

ó á la izquierda de aquel punto si uno de los errores fuese por exceso y el otro por defecto. Sin embargo, la desviacion del punto erróneo respecto del verdadero, y en consecuencia el error que resultaria en la distancia que deseábamos determinar, seria mas ó menos considerable segun que esta distancia fuese mas ó menos grande respecto de la base, aun dando por concedido que en todos casos tuviesen el mismo valor numérico los errores angulares.

« En efecto, si la base tuviese una extension próximamente igual ó poco menor que los otros dos lados, las visuales no se cortarían bajo un ángulo muy agudo, y su punto de interseccion no se alejaria mucho del verdadero, siendo por supuesto muy pequeños los errores angulares; pero si la línea medida fuese sumamente pequeña con relacion á los otros lados del triángulo, las dos visuales serian muy oblicuas la una respecto de la otra, y por ligero que se supusiese el error angular, irian á cortarse á una distancia muy considerable del punto verdadero.

« La gran oblicuidad de una visual respecto de la otra, ó sea la pequeñez del ángulo opuesto á la base, es, pues, la consecuencia necesaria de una notable diferencia de longitud entre la línea conocida y la distancia del objeto que se desee determinar con su ayuda; y como tal circunstancia puede originar un fuerte error en el resultado, se evita siempre en las operaciones terrestres procurando que las bases no sean muy desproporcionadas respecto de las distancias incógnitas.

« En las medidas celestes no somos dueños de hacer lo mismo, pues sujetos á operar dentro de los estrechos límites de nuestro planeta, cuyas dimensiones son casi nulas con relacion á las distancias interplanetarias, jamás podremos disponer de bases comparables á la magnitud de los espacios celestes, para aplicar con buen éxito y con toda su sencillez el procedimiento geométrico que he procurado explicar. Únicamente se ha hecho uso de él para medir la distancia de la luna, que es el astro mas próximo á la tierra; y aun respecto de nuestro satélite, apenas llega á *dos grados* el ángulo de las visuales que pueden dirigirse desde los extremos de un diámetro de nuestro globo, quiere decir, de la mayor distancia rectilínea de que podemos disponer sobre la tierra.

« Establecidos estos principios, vamos á ver lo que significa la palabra *paralaje* en su mas amplia acepcion. Si suponemos que desde dos puntos de la tierra cuya distancia podemos determinar, y que por tanto

consideraremos como una base medida, se dirigen simultáneamente visuales á un mismo astro, estas dos líneas se cortarían en el astro bajo un ángulo mas ó menos agudo. Este ángulo es lo que se llama la *paralaje*, y así diremos que la paralaje de un astro es el ángulo bajo el cual se veria desde el mismo astro cierta distancia medida en la tierra. En el ejemplo á que antes nos referimos para estimar una línea inaccesible, la paralaje está representada por el ángulo que forman en el asta-bandera las dos visuales que le supusimos dirigidas desde los extremos de la base; y hagamos observar de paso que si en el triángulo formado por estas tres líneas tuviesen exactamente la misma longitud las dos visuales, el conocimiento de la paralaje y el de la base serian suficientes para la resolucion del problema, puesto que los otros dos ángulos serian tambien iguales entre sí y su suma suplementaria del valor de aquella paralaje.

« Aunque la precedente definicion es enteramente general, en la astronomía se usa la palabra *paralaje* en una acepcion mas determinada. Se supone al efecto que la distancia terrestre desde cuyos extremos parten las dos visuales dirigidas á un astro, sea precisamente igual al radio de la tierra, de suerte que una de las visuales parta del centro de nuestro globo y la otra sea tangente á su superficie. De este modo se considera formado un triángulo rectángulo cuya hipotenusa, ó sea el lado mayor que es el opuesto al ángulo recto, no es otra cosa mas que la distancia del astro al centro de la tierra. Segun esto, la paralaje de un astro se define astronómicamente diciendo que es el ángulo bajo el cual se veria desde el mismo astro el radio de la tierra.

« Fácilmente se reconoce la utilidad de esta convencion astronómica, recordando que como en un triángulo rectángulo tiene el valor constante de  $90^\circ$  el ángulo opuesto á la hipotenusa, basta el conocimiento de otro de los ángulos y el de un lado para determinar todos los demas elementos. Así, pues, conocida la extension del radio terrestre y determinada la paralaje, se hallará sin dificultad la hipotenusa del triángulo que, segun dijimos, es la distancia del astro de que se trate al centro de la tierra.

« Está bien, me direis, comprendemos perfectamente que conocido como es el valor del radio terrestre y una vez determinada la paralaje de un astro, pueda calcularse con toda precision su distancia á la tierra; pero ¿cómo medir alguno de los ángulos agudos del triángulo rectángulo?

lo, si uno de ellos tiene por vértice el centro del globo terrestre y el otro el centro del astro, quiere decir, dos puntos enteramente inaccesibles al astrónomo y en los que por tanto no es posible la observacion directa? A esto responderé que, en efecto, es impracticable la medida directa de estos ángulos; pero tambien es cierto que la paralaje, en su acepcion astronómica, puede hallarse indirectamente partiendo de las medidas angulares practicadas desde la superficie de la tierra; y todavía con mejor éxito y de una manera mas indirecta, apreciando los fenