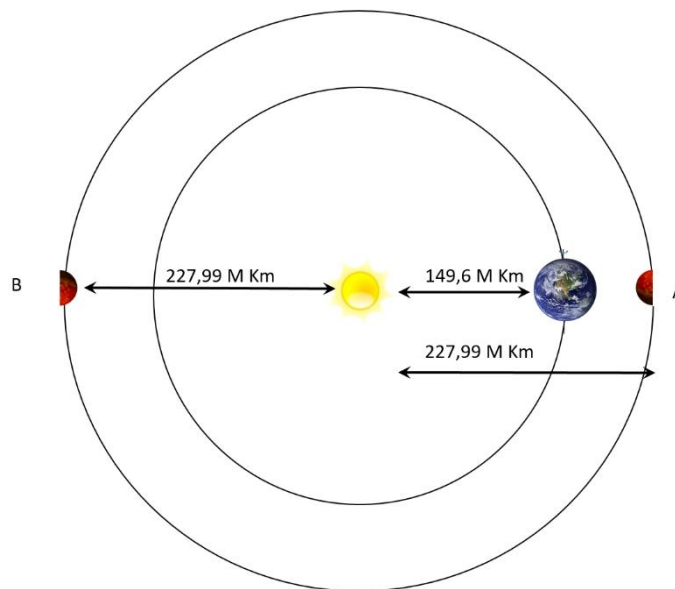
Por tanto, en un solo día, la humanidad descubrió de una manera ya más exacta la distancia entre el Sol y la Tierra y el diámetro del sol.

1.3 Ciclos y fases de Marte



Marte es el planeta rojo. Es lógico que fuera asociado desde antiguo con la sangre y con el Dios de la guerra (el Marte romano).

Al tratarse de un planeta que está más alejado del Sol que la Tierra, el esquema de sus movimientos va a ser distinto que el de Venus. Al igual que hicimos con Venus, analicemos en primer lugar su tamaño aparente desde la Tierra:



Análisis de las distancias de Marte a la tierra

Vemos en el gráfico como la distancia de Marte a la Tierra varía de manera impresionante en función de la posición de cada uno de los dos planetas respecto al sol. En el punto B se suman las distancias. En el punto A se restan. Consideremos también las fases. En el caso de Marte, al ser un planeta más exterior que la Tierra, se va a ver toda la cara iluminada o casi (siempre serán fases superiores al 50%).

Analizando el dibujo es fácil darse cuenta de que a Marte podremos encontrarle en cualquier sitio, es decir, podrá verse a media noche sin problemas (cuando esté en el punto A) o muy cerca del sol cuando esté en el punto B.

Analicemos por último su brillo. ¿En qué momento brillará más Marte?

MARTE		
Esquema		
Distancia de Marte al sol (miles de Km)	227.990	227.990
Diámetro (Km)	6.794	6.794
Distancia a la tierra (miles de Km)	78.390	377.590
Fase	100%	100%
Tamaño aparente (miliradianes)	0,09	0,02
Albedo	0,15	0,15
Brillo de Marte (w) (reflejo de la luz solar)	3,19359E+21	3,19359E+21
Brillo de marte en la tierra w/m2	0,04	0,002

Nótese que la distancia de Marte a la tierra se multiplica más de 5 veces entre un punto y otro.

La diferencia de brillo de Marte en un caso y el otro es enorme.

Por tanto, ¿cuándo brillará más Marte? Cuando lo encontremos en lo alto del cielo a media noche (en el punto A).



Marte visto con el telescopio

Debo reconocer que observar Marte con un telescopio de aficionados decepciona un poco. Se ve un círculo pequeño y rojizo pero se distinguen pocas cosas más. No tiene satélites y las fases son poco definidas, es decir, casi siempre se ve un círculo más o menos completo. Quizás con un telescopio de mayor precisión ofrezca una mucho mejor experiencia.

Sin embargo, a simple vista en el cielo, hay momentos en que ofrece una imagen realmente bella por ser un punto de luz roja intenso. Especialmente cuando está en oposición (fase 100% y muy cercano a la tierra). Con la aplicación STAR WALK es fácil ver que a mediados de Octubre de 2020 se ve magnífico (en oposición al sol).

1.3.1. Como reconocer Marte en el cielo

Analicemos ahora cómo podemos distinguir Marte del resto de astros del cielo. En primer lugar, al tratarse de un planeta, como en el caso de Venus, está siempre en el plano de la eclíptica (dado que todos los planetas giran alrededor del sol en el mismo plano).

Pero a diferencia de Venus, Marte por ser un planeta exterior podemos encontrarlo cerca del sol o totalmente en el otro lado. Es decir, según en dónde se encuentre, podemos verlo al atardecer, al amanecer o totalmente a media noche.

Por último Marte es fácil de reconocer por su brillo particularmente rojo. Como vimos al principio del curso, es posible que se confunda con algunas estrellas que también tienen este particular brillo rojo (Aldebarán por ejemplo), sin embargo, ya sabemos que las estrellas titilan y que los planetas no. Y además Marte estará siempre en la eclíptica.

1.3.2. Ciclo de Marte

Si nos gusta ver a Marte brillando exultante y rojo en lo alto de la noche, nos gustará saber cada cuánto tiempo es posible ver este espectáculo.

Marte completa una vuelta cada 686 días y la Tierra la completa cada 365 días. Por tanto la velocidad de giro de cada planeta es:

$$\omega_{Tierra} = 1 \text{ vuelta} / 365 \text{ días} = 0,00274 \text{ vueltas/día}$$

$$\omega_{Marte} = 1 \text{ vuelta} / 686 \text{ días} = 0,00146 \text{ vueltas/día}$$

Por tanto La Tierra, que es más rápida, habrá doblado a Marte cuando se vuelvan a encontrar y, por tanto, habrá dado una vuelta más, pero ¿cuántos días pasarán?

$$\text{Número de vueltas de La Tierra} = \text{Número de vueltas de Marte} + 1$$

$$\omega_{Tierra} \times N = \omega_{Marte} \times N + 1$$

$$\mathbf{N = 780 \text{ días}}$$

Es decir, cada **2 años y 50 días** volveremos a ver este espectáculo.

Haz por un segundo la reflexión de que el tiempo asociado al ciclo de Marte, desde tiempos inmemoriales, ha sido siempre 780 días, y no el que le asociamos ahora (686 días). Porque lo que siempre ha visto el hombre es que el ciclo de Marte se repetía cada 780 días. Es ahora cuando somos conscientes de que en realidad su ciclo alrededor del sol es de 686 días.

Como en el caso de Venus, estemos atentos para que cuando este espectáculo suceda cada dos años, lo disfrutemos.

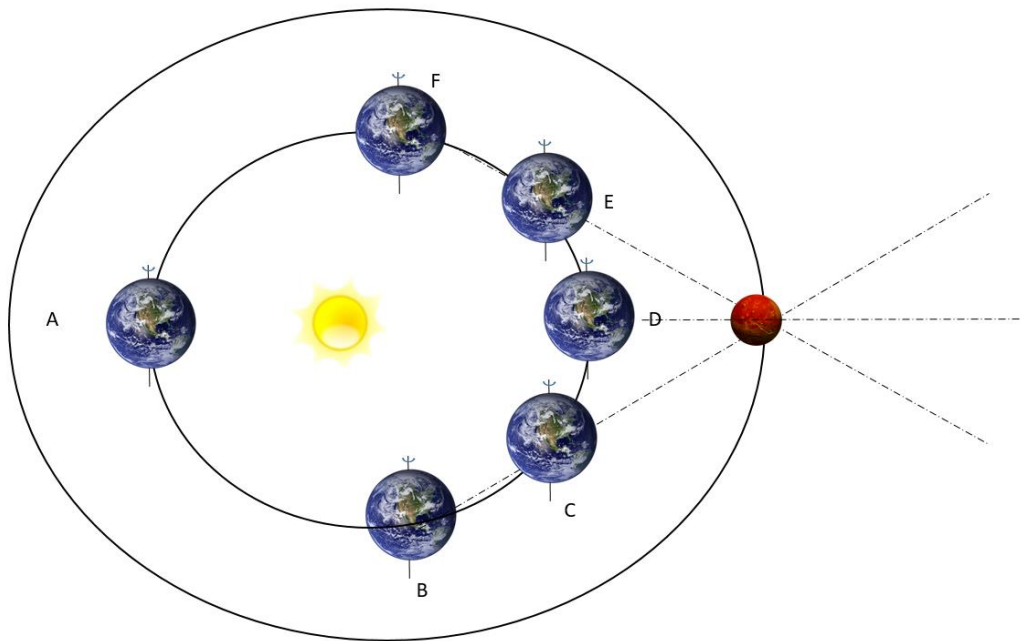
MARTE		
Esquema		
Distancia de Marte al sol (miles de Km)	227.990	227.990
Diámetro (Km)	6.794	6.794
Distancia a la tierra (miles de Km)	78.390	377.590
Fase	100%	100%
Tamaño aparente (miliradianes)	0,09	0,02
Albedo	0,15	0,15
Brillo de Marte (w) (reflejo de la luz solar)	3,19359E+21	3,19359E+21
Brillo de marte en la tierra w/m2	0,04	0,002
Año de Marte (en días terrestres)	687,0	687,0
Ciclo de Marte (días terrestres)	779,9	779,9

1.3.3. Aceleración, avances y retrocesos de Marte en la eclíptica

Marte, al igual que Venus, también sufre retrogradaciones. En concreto tiene retrogradación durante 73 días. Veamos por qué se produce.



