

### PASO DE VENUS DE 1882.

---

El 6 de Diciembre de 1882, ha tenido lugar el fenómeno astronómico seguramente más importante que registrará el siglo en que vivimos, tanto por el objeto que en la observacion de aquel busca la ciencia, como por los elementos con que se ha contado esta vez, superiores á los anteriores. Visible en nuestro suelo, aumentaba de grado su importancia para nosotros, y más cuando á la sombra de la paz el Gobierno General dotaba liberalmente á nuestro Observatorio Astronómico Nacional con los instrumentos y útiles que exigía la observacion del fenómeno. Una Memoria especial dará á conocer con todos los detalles científicos que ven al caso, lo que se logró hacer en nuestro suelo, ó de otra manera, el participio que tomó México en el gran movimiento científico, que ocasionó el paso de Venus de 1882. En este Anuario no podemos hacer otra cosa que dar una noticia ge-

neral del éxito alcanzado por las comisiones, cuyos resultados han podido llegar á nuestro conocimiento, insertando, por lo que respecta á las nuestras, el informe general que con tal motivo rindió el Observatorio á la Secretaría de Fomento. Mas ántes demos algunas explicaciones sobre el fenómeno, pero de manera que puedan estar al alcance de los que solo posean conocimientos elementales de geometría.

En nuestro Anuario de 1881, publicamos un extenso artículo sobre nuestro sistema planetario, terminándolo con una parte destinada especialmente á los pasos de Venus por el disco solar. Allí expusimos con la mayor claridad que nos fué posible, la manera de predecir los tránsitos de nuestro vecino planeta interior, ó sea la razon de ser de los distintos períodos que separan uno de otro. Dimos tambien una explicacion puramente geométrica de la manera con que se resolvía el problema de la paralaje solar, con solo los datos recogidos por dos observadores, suficientemente alejados uno de otro. Creemos de alguna utilidad ampliar ahora nuestras explicaciones.

Ya otra vez hemos manifestado el objeto que se proponen los astrónomos en la observacion del paso de Venus por el disco solar, que no es otro que encontrar lo que se puede llamar el *metro astronómico*, la unidad de medida en las distancias planetarias, la distancia de nuestro planeta al centro comun de atraccion de nuestro sistema. Mas para juzgar del grado

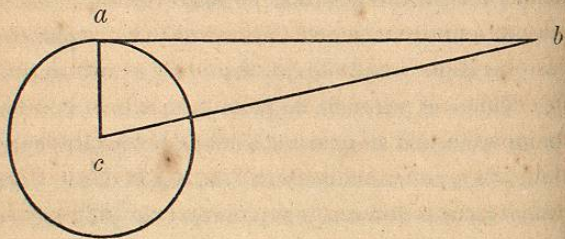
de aproximación á que es posible llegar en la investigación de tal medida, fuerza es tener presentes algunas consideraciones.

Todo el mundo comprende, que según sea la magnitud y naturaleza de la distancia que se trata de medir, así será también la magnitud de los errores que puedan tolerarse, y que serán además en cierto modo inherentes á la naturaleza misma del método empleado en la medición. En las medidas más usuales del comercio, sería hasta ridículo, por muy exigente que fuese el comprador, advertir una diferencia de uno ó dos milímetros más, ó menos, que tuviera un metro de un género, por ejemplo, que comprase; mientras que en la medida de la columna barométrica, es decir, de la altura á que asciende el mercurio en virtud de la presión atmosférica, sería un error craso el que se cometiera si él consistía en un milímetro, cuando deben apreciarse hasta centésimos de milímetro. En una medida itineraria, en la de México á Guadalupe, por ejemplo, nadie se preocuparía por una diferencia de 100 ó 200 metros que resultaran de dos medidas que se hicieran por distintos ingenieros, y más bien aquella diferencia, si tal fuera, comprobaría por su pequeñez la exactitud de los resultados obtenidos; habría, además, necesidad de cambiar de unidad de medida, adoptando el kilómetro ó la legua en lugar del metro. En las medidas astronómicas sucede lo mismo; si nos fijamos en el astro más inmediato á noso-

tros, en nuestro satélite, la Luna, emplearemos una medida adecuada como unidad, que es el radio terrestre, mientras que para las distancias planetarias, sería demasiado pequeña, y nos serviríamos entonces del radio de la órbita terrestre, es decir, de la distancia de la Tierra al Sol. Hay sin embargo que conocer la relación entre todas las unidades empleadas, y habiéndose convenido en Francia en tomar por unidad primordial, digamos así, á la diezmillonésima parte de un cuadrante del meridiano terrestre, á la que se ha llamado metro, unidad que también nosotros hemos adoptado, queda establecida así, de una manera bastante directa, la relación que puede haber entre nuestra unidad de medida común y el radio terrestre. Para esto fué preciso primero determinar éste, tomando por unidad alguna de las antes establecidas. Una base medida geodésicamente y una serie de triángulos que partiendo de aquella y siguiendo la dirección de un meridiano, quedase comprendida entre dos paralelos terrestres que distasen entre sí un grado, lo que se determinó por medios astronómicos, han constituido los elementos para determinar no solo el valor del radio terrestre sino aun la forma misma de nuestro planeta, en vista de los resultados obtenidos á distintas latitudes. Tal es el poder de la geometría; á la resolución de un triángulo se reducen muchas de las altas cuestiones de astronomía matemática; conocer tres de los seis elementos de que se compone un triángulo, siendo

por lo ménos un lado, uno de los elementos conocidos, es lo que á veces conduce á operaciones difíciles, complicadas y sumamente laboriosas, para encontrar en seguida por una operacion sumamente sencilla, ya gráfica ó numérica, el valor de distancias del todo inaccesibles y apenas imaginables. Un triángulo es lo que nos dá una idea exacta del complicado y difícil problema que se trata de resolver en la observacion del paso de Venus por el disco solar.

Supongamos á un observador en el punto *a* de la superficie terrestre y á un astro en el punto *b* del horizonte. El triángulo *a b c* será rectángulo en *a*: bastará conocer el ángulo en *b* para tener en rádios terrestres la distancia *a b* ó *b c*. El ángulo en *b* es lo que se llama paralaje horizontal del astro, ó simplemente paralaje. Cuanto mayor sea la distancia del astro, menor será la paralaje, mayores las dificultades de medirla y mayores los errores que resulten en la distancia, por errores cometidos en la observacion. Pues bien, la paralaje del Sol, esto es, el ángulo en *b* bajo el cual un observador colocado en el centro de aquel



astro veria el rádio terrestre, es apenas de  $9''$  próximamente, y esto explica desde luego la gran dificultad de resolver el problema, tanto por los medios indirectos, de que se tiene que hacer uso, para llegar al conocimiento de un ángulo que se forma en el centro del Sol, formándose el otro en el centro de la Tierra, como por la grande aproximacion que se necesita en la determinacion de dicho ángulo. En efecto, un ángulo de  $9''$  en un triángulo rectángulo, dá para la hipotenusa, lo mismo que para el cateto mayor, despreciando toda fraccion, 22918 veces el cateto menor, de manera que, si sobre un centímetro como cateto menor construimos nuestro triángulo, la hipotenusa y el cateto mayor, que serian sensiblemente iguales, tendrían una longitud de 229 metros, lo que hace comprender inmediatamente la grande influencia que tendrán en los resultados, errores aun muy pequeños de observacion. Supongamos en efecto que la paralaje es de  $8''$ ; el cálculo dá para la distancia de la Tierra al Sol, 25783 rádios terrestres;  $1''$  de diferencia produce entonces un error de 2865 rádios de la tierra. Suponiendo que los errores en la paralaje sean proporcionales, aunque inversamente á los errores en las distancias obtenidas, lo que es permitido en nuestro caso, un décimo de segundo de arco en más ó en ménos, producirá en la distancia una disminucion ó un aumento de 286 rádios y medio de la Tierra, y como el rádio medio terrestre tiene muy próximamente 1520 leguas

