

órbita de *B* quede mas alta que el piso, y mas baja á mi izquierda.

«En tales condiciones, siempre que se verificase una conjuncion inferior de las dos cabezas delante ó detras del lugar que ocupo, quiere decir, en los *nodos* ó puntos de interseccion de las órbitas, habria un tránsito, puesto que entonces tanto *A* como *B* se encontrarían en el piso de la sala; pero si tenían lugar las conjunciones á mi derecha, *B* se encontraría mas alta que *A*, y en consecuencia esta última vería á aquella mas arriba de la lámpara ó proyectada fuera de ella. Una cosa análoga se verificaría si las conjunciones tuviesen lugar á mi izquierda, con la diferencia de que hallándose entonces *B* mas baja que *A*, esta vería la cabeza de *B* proyectarse mas abajo de la luz.

«Es, pues, condicion indispensable que las conjunciones se verifiquen en las inmediaciones de los nodos para que pueda haber un tránsito; y por eso estos fenómenos solo acaecen respecto de Vénus en los meses de Junio y Diciembre, que son las épocas del año en que la tierra pasa por el plano de la órbita de aquel planeta.

«Ahora bien, como las conjunciones inferiores de Vénus, se producen cada 584 dias, resulta que cinco de estos períodos equivalen á 2920 dias, los que divididos por 365 dan precisamente 8 años; luego despues de este tiempo se verificará una conjuncion de Vénus estando la tierra en el mismo punto que ocupaba 8 años antes.

«De estas consideraciones se infiere que despues de un tránsito de Vénus, podremos esperar otro al cabo de 8 años, y así sucedería en efecto, al menos durante mucho tiempo, si todos ellos acaeciesen precisamente en los nodos de las órbitas, en cuyo caso veríamos siempre al planeta pasar por el centro mismo del disco solar; pero cuando solo se verifican en las inmediaciones de aquellos puntos, y vemos en consecuencia á Vénus describir una cuerda mas ó menos distante del centro del sol, podría suceder que al cabo de los 8 años no fuese visible su tránsito desde la tierra, á causa de la separacion angular que en ese intervalo hubiese adquirido el planeta respecto del plano de la órbita terrestre.

«Esta distancia angular, llamada *latitud*, varia cosa de 20' en 8 años respecto de su valor al principio de este período, y se comprende, por tanto, que es posible en virtud del cambio de latitud de Vénus, que su distancia angular á la eclíptica llegue á ser mayor que el diámetro aparente del sol, cuyo valor es solo de unos 32'. Entonces proyectándose

el planeta fuera del limbo solar, haría invisible su tránsito desde la tierra.

«Las mismas reflexiones demuestran la imposibilidad de que se observen tres tránsitos en el intervalo de 16 años; porque el incremento de la latitud en ese tiempo excede con mucho del diámetro aparente del sol. Así, pues, aun verificándose dos tránsitos con intervalo de 8 años, debe trascurrir mas de un siglo para que el cambio de latitud de Vénus pueda producir nuevos tránsitos en las inmediaciones del otro nodo. Este nuevo período es de 113 mas ó menos 8 años, de manera que trascurrirán 105 ó 121 años para que vuelva á verificarse un nuevo tránsito observable.

«Comenzando por el de 1769 que fué el último observado, pongo á continuacion las fechas de algunos de los futuros tránsitos con las horas aproximativas de México correspondientes á los instantes de las conjunciones en longitud.

FECHAS	HORAS MEDIAS DE MEXICO	
	h	m
Junio 3 de 1769	3	22
Diciembre 8 de 1874	9	32
Diciembre 5 de 1882	21	40
Junio 7 de 2004	14	15
Junio 5 de 2012	6	42
Diciembre 10 de 2117	6	22
Diciembre 7 de 2125	20	33

«Estos cálculos indican que en dos siglos y medio contados desde esta fecha, solo serán visibles en esta ciudad el tránsito que tendrá lugar de aquí á 8 años y el de 2125, si bien podrán observarse los principios de los dos que preceden á este último. La fecha civil del de 1882 para la hora de la conjuncion en México es 6 de Diciembre de 1882 á las 9^h 40^m de la mañana.

«Réstame ahora exponeros cómo observando los efectos de las paralajes de Vénus y del sol, es posible determinar el valor de esta última. No siendo mi intento el de fatigar vuestra atencion, de la que temo haber abusado ya, con el exámen de una figura geométrica, voy á recurrir á un ejemplo sencillo que exajerando el fenómeno lo haga mas perceptible.

«Suponed como antes, que el globo trasparente de esta lámpare represente el sol, y que la pequeña bala que tengo suspendida entre vosotros y la lámpara haga las veces de Vénus. A la verdad las dimensiones de estos cuerpos y su distancia no están en armonía con las de los

astros cuyo papel están desempeñando. Para colocarlos en las condiciones de estos, y teniendo el globo de la lámpara cosa de 0^m.16 de diámetro, sería preciso que la bala solo tuviese el de poco mas de un milímetro y que se situase á unos 12 metros de la luz; pero repito que la deformacion de dimensiones no altera sustancialmente el hecho que deseo exponeros, y tiene la ventaja de hacerlo mas palpable.

«Colocándoos convenientemente, podreis ver todos vosotros proyectada la bala sobre esta esfera luminosa, como veriais á Vénus sobre el disco del sol; pero cada persona lo observará en un punto diferente por efecto de la paralaje, esto es, á causa del ángulo bajo el cual se veria desde la bala la distancia que media de un observador á otro. No es necesario en verdad, para apreciar este efecto, recurrir á dos observadores ó que uno solo varíe de posicion: si os tomais la molestia de notar el lugar aparente de la bala mirándola primero con solo el ojo derecho, y en seguida solo con el izquierdo y sin mover la cabeza, observareis tambien el cambio de posicion aparente que tiene la bala sobre el velador. La distancia de una á otra de vuestras pupilas podrá, pues, representar la que separa dos estaciones terrestres desde las cuales se observe el tránsito de Vénus.*

«Debo advertiros, antes de proseguir, que un cambio semejante observareis en la lámpara misma, y que la vereis proyectada sobre diferentes lugares de los objetos que haya á mi espalda; pero como respecto de estos mismos objetos variará tambien la bala de posicion aparente, y de una manera mas notable por estar mas cerca de vosotros, es claro que podreis prescindir de la paralaje de la esfera luminosa, fijándoos solamente en la de la bala respecto de ella, ó lo que es lo mismo, en el efecto relativo de las dos paralajes, que será la diferencia de sus valores absolutos.

«Si ahora hiciera yo subir ó bajar la bala, podriais observar sus tránsitos sobre el velador de la lámpara viéndola describir una cuerda en el disco de este, cuerda que podriais representaros por el hilo que sostiene á

* La desviacion aparente causada por la paralaje puede observarse con cualquiera objeto; por ejemplo, con un lápiz que se tenga verticalmente en la mano manteniendo el brazo extendido é inmóvil. Si, sin mover la cabeza, se mira sucesivamente el lápiz con cada uno de los ojos, se notará que en cada observacion se ve proyectado sobre objetos distintos, lo mismo que en el ejemplo del texto se ve la bala ocupando diversas posiciones sobre el velador de la lámpara.

la bala misma; y si haceis la observacion sucesivamente con el ojo derecho y con el izquierdo, vereis que el hilo se proyecta en diferentes situaciones respecto del centro del velador, y que por tanto las dos cuerdas tendrán distintos tamaños. La distancia entre estas posiciones aparentes de las cuerdas, es pues, un efecto producido únicamente por la paralaje relativa; y en consecuencia si lográsemos medir la primera, vendriamos en conocimiento de la segunda.

«La medida de esa distancia es la que constituye el objeto inmediato de la observacion de los tránsitos, la cual consiste en lo siguiente: Dos ó mas astrónomos, colocados en lugares distantes entre sí sobre la tierra, observan los momentos en que Vénus está en contacto con los bordes del sol, tanto en su *ingreso* ó su entrada al disco, como en su *egreso* ó salida de él. El tiempo que para cada observador transcurre entre ambos instantes, sirve para hallar la longitud de la cuerda que parece describir el planeta sobre el limbo solar, así como la posicion que tiene respecto del centro de este astro. Todo esto puede hacerse por comparacion, pues el tiempo que emplearia Vénus en describir exactamente el diámetro solar se calcula fácilmente por el conocimiento que ya se tiene adquirido de la duracion de las revoluciones planetarias, y por consiguiente de la velocidad angular con que estos cuerpos describen una parte de sus órbitas, tal como seria la interceptada por el diámetro aparente del sol.

«Conociendo así el valor de dos cuerdas y sus posiciones respecto del centro del limbo solar, es ya muy fácil deducir la distancia angular de una cuerda á otra tal como podria medirse desde la tierra, si el planeta hubiera dejado señaladas sus huellas aparentes sobre el cuerpo del sol en las posiciones en que se observa desde dos estaciones terrestres.

«Esta distancia angular forma la base de un triángulo cuyo vértice opuesto está en Vénus, y cuyos lados prolongados van á terminar sobre la tierra en los dos lugares ocupados por los observadores. Todo esto se comprende fácilmente por medio del ejemplo material á que antes he recurrido. La distancia de vuestros ojos representa la que existe entre las dos estaciones, y cada una de vuestras visuales, cortándose en el centro de la bala, va á terminar en las dos posiciones aparentes del hilo que la sostiene.