Retrogradación de Marte en la eclíptica (73 días)



Explicación del movimiento retrógrado de Marte (desde los puntos C al D)

Una explicación simplificada del fenómeno se puede ver en el dibujo de arriba. Dado que la Tierra gira más rápido que Marte, para simplificar el movimiento consideremos que Marte está quieto (aunque hay que imaginar el dibujo completo girando en el sentido contrario a las agujas del reloj). Desde el punto F al punto B la proyección de Marte sobre el fondo de estrellas (sobre la eclíptica) se moverá en el sentido del sol (de abajo a arriba en el dibujo). ¡Desde el punto B al punto C Marte parece haberse frenado! porque desde la Tierra siempre le vemos proyectado en la misma estrella. Finalmente desde los puntos C al E, durante 73 días, el planeta comienza a retroceder por la eclíptica (su proyección en el dibujo se mueve de arriba abajo). Del E al F de nuevo se frena, y luego reinicia su movimiento regular por la eclíptica.

Esta explicación la puedes ver muchísimo más clara en el video del curso.

El astrónomo danés del siglo XVI Tycho Brahe anotó con increíble precisión cada una de las posiciones de Marte en el cielo, día tras día. Los datos sobre el movimiento retrógrado aparente permitieron a Kepler hallar la naturaleza elíptica de su órbita y determinar las leyes del movimiento planetario conocidas como leyes de Kepler. Esto lo veremos más adelante.

PRACTICA:

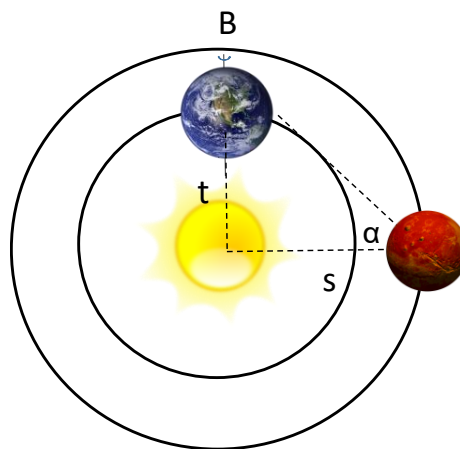
Con la App Star Walk haz clic en Marte y mueve la escala de tiempos para comprobar como Marte realiza el movimiento retrógrado. Situándote en el año 2017, apunta entre qué días realiza dicho movimiento anómalo

Utilizando la App Star Walk es fácil ver el movimiento retrógrado de Marte. Se observa como del 22 de Junio de 2018 al 7 de Julio se queda parada en Capricornio. Luego inicia su movimiento retrógrado hasta el 24 de Agosto, donde nuevamente se frena hasta el 31 de Agosto, para enseguida reiniciar la marcha regular, muy despacio, de nuevo por la eclíptica en el sentido del sol.

En el momento en que Marte realiza su movimiento retrógrado es cuando Marte está más cerca de la tierra, y cuando más brilla y se ve además a media noche alto en el cielo.

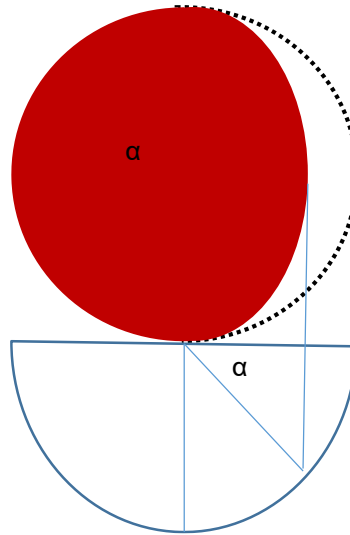
Es recomendable ver también en la App Solar Walk como se corresponden estos movimientos con la situación de los planetas en el sistema solar en esos días.

Calculemos ahora la mínima fase con la que podremos ver Marte. La distancia de Marte al sol es un 50% mayor que la distancia de la Tierra al sol. Es decir, en el dibujo, s es un 50% mayor que t

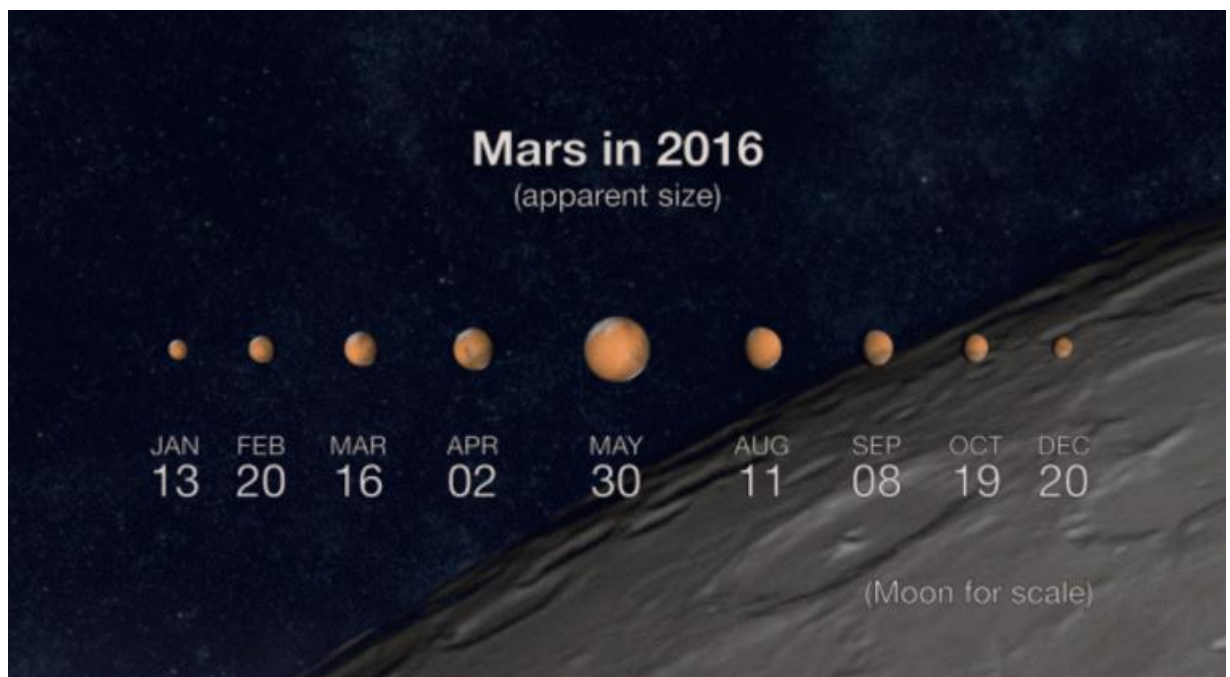


El dibujo representa la configuración de La Tierra, Marte y el sol para que Marte se vea con la mínima fase, es decir, con la porción en sombra más acusada posible.

Veamos cómo se vería Marte con el telescopio, en este caso:



Aquí podemos ver las fases de Marte a lo largo de 2016 y cómo varía su tamaño aparente:



Fases de Marte.

Se puede observar cómo en Septiembre de 2016 hay una parte de Marte que no se ve iluminada desde la Tierra. También puede verse que su tamaño aparente varía considerablemente en función de si el planeta se encuentra en oposición (Mayo) o en conjunción (Diciembre).