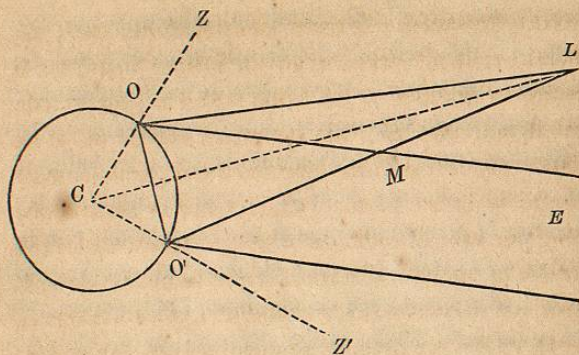
mexicanas, resulta que un décimo de segundo de diferencia en la paralaje solar produciría 435480 leguas mexicanas. Veamos cuales han sido los resultados alcanzados hasta hoy, y cual la mayor aproximación posible en la observación del fenómeno, que ha tenido lugar el 6 de Diciembre de 1882.

La determinación de la distancia de la Tierra al Sol, ha sido un problema que ha venido preocupando á los astrónomos, desde la más remota antigüedad. Aristarco llegó á imaginar, 2464 años ántes de J. C., un método verdaderamente ingenioso que, si bien es cierto no ha llegado á dar en la práctica una solución satisfactoria al problema, dá bastante idea del gran talento de aquel astrónomo, en vista del estado que guardaba entonces la ciencia astronómica. Aristarco con mucha perspicacia llegó á comprender que debiendo ser el radio y áun el diámetro de la Tierra un lado sumamente pequeño en el triángulo rectángulo que se forma con los otros dos lados que de sus extremos se dirigiesen al centro del Sol, debía buscarse una base mayor. La paralaje de la Luna era de más fácil y segura determinación, y el radio de su órbita ofrecía una base más grande, dando lugar á una paralaje solar 60 veces mayor, suponiendo todavía la proporcionalidad de ella con el lado opuesto, y que habría sido por lo mismo como de 9', si Aristarco hubiera contado con instrumentos tan precisos como los actuales, y si su método no hubiera trope-

zado con la grande dificultad de poder apreciar, con toda exactitud el instante en que tenía que hacerse la observación para obtener uno de los ángulos en el triángulo, cuya formación vamos á explicar.

Es fácil concebir que cuando la Luna se halla en su cuarto creciente ó en su cuarto menguante, las tres rectas que unen entre sí los centros del Sol, la Tierra y su satélite, forman un triángulo rectángulo en la Luna, siendo por consiguiente la hipotenusa la distancia de la Tierra al Sol. El instante en que tenga lugar la formación del ángulo recto, será aquel en que la parte iluminada de la Luna quede separada de la oscura, por una recta que será para nosotros la proyección de un círculo, cuyo plano prolongado pase por el centro de la Tierra, y el cual es perpendicular á la línea que va del Sol á la Luna. Midiendo en aquel instante el ángulo formado en la Tierra, que es lo que se llama distancia angular geocéntrica de la Luna al Sol, el complemento de este ángulo será la paralaje del Sol con relación al radio de la órbita lunar. Aristarco llegó á encontrar para dicha paralaje un valor de  $3^\circ$  como se ve sumamente grande, lo que dá para la hipotenusa 1146 radios terrestres, suponiendo el radio de la órbita lunar igual á 60 radios. Demos una idea de cómo se ha encontrado este último valor.