«Vénus será, pues, el vértice comun de dos triángulos, uno de los cuales tiene su base en el sol, siendo la del otro la distancia de los dos

observatorios terrestres. Estos triángulos son semejantes y sus dimensiones homólogas serán, por lo mismo, proporcionales. Por consiguiente, la relacion que exista entre las distancias de Vénus á la tierra y al sol, existirá tambien entre la distancia de las dos estaciones de la tierra y la que separa á las dos cuerdas en el disco solar, valorizada ahora en unidades lineales como antes lo fué en unidades angulares.

«La mencionada relacion es conocida; porque una de las leyes de Kepler, la que establece la proporcionalidad entre los cubos de los ejes de las órbitas planetarias y los cuadrados de las duraciones de sus movimientos al derredor del sol, determina el valor relativo de las distancias que, en el instante de su conjuncion, tiene Vénus respecto de la tierra y del sol. Tomando por unidad la distancia del sol á la tierra, las de Vénus estarán representados por los números 0. 73 y 0. 27 próximamente.

«Así, pues, la relacion $\frac{73}{27} = 2. 7$ será la existente entre la distancia lineal de los dos observatorios y la aparente de las cuerdas en el disco solar; y como la primera es fácilmente calculable por medio de las posiciones geográficas de ambas estaciones, se obtiene desde luego la segunda.

«De esta manera hemos adquirido el conocimiento de los dos elementos necesarios para la determinacion de la paralaje solar, que son: el valor de una distancia lineal ó sea una parte del disco del sol, y su amplitud angular ó bien el ángulo bajo el cual la vemos desde la tierra. Entonces aplicando el principio de que, en igualdad de distancias, los ángulos muy pequeños son proporcionales á las líneas interceptadas por sus lados, nada será mas fácil que deducir el valor del ángulo bajo el cual veríamos desde la tierra una línea igual á su radio, pero situada en el sol, ó bien desde el sol la misma línea situada en la tierra, esto es, la paralaje del sol segun su acepcion astronómica.

«Una vez obtenida la paralaje y puesto que nos es conocida la longitud del radio terrestre, el triángulo rectángulo de que hablamos al principio nos proporcionará la distancia del sol al centro de la tierra, objeto final del problema.

«Tal es en sustancia el ingenioso procedimiento inventado por Halley para medir el elemento angular sin el cual no podríamos calcular las dimensiones de los espacios interplanetarios, y las magnitudes de los astros que componen nuestro sistema solar. He procurado exponeros este método con toda su sencillez elemental, y enteramente despojado de

las dificultades de los cálculos numéricos, que por otra parte, es preciso afrontar para reducirlo á la práctica; pero debo tambien advertiros que al aplicarlo no es preciso seguir exactamente el camino geométrico que para mayor claridad he adoptado en su exposicion, sino que en el terreno analítico se adopta una senda algo distinta, si bien necesariamente equivalente. Así, por ejemplo, en lugar de deducir directamente de las observaciones el valor de la paralaje solar, se determina por lo general la paralaje relativa de los astros, cuya relacion conocida permite en seguida la determinacion de la del sol; y esta marcha tiene la ventaja importantísima de no demandar el conocimiento exacto de las longitudes geográficas de los observatorios terrestres.

«En 1753 el astrónomo De l' Isle propuso una modificacion del método original de Halley, la cual es en alto grado interesante, y de la que os daré una ligera idea antes de terminar.

«El procedimiento de Halley exige que las observaciones del tránsito sean *completas*, esto es, que en cada estacion se obtengan tanto las horas del ingreso como las del egreso, puesto que las duraciones totales del tránsito del planeta constituyen los principales elementos de cálculo; y por lo mismo se comprende sin dificultad que si en alguna de ellas es invisible ó se pierde por accidente alguna de la faces, no puede utilizarse el resto de la observacion.

«La modificacion De l' Isle tuvo por objeto capital el de hacer utilizables todas las observaciones, fuesen ó no completas, exigiendo solamente el conocimiento exacto de las longitudes geográficas de los respectivos observatorios. Su fundamento es este: Puesto que el efecto de la paralaje, cuando se observa un astro desde la superficie de la tierra, es el de producir una desviacion aparente de este respecto de la posicion en que se le veria desde el centro del globo terrestre, es claro que el principio ó el fin de un tránsito debe, ya sea *acelerarse* ya sea *atrasarse*, con relacion á las horas en que lo veria un observador que se hallase situado en el centro de la tierra. Esta aceleracion ó este atraso, variables con la posicion del observador, pueden deducirse de los datos suministrados por cada observacion directa de cualquiera de las faces del fenómeno; y la comparacion de esos efectos tales como se obtienen en dos ó mas estaciones diferentes, permite calcular en seguida la paralaje relativa, que es la causa que los produce.