1.4 El cinturón de asteroides

En 1772 Johann Daniel Titius analiza las distancias a las que se encuentra cada planeta, y cae en la cuenta de una relación matemática interesante. Es curioso ver cómo, en esta época del nacimiento de la ciencia occidental, todos estaban totalmente convencidos de que el universo debía ser matemático, y todo debía tener un orden. Y gracias a ese convencimiento apriorístico hicieron unos descubrimientos asombrosos.

Titius parte del conocimiento de que el primer planeta se encuentra a 0,4 Unidades Astronómicas de distancia del sol (una unidad astronómica sería la distancia de la Tierra al sol).

El segundo planeta estaba, respecto al sol, a 0,7 (0,3 respecto al anterior)

El siguiente está equidistantemente repartido: $0,7 + 0,3 = 1$

El siguiente se separa el doble de distancia que el anterior $1 + 2 \times 0,3 = 1 + 0,6 = 1,6$

El siguiente de nuevo se separa el doble $1,6 + 2 \times 0,6 = 1,6 + 1,2 = 2,8$

El siguiente también el doble: $2,8 + 2 \times 1,2 = 2,8 + 2,4 = 5,2$

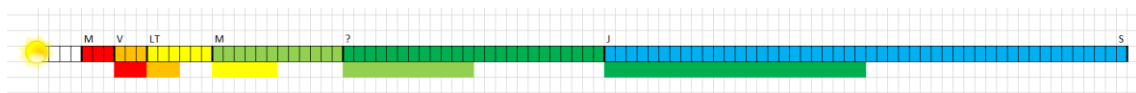
El siguiente también el doble $5,2 + 2,4 \times 2 = 10$

Es decir, el resultado de la serie de Titius-Bode sería el siguiente:

0,4; 0,7; 1; 1,6; 2,8; 5,2; 10; 19,6;

Y las distancias de los planetas al sol en UA eran:

0,4; 0,7; 1; 1,5; (); 5,2; 9,5; ()



Distancias al sol de Mercurio, Venus, la Tierra, Marte, ¿?, Júpiter y Saturno.

¡Parecía existir un hueco entre Marte y Júpiter! ¿Existía un planeta entre Júpiter y Saturno? ¿Existía otro más allá de Saturno a una distancia de 19,6 UA?

En 1781 se descubrió Urano, y se calculó que su distancia al sol era de 19,2 UA. Esto parecía confirmar de nuevo la Ley de Titius-Bolde. La comunidad científica comenzó entonces a buscar con más ahínco aún, el planeta que debería existir en el hueco entre Marte y Júpiter.

Cinco grupos de astrónomos se repartieron el zodiaco en la búsqueda del desconocido planeta. Encontraron grandes asteroides pero no localizaron ningún planeta. Finalmente el 1 de enero de 1801 se localizó a Ceres a una distancia exacta de 2,8 UA, tal y como la Ley de Titius-Bode predecía. Con un radio de unos 500 km, fue considerado un planeta hasta 1850, que pasó a ser considerado finalmente un asteroide.

Existen alrededor de un millón de asteroides justo a esa distancia aproximada del sol (2,8 UA), formando un peligroso cinturón. Ceres es el más grande.

Actualmente el cinturón de asteroides se considera un planeta en construcción que no llegó a completar su formación.

Lo asombroso de la Ley de Titius-Bode es que se cumple también de manera prácticamente exacta en los satélites de Júpiter, los de Saturno y los de Urano. Los astrónomos y físicos consideran actualmente que, en efecto, es asombroso el cumplimiento de esta ley, pero que no hay razón para que exista. O, al menos, aún no se ha encontrado una razón.

1.5 Júpiter y sus satélites

Excluyendo a Venus, que solo se ve en el atardecer o el amanecer, Júpiter es el planeta que más brillo aparente alcanza desde la Tierra, como enseguida demostraremos.

Júpiter es el astro que puede ser más brillante en la noche cerrada, cuando ya no está Venus, por esta razón fue asociado este planeta con el Dios rey del Olimpo. Curiosamente, miles de años después, se demostró que este planeta es el más grande de todo el sistema solar, y que además tiene un enorme séquito de satélites que le rinden pleitesía. Júpiter es el Dios más poderoso del cielo.



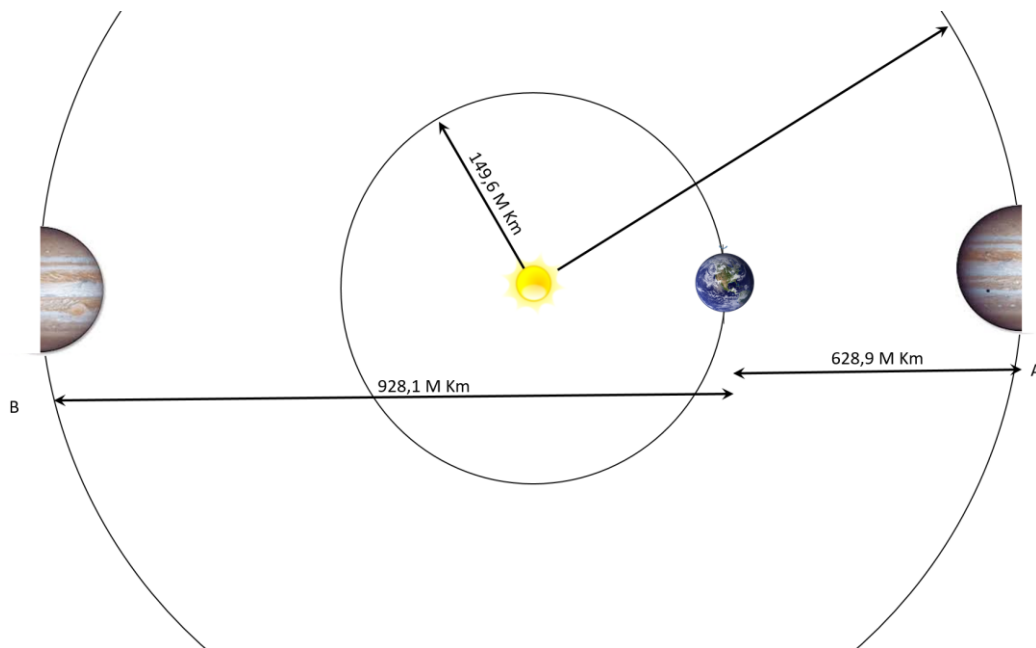
Vimos al principio de este tema que los planetas interiores, además de ser rocosos y no gaseosos, tienen muy pocos satélites. Es tan pequeña su masa que apenas tienen fuerza para atraerlos. Mercurio y Venus no tienen satélites. La Tierra solo tiene “uno” (excluyendo toda la chatarra que circula alrededor nuestra...) y Marte tiene dos.

En el caso de Júpiter, ya estamos hablando de un planeta de gas, ¡y además tiene 69 satélites!

1.5.1. Diferencias en el brillo de Júpiter

Júpiter es también un planeta exterior, es decir, está más alejado del sol que la Tierra, y por tanto su comportamiento aparente desde la Tierra será muy distinto al de Venus, pero parecido al de Marte.

Al igual que hicimos con Venus y Marte, analicemos en primer lugar su tamaño aparente desde la Tierra:



Análisis de las distancias de Júpiter a la Tierra

Vemos en el gráfico que, a diferencia del caso de Marte, la distancia entre la Tierra y Júpiter no varía de manera tan radical a lo largo del ciclo de este planeta alrededor del sol. Es cierto que en el punto B (Júpiter en conjunción) se suman las distancias y en el punto A (Júpiter en oposición) se restan, pero al ser la distancia de Júpiter al sol tan grande, y la de la Tierra mucho menor, el sumar o restar la distancia de la Tierra al sol no impacta tanto como en el caso de Marte.

Por supuesto, como en el caso de Marte, al ser Júpiter un planeta exterior, podremos encontrarle a media noche sin problemas (cuando esté en el punto A) o muy cerca del sol cuando esté en el punto B. Ya vimos que a Venus y Mercurio solo podíamos encontrarlos cerca del sol.

Analicemos por último su brillo. ¿En qué momento brillará más Júpiter?

Nótese que la distancia de Marte a la tierra se multiplica más de 5 veces entre un punto y otro.