Supongamos dos observadores situados sobre un mismo meridiano, pero con diferencia de latitudes



que den una cuerda  $OO'$  lo mayor posible. Conoci-  
das las latitudes, se conocerá también el ángulo en  
 $C$  y por consiguiente el lado  $OO'$ , como base del  
triángulo isósceles  $OCO'$  en el que se conoce además  
el radio de la tierra  $OC = O'C$ . Midiendo cada obser-  
vador la distancia zenital respectiva de la Luna  
 $ZOL$  y  $Z'O'L$ , fácilmente se deducen los valores  
de los ángulos  $LOO'$  y  $LO'O$  puesto que tam-  
bien se conocen los ángulos á la base del triángulo  
isósceles. Por consiguiente se tienen los elementos  
necesarios para resolver el triángulo  $LOO'$ . Por  
operaciones geométricas también muy sencillas, se  
comprende además que será fácil deducir la distan-  
cia  $LC$  y que siendo esta la hipotenusa de un trián-  
gulo rectángulo y el radio de la tierra uno de los  
catetos, se podrá conocer el ángulo opuesto á éste,  
que no será otra cosa que la paralaje lunar.

Hay otro medio de determinar el ángulo en  $L$  mi-  
diendo cada observador en un mismo instante, la  
distancia angular de la Luna á una misma estrella  
que llamaremos  $E$ . Para las estrellas fijas no se ha  
podido encontrar valor ninguno de su paralaje, ni de  
lo que se llama paralaje anual, que es aquella que  
tiene por base el radio de la órbita terrestre, lo que  
prueba la inmensa distancia á que se hallan de nos-  
otros; así es que las dos visuales dirigidas de los pun-  
tos  $O$  y  $O'$ , á la estrella  $E$  se pueden considerar riguro-  
samente paralelas. De esto resulta que el ángulo  
 $LME = L'O'E$ , y como  $LME = MLO + MLO$   
resulta que el ángulo en  $L$ , será igual á la diferencia  
entre las distancias angulares de la Luna á la estre-  
lla  $E$  observadas en los puntos  $O$  y  $O'$ . De esta ma-  
nera se ha llegado á encontrar como valor máximo  
para la paralaje lunar  $61' 29''$  y como mínimo  $53' 51''$ ,  
lo que dá en el primer caso una distancia entre la  
Tierra y su satélite de 55.9 radios terrestres, y 63.8  
en el segundo, ó sean muy cerca de 60 radios como  
distancia media; mas como el radio medio de la tie-  
rra se puede estimar, segun hemos dicho ántes, en 1520  
leguas mexicanas, resulta que la distancia de la Tie-  
rra á la Luna se puede apreciar en 91.200 leguas.  
Esta distancia, sin embargo, no se vé desde el Sol si-  
no bajo el pequeño ángulo de  $9'$ , es decir, casi bajo el  
mismo ángulo, bajo el cual nosotros vemos la mitad  
del radio del disco solar. Luego la masa del astro del

dia ocupa un espacio esférico, cuyo diámetro es cerca del doble del diámetro de la órbita lunar, ó haciendo el cálculo con más exactitud 112 ródios terrestres. Pero lo que más asombra á la imaginacion es considerar que el diámetro de la órbita que describe la tierra al rededor del Sol, y que es de algo más de 70 millones de leguas mexicanas, es un punto en el espacio en relacion á la distancia que nos separa de las estrellas fijas, puesto que aquella base de 70 millones de leguas, dá un ángulo nulo, para la paralaje de las estrellas fijas, no obstante la precision á que han alcanzado los instrumentos modernos. ¡Sublime debe ser la ciencia que nos revela tales verdades y que lleva el vuelo del espíritu á tan lejanas regiones, no solo en alas de la imaginacion que aun pronto se fatiga y pierde en su carrera, sino en alas de la misma ciencia que con elementos increíbles, pero seguros, escudriña sin cesar las insondables regiones del Cielo, y aun somete á riguroso análisis la naturaleza misma de los infinitos soles que las pueblan!