JUPITER		
Esquema		
Distancia al sol (miles de Km)	778.518	778.518
Diámetro (Km)	139.822	139.822
Distancia a la tierra (miles de Km)	628.918	928.118
Fase	100%	100%
Tamaño aparente (miliradianes)	0,22	0,15
Albedo	0,41	0,41
Brillo de Júpiter (w) (reflejo del brillo solar)	3,17079E+23	3,17079E+23
Brillo de Júpiter en la tierra w/m2	0,06	0,03
Año sideral (en días terrestres)	4332,9	4332,9
Ciclo (días terrestres)	398,9	398,9

En la anterior tabla se analizan los dos casos extremos de las posiciones relativas de Júpiter, la Tierra y el sol. En la primera columna se analiza el caso de Júpiter en oposición (punto A) y en la segunda columna Júpiter en conjunción (punto B)

Vemos que la diferencia de brillo de Júpiter en un caso o en otro es del doble. Además se da el caso de que cuando brilla más (en oposición) se puede ver mucho mejor porque se ve a las 12:00 de la noche. Sin embargo cuando brilla menos (en conjunción) se verá solo justo antes o justo después de la puesta del sol y por tanto su luz se verá eclipsada por los rayos solares vespertinos o matutinos.

PRACTICA:

Con la app Solar Walk comprobemos cuándo se dará la próxima oposición de Júpiter para que podamos disfrutar de su brillo en el máximo esplendor

Es fácil comprobar con esta aplicación que, dado que Júpiter recorre una vuelta en 12 años (11,8 exactamente), por cada vuelta de la Tierra veremos que Júpiter está en oposición cada año un mes más tarde:

- Mayo 2018

- Junio 2019
- Julio 2020
- Agosto 2021, etc...
- Pasados 12 años desde 2018 Júpiter estará de nuevo en oposición en Mayo

Hagamos a continuación un breve resumen de los brillos de Marte, Venus y Júpiter para conocer sus brillos relativos y podamos analizar cuál brillará más y cuál menos.

			
VENUS			
Esquema			
Distancia de Venus al sol (miles de Km)	108.000	108.000	108.000
Diámetro (Km)	12.103	12.103	12.103
Distancia a la tierra (miles de Km)	41.600	103.519	257.600
Fase	5%	50%	100%
Tamaño aparente (miliradianes)	0,29	0,12	0,05
Albedo	0,70	0,70	0,70
Brillo de Venus (w) (reflejo de la luz solar)	2,10769E+23	2,10769E+23	2,10769E+23
Brillo de Venus en la tierra w/m2	0,48	0,78	0,25
Arco Venus-Sol visto desde tierra (grados)	9,00	46,24	0,00
Tiempo que es visible desde que se pone el sol (h)	0,6	3,0	0,0
Año de Venus (en días terrestres)	224,7	224,7	224,7
Ciclo de Venus (días terrestres)	583,9	583,9	583,9

MARTE		
Esquema		
Distancia de Marte al sol (miles de Km)	227.990	227.990
Diámetro (Km)	6.794	6.794
Distancia a la tierra (miles de Km)	78.390	377.590
Fase	100%	100%
Tamaño aparente (miliradianes)	0,09	0,02
Albedo	0,15	0,15
Brillo de Marte (w) (reflejo de la luz solar)	3,19359E+21	3,19359E+21
Brillo de marte en la tierra w/m2	0,04	0,002
Año de Marte (en días terrestres)	687,0	687,0
Ciclo de Marte (días terrestres)	779,9	779,9
JUPITER		
Esquema		
Distancia al sol (miles de Km)	778.518	778.518
Diámetro (Km)	139.822	139.822
Distancia a la tierra (miles de Km)	628.918	928.118
Fase	100%	100%
Tamaño aparente (miliradianes)	0,22	0,15
Albedo	0,41	0,41
Brillo de Júpiter (w) (reflejo del brillo solar)	3,17079E+23	3,17079E+23
Brillo de Júpiter en la tierra w/m2	0,06	0,03
Año sidereal (en días terrestres)	4332,9	4332,9
Ciclo (días terrestres)	398,9	398,9

Como vemos, es sin duda Venus el planeta más brillante, pero solo podremos verlo cerca del sol. En la noche estrellada quien gobierna es Júpiter.

Júpiter también tiene movimiento retrógrado, pero al ser la explicación idéntica al caso de Marte, no lo detallamos.

1.5.2. El magnífico descubrimiento de los satélites de Júpiter

De los 69 satélites que orbitan al gigante, el más grande de ellos es Gamínedes, joven troyano que fue raptado por Júpiter y convertido en su amante. Es el satélite más grande de todo el sistema solar, más grande incluso que nuestra gran luna.



Comparativa entre el tamaño de Gamínedes, la Luna y la Tierra



Gamínedes. Héroe troyano raptado por Júpiter

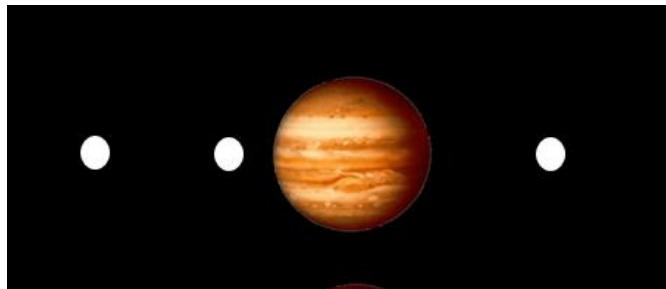
Los cuatro principales satélites de Júpiter fueron descubiertos por Galileo Galilei el 7 de Enero de 1610. Por esta razón aún se les llama satélites galileanos. Su descubrimiento fue un hito muy importante para la ciencia porque Galileo demostró que estos satélites giraban en torno a Júpiter ¿no haría lo mismo la Tierra alrededor del sol?

Galileo, con su propio telescopio de fabricación casera, se dispuso a mirar a Júpiter el 7 de Enero de 1610. Era una magnífica oportunidad de ver este planeta con su nuevo telescopio porque además se encontraba muy cercano a la Tierra y casi en oposición.



Telescopio de Galileo

Ese día observó los satélites de Júpiter, primera vez en la historia de la humanidad, pensando inicialmente que se trataba de tres estrellas que curiosamente alineadas se veían justo detrás de Júpiter en ese momento.



Primera visión de los satélites de Júpiter en la historia de la humanidad. Galileo, 7 de Enero de 1610.

Pero la noche siguiente volvió a observarlas. ¡Las estrellas se habían movido de una manera extraña!

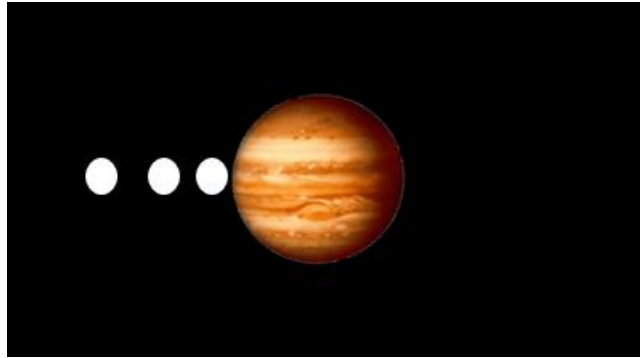


Segunda visión. Galileo, 8 de Enero de 1610

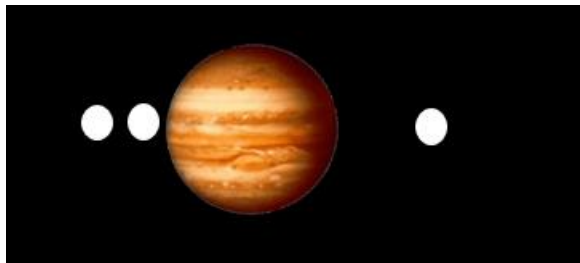
Evidentemente siguió observándolas cada noche. Según sus anotaciones el día 9 no apuntó nada. ¿Porque estaba nublado? ¿o porque estaban ocultas?



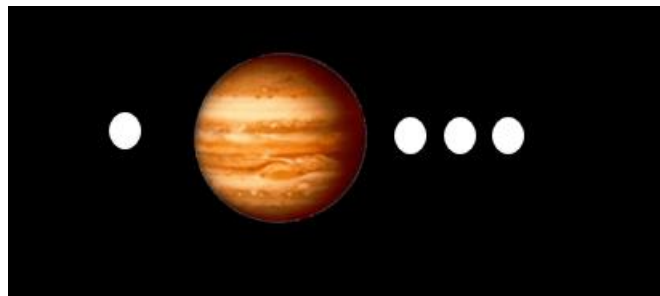
Visión del 10 de Enero



Visión del 11 de Enero de 1610.

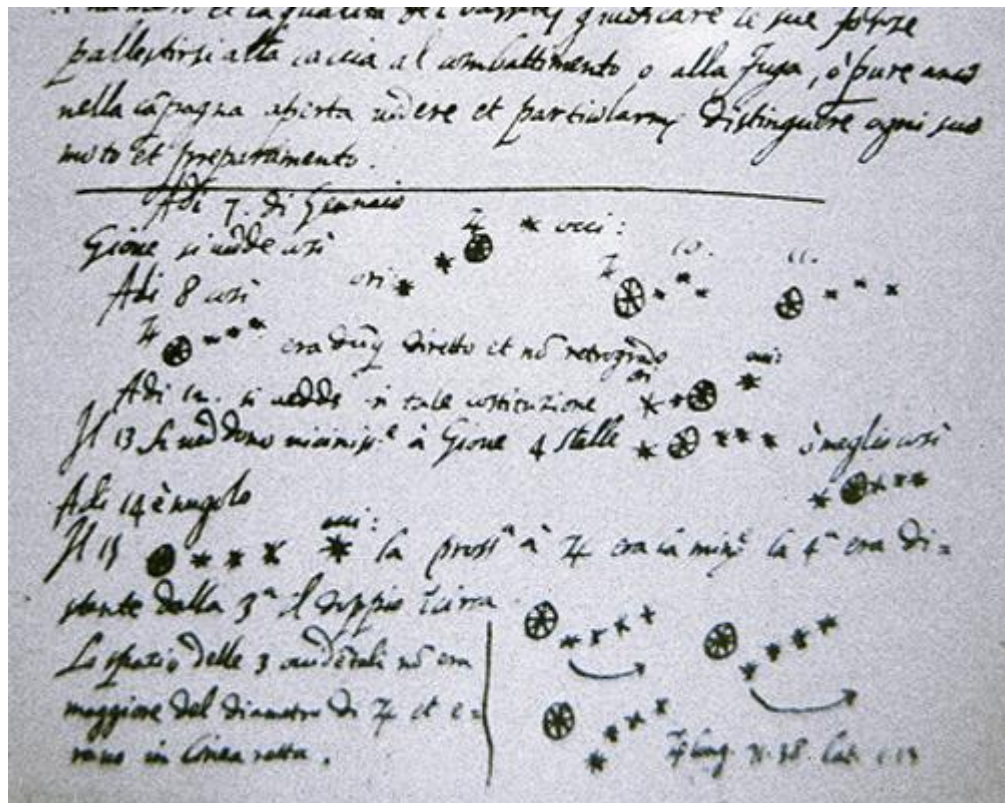


Visión del 12 de Enero de 1610.



Visión del 13 de Enero. ¡Aparece una cuarta estrella!!!

¡El 13 de Enero aparece una cuarta estrella! En seguida se percató de que estas cuatro estrellas, si bien a veces se ocultaban, ¡nunca abandonaban la vecindad de Júpiter! Su descubrimiento fue determinante para confirmar (al menos para él) el sistema copernicano y descartar el Ptolemaico. ¡No todas las cosas giran alrededor de la Tierra! ¡Claramente allí arriba hay cosas girando alrededor de Júpiter!



Notas originales de Galileo con las diferentes posiciones de las lunas de Júpiter entre el 7 de Enero y el 15 de Enero de 1610.

Intentemos entender qué es lo que Galileo realmente estaba viendo.

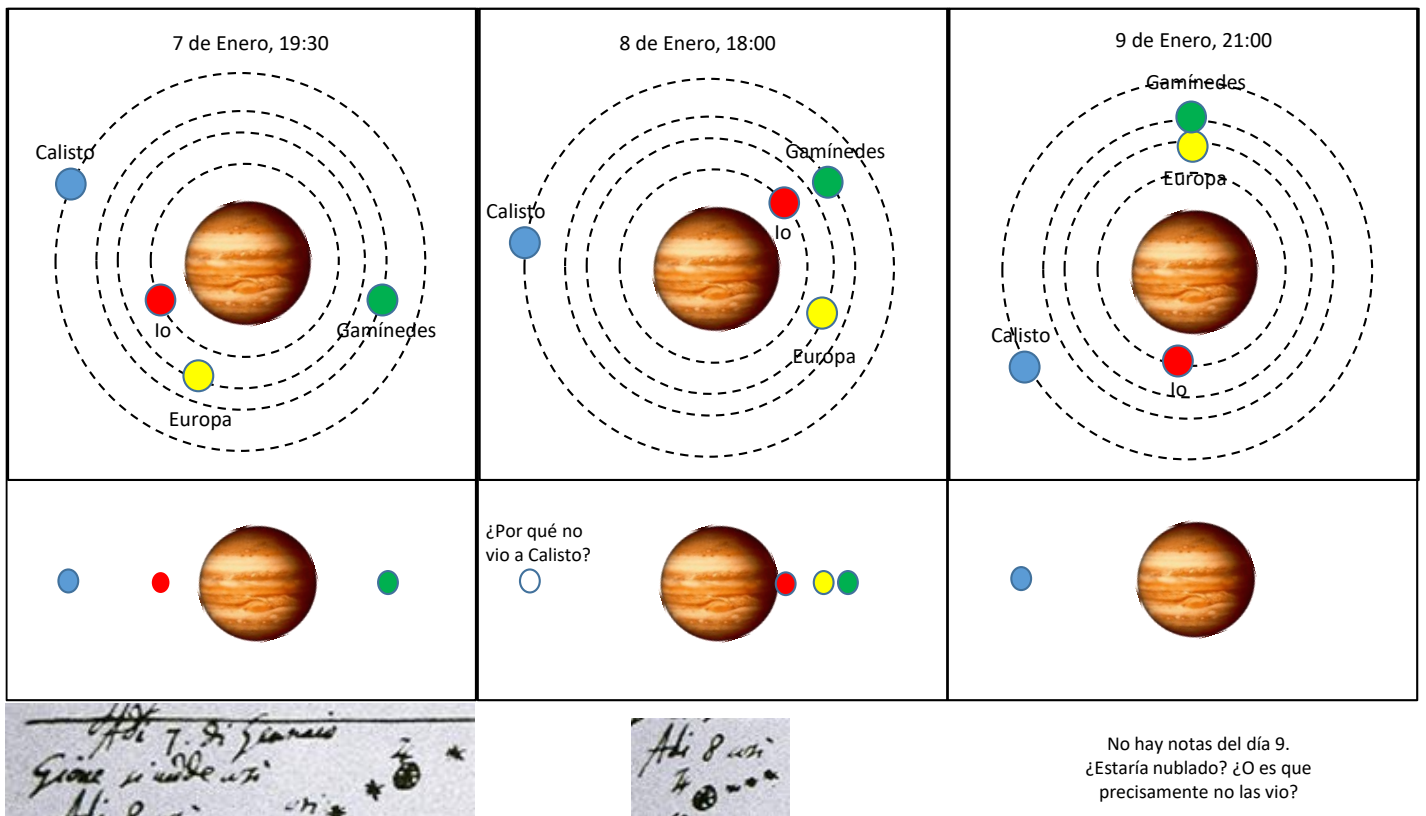
Calisto: Tiene el tamaño de Mercurio. Es la luna galileana más alejada de Júpiter, **tarda 16 días** en dar una vuelta al planeta.

Ganímedes: Es el satélite más grande de Júpiter y del sistema solar. **Tarda 7 días** en dar la vuelta a Júpiter. Orbita a 1 M de km del planeta.

Europa: Es el más pequeño de los satélites galileanos. **Tarda 3 días** de dar la vuelta a Júpiter y se encuentra a 0,67 M de km del planeta.