Debemos hacer otra observacion. Puesto que la paralaje lunar es de 61' en su perigeo, esto es, en su punto más cercano á la tierra, y la paralaje terrestre para un habitante de la luna, es decir, el ángulo, bajo el cual vemos el ródio del disco lunar, es como de 16,' de la relacion de aquellos ángulos se puede deducir la proporecion en que se encuentran los ródios, ó diámetros reales de la tierra y de la luna, que co-

mo se vé es como de 4 á 1, esto es, que el diámetro de la Tierra es cerca de cuatro veces mayor que el de la Luna. Se infiere tambien que variando el ángulo bajo el cual vemos el disco lunar ó solar, variará tambien la distancia del astro, y que por tanto las órbitas de la Luna y de la Tierra no serán circulares, consecuencia importantísima en los anales astronómicos, pues ella condujo al inmortal Kepler al descubrimiento de las tres leyes que rigen los movimientos planetarios, leyes que á su vez proporcionarán otro método para la determinacion de la paralaje solar segun vamos á explicarlo.

Recordemos las leyes de Kepler.

1<sup>a</sup> Las áreas descritas al rededor del Sol por el ródio vector de un planeta son proporcionales á los tiempos empleados en describirlas.

2<sup>a</sup> Las órbitas de los planetas son elipses, ocupando el Sol uno de los focos.

3<sup>a</sup> Los cuadrados de los tiempos de revolucion de los planetas son entre sí como los cubos de los semi-ejes mayores.

De la última ley se infiere que conociendo los tiempos que los planetas tardan en hacer sus revoluciones respectivas, bastará averiguar la distancia de uno solo de los planetas al Sol, para venir en conocimiento por una sencilla proporecion de las distancias de los demas planetas al mismo Sol. Esto vino á sugerir la idea de

un nuevo método para la determinacion de la paralaje solar. Veámos en que consiste.

Supongamos uno de los planetas que más pueden acercarse á nosotros, Marte ó Venus, en el punto de su oposicion con el Sol, si se trata del primero, ó de su conjuncion inferior si del segundo. Si por alguno de los métodos explicados ántes, sea por observaciones simultáneas meridianas, ó de distancias á una misma estrella, se determina la paralaje del planeta en aquel punto, y si por la tercera ley de Kepler hemos deducido la relacion de las distancias planetarias, lo que nos puede conducir facilmente á encontrar la relacion que existe entre la distancia de la Tierra al planeta y la distancia de la Tierra al Sol; y teniendo en fin, presente, que para el caso de paralajes pequeñas, éstas son inversamente proporcionales á las distancias, se comprende fácilmente como por una proporcion se puede deducir de la paralaje del planeta, la paralaje solar. Este método, sin embargo, aplicado especialmente á Marte, que es el planeta más favorable al caso, no ha llegado á dar resultados bastante concordantes, debido sin duda á la dificultad de medir con toda exactitud y simultáneamente por dos observadores, la distancia del planeta á una estrella fija, tratándose como se trata de apreciar con seguridad por lo ménos los décimos de segundo.

Partiendo del mismo principio de la proporcionalidad que existe, segun la 3.<sup>a</sup> ley de Kepler, entre los

cuadrados de los tiempos de las revoluciones de los planetas y los cubos de sus distancias medias al Sol, lo que habia proporcionado conocer la distancia relativa entre ellos, Halley imaginó un método que se consideró desde luego como más exacto que los anteriores. La ley citada habia dado para la relacion entre las distancias del Sol á Venus y del Sol á la Tierra 0.72, de donde se infiere que en el momento en que Venus se halla en su conjuncion inferior, esto es, entre la Tierra y el Sol, la distancia de Venus á la Tierra y la de Venus al Sol estarán en la relacion de 28 á 72. Encontrándose Venus en esa posicion mucho más cerca de la Tierra que del Sol, cuando aquel planeta se proyectara sobre el disco del astro del dia, dos observadores que se encontraran en los extremos del rádio terrestre  $cb$  verian al planeta atravesar el disco solar segun dos cuerdas distintas, de manera que al llegar al centro de ellas la distancia  $mn$  será al