Io: Es el satélite más cercano. Orbita a 0,4 M de km y **tarda 1 día y 18 horas** en dar la vuelta a Júpiter

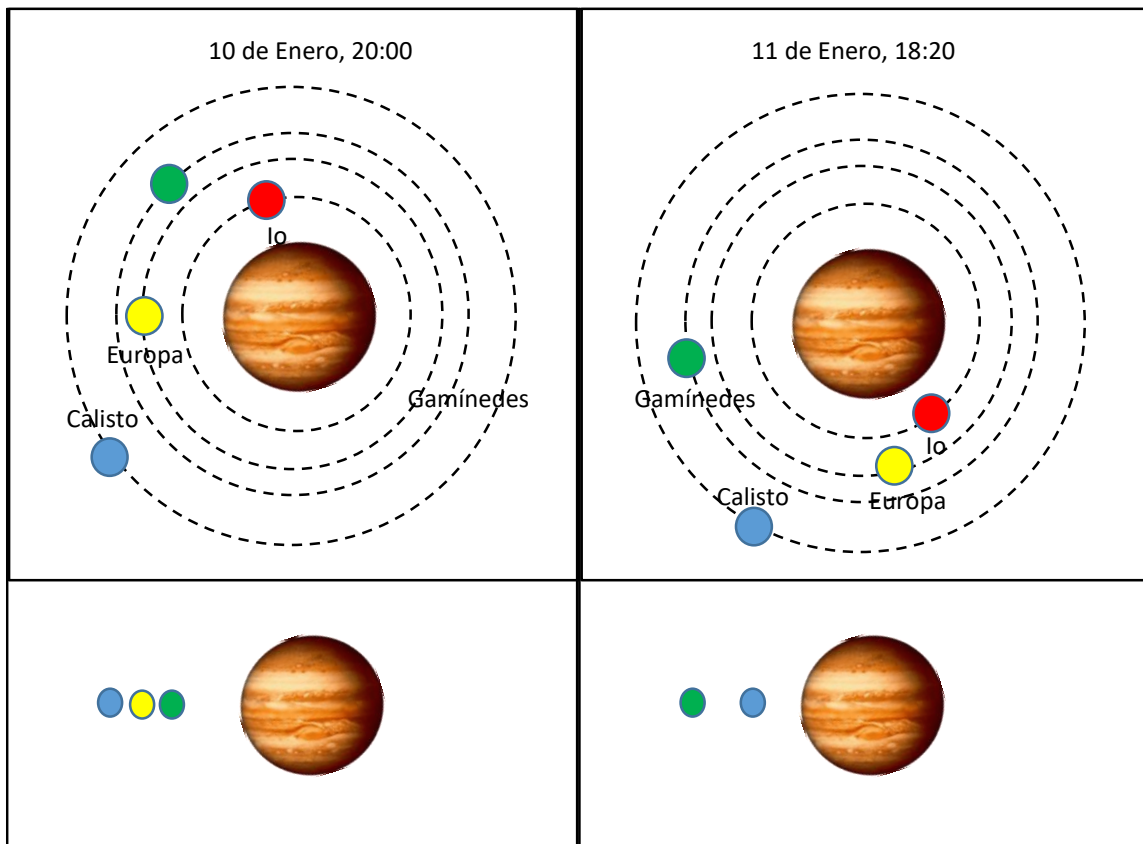
Con estos datos ya podemos entender bien qué es lo que Galileo vio en cada momento.



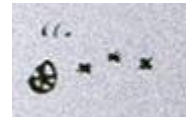
Visión de alzado y perfil de los satélites Galileanos en Enero de 1610.

Se muestran también las anotaciones correspondientes de Galileo con los dibujos de lo que veía. La visión que tenía Galileo con el telescopio era evidentemente la de los recuadros de abajo (la de perfil).

- El 7 de Enero Europa no podía verlo por quedar deslumbrada por el brillo de Júpiter.
- ¡El 8 de Enero debería haber visto las cuatro estrellas! Pero estaba tan convencido de haber visto tres el día anterior que solo se fijó en que las tres estaban ahora pegadas a un lado de Júpiter y no cayó en que Calisto seguía en el mismo sitio que antes.
- El 9 de Enero solo podría haber visto a Calisto, no hizo anotaciones.

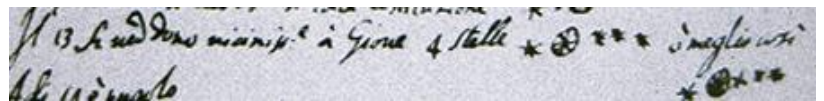
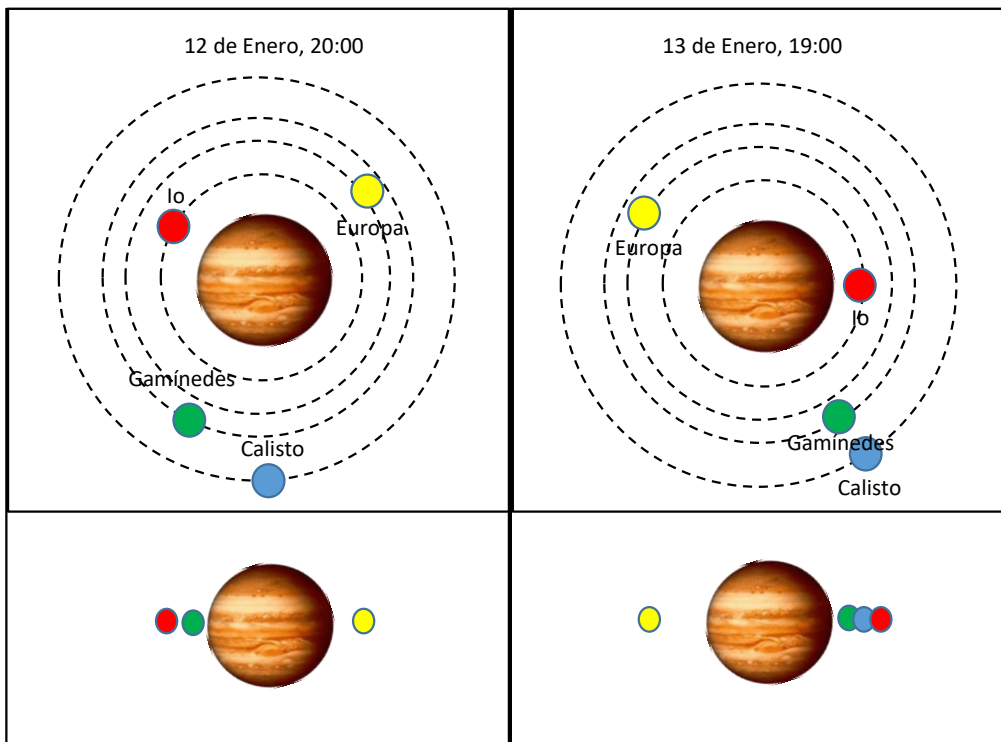


Curiosamente aquí Galileo coloca los satélites en el lado contrario (a veces dibuja la imagen simétrica)

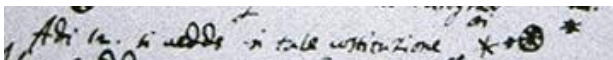


¿Cuál sería la otra estrella que apunta Galileo el día 11? Probablemente fue HP 22042 de la constelación de Tauro la que le confundió con un satélite esta vez

- Curiosamente el día 11 anota tres estrellas cuando solo pudo ver dos. Debió de inquietarle el hecho de que una desapareciera (esperaba cada día ver las tres).



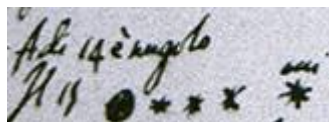
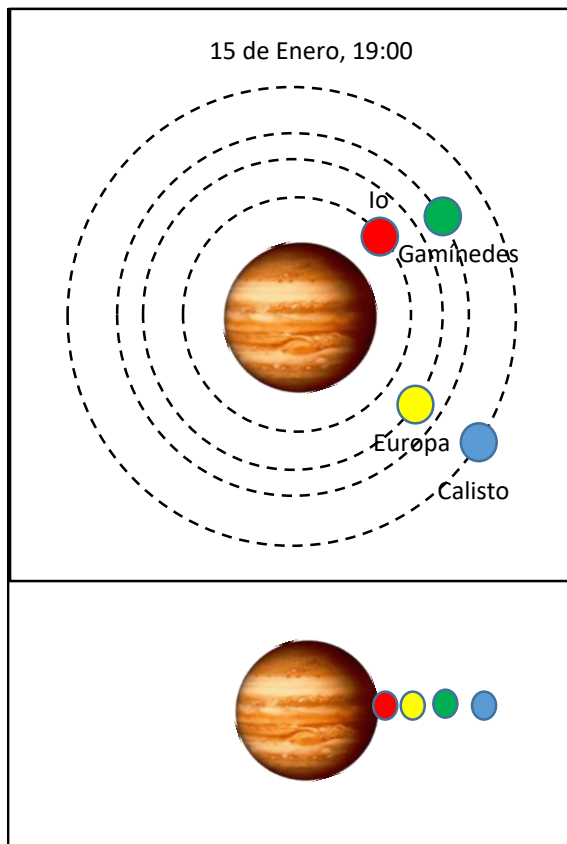
"Il 13 encuentro 4 estrellas:"



"A di 12 si alla si tale costituzione:"

¡Y de repente, el día 13 aparece una cuarta estrella!

Finalmente el día 15 aparecen las cuatro estrellas claramente alineadas.



Observaciones posteriores acabaron convenciéndole de manera inequívoca de que estaba viendo cuatro satélites que giraban alrededor de Júpiter. Este descubrimiento era de una importancia capital porque demostraba que no todo giraba en torno a la Tierra. Había astros que giraban en torno a otros astros y esto tumbaba todos los razonamientos filosóficos que habían llevado a construir por deducción el modelo geocéntrico. Era una prueba importante que inducía a pensar que el modelo copernicano era el correcto.

Imaginaros que sois Galileo y tenéis que explicar al mundo lo que habéis visto. Tened en cuenta que sólo tú tienes un telescopio, el resto nunca ha oído hablar de un aparato semejante. ¿Cómo convencer al mundo de semejante sorpresa? Téngase en cuenta que además el descubrimiento tenía importantísimas repercusiones filosóficas y religiosas porque la Tierra definitivamente dejaba de ser el centro del mundo...

El primer ataque a Galileo, de Horky, puede considerarse como un poco ingenuo. Su argumento principal es el siguiente “Los astrólogos han hecho sus horóscopos teniendo en cuenta todo aquello que se mueve en los cielos. Por lo tanto los astros mediceos (los supuestos satélites de Júpiter) no sirven para nada, y dado que Dios no crea cosas inútiles, estos astros no pueden existir». Horky es después ridiculizado por los seguidores de Galileo, que replican que estos astros desde luego sirven para una cosa: hacerle enfadar.

Dejando de lado la alusión a los “astrólogos y sus predicciones”, el argumento sí tenía su importancia en un momento en que se consideraba que toda la creación tenía un propósito racional y un fin. De repente, se lograban ver astros e imágenes que ningún ser humano había visto jamás. ¿Con qué fin estaba todo eso allí desde hace miles de años si nadie lo había visto hasta ahora?

Galileo no se amilanó con estos ataques como veremos más adelante.

1.5.3. El cálculo de la longitud a partir de los satélites de Júpiter

Ya vimos en el curso anterior las dificultades que existían en el siglo XVI y XVII para poder calcular con precisión la posición de los navegantes. Era muy fácil calcular la latitud, pero muy difícil calcular la longitud.

Para poder calcular la longitud era necesario diseñar un reloj que mantuviera su precisión con el vaivén del barco.

Galileo propuso utilizar el reloj de precisión que existía en Júpiter. Un reloj tan preciso que contaba con cuatro agujas (cuatro satélites girando). Sabiendo lo que tarda cada uno de los satélites en girar, era fácil saber cuánto tiempo había pasado. Especialmente el satélite *Io* era el que indicaba las horas. Una vuelta completa de *Io* equivalía a 42 horas. Y una vuelta completa de Calisto equivalía a 16 días.

De esta manera podría calcularse cuanto tiempo ha pasado exactamente desde que partimos desde Lisboa. Y viendo la diferencia entre la hora de Lisboa y la hora solar del lugar podíamos calcular la Longitud.

Las dificultades del método son evidentes dado que apuntar a Júpiter con un telescopio en un barco es totalmente imposible debido a su movimiento. Solo era viable el método en tierra firme, y aun así, con muchas dificultades.

1.5.4. La Ley de Titius-Bode en los satélites de Júpiter

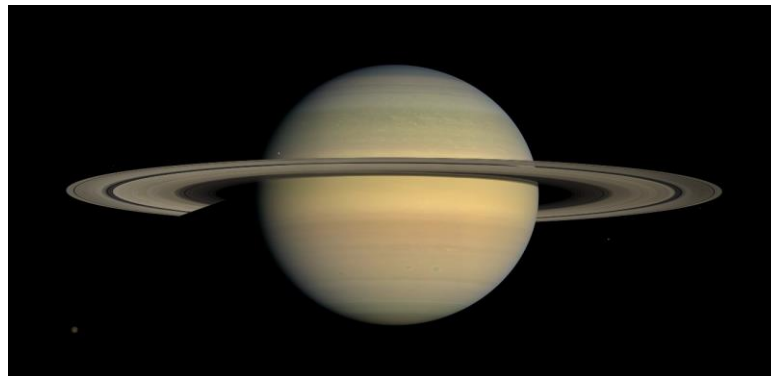
Es increíble que también se cumpla esta ley en los satélites de Júpiter:

Sucesión de Titius-Bode: 3,6,9,15,27

Distancias de los cinco principales satélites a Júpiter: 3, 6, 9, 15, 26

El ajuste es casi perfecto

1.6 Los anillos de Saturno



Saturno es el único planeta con anillos que podemos divisar desde la Tierra. Es, sin duda alguna, el verdadero y único Señor de los anillos. Ver Saturno desde el telescopio es una de las escenas que más me ha impresionado en mi vida, y diría que la marcó.

Por supuesto la humanidad conocía este astro desde hace tiempo, pero jamás pudo nadie imaginar lo que esta luz brillante escondía.

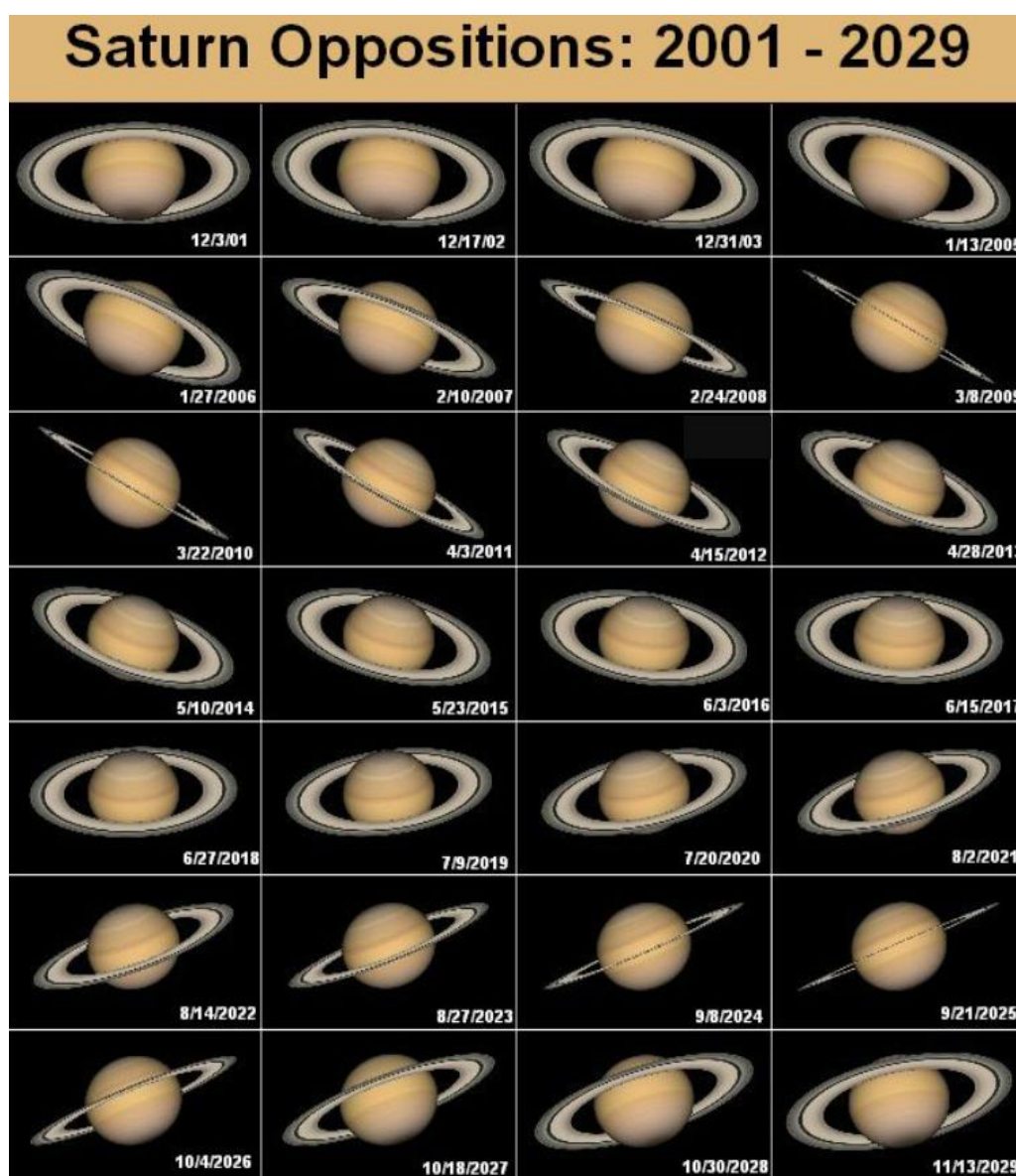


Saturno visto con un telescopio de aficionado.

1.6.1. Los cambios en la inclinación de los ejes de Saturno

Cuando observamos Saturno por el telescopio es curioso comprobar que cada vez lo vemos de una forma distinta. Podremos verlo con los anillos totalmente de perfil (se ven como una línea delgada que cruza el planeta) o bien podemos verlos con cierto grado de inclinación, de manera que pueden percibirse perfectamente que son anillos.

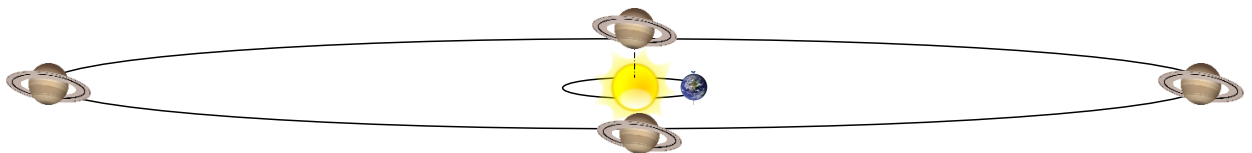
Con la App Solar Walk es fácil ver como el eje de Saturno tarda, aparentemente, treinta años en girar alrededor de sí mismo.



Estos son los diferentes aspectos de Saturno si lo miramos con un telescopio. Vemos que su aspecto varía a lo largo de 30 años.

Pero pensemos bien, ¿realmente gira el eje de Saturno? Es raro que gire tan rápido. Recordemos que el eje de la Tierra tarda 25.776 años en dar una vuelta completa.

Lo que en realidad está sucediendo es que el eje de Saturno está en todo momento apuntando al mismo lugar (apunta a su propia “estrella polar”) pero, al girar Saturno alrededor del sol, cada vez nos muestra sus anillos de una manera distinta:



El eje de Saturno apunta siempre al mismo sitio cuando gira alrededor del sol. Pero nosotros, al estar prácticamente pegados al sol, vemos a Saturno cada vez de una manera distinta



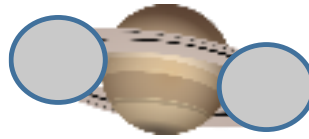
Así es como vemos a Saturno en cada momento desde la Tierra.

Nuestra percepción es que el eje de Saturno está girando como una peonza cada treinta años, pero es solo una ilusión óptica, en realidad siempre apunta al mismo sitio pero cada vez nos enseña sus anillos desde un punto de vista diferente a lo largo de los treinta años que tarda en girar alrededor del sol

Cuando Galileo observó por primera vez Saturno en 1610, su telescopio no contaba con resolución suficiente y tampoco Galileo entendía que estaba viendo exactamente. El vio esto:

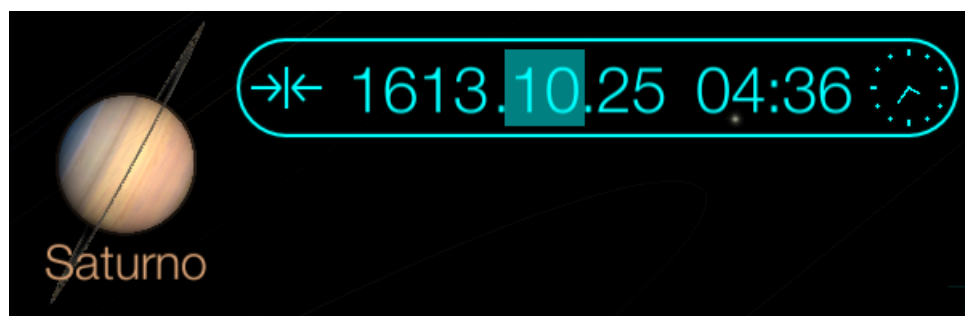


Pero entendió esto:



Es decir, él entendió que Saturno poseía dos grandes lunas.

Solo tres años más tarde, en 1613, pudo comprobar que no había forma de volver a ver dichas lunas. Habían desaparecido. Lo que ahora veía de Saturno era esto:

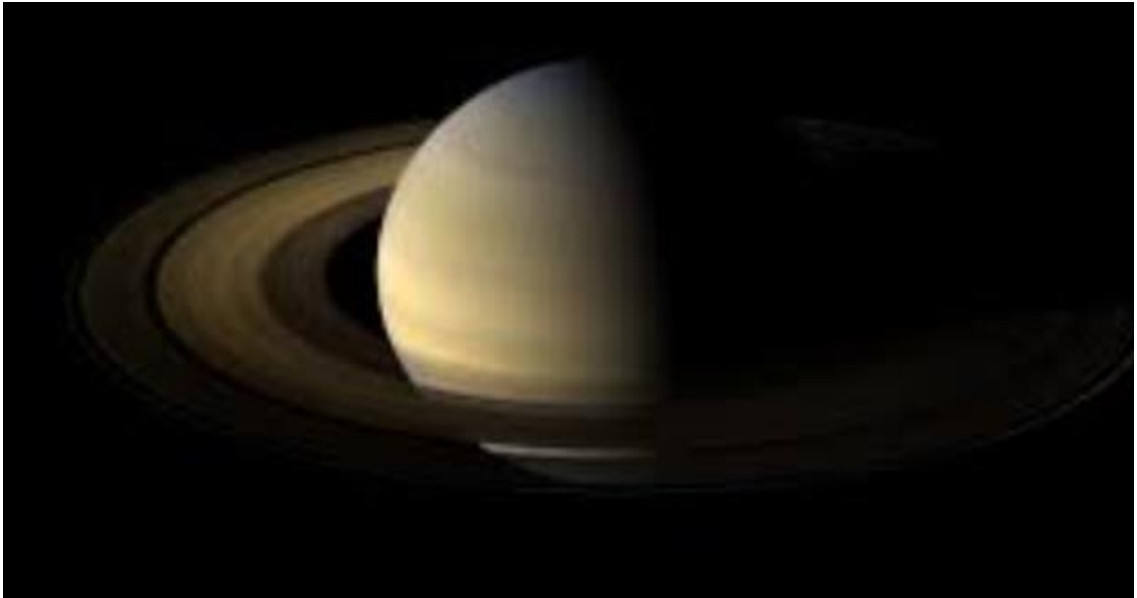


Es decir, no era capaz de ver los anillos (que él pensaba que eran lunas) por tenerlos totalmente de perfil. Esto le desconcertó mucho.

Hubo que esperar a 1655 para que Huygens describiera esta anomalía como verdaderos anillos alrededor de Saturno. En ese año esto es lo que vio Huygens:



CASO PRÁCTICO ¿Desde dónde se ha tomado esta fotografía?



Es evidente que no se trata de una foto que se haya tomado desde la Tierra, por el modo en que se ve iluminado Saturno. Nosotros estamos tan cerca del sol, y Saturno tan lejos, que siempre vemos a Saturno totalmente iluminado desde aquí. Por tanto, si en esa foto solo vemos medio Saturno iluminado, es porque la foto se ha tomado desde un punto cercano a su órbita. En el siguiente curso, dedicado a la Astronáutica, explicaremos cómo fue posible hacer esta fotografía, y otras mucho más interesantes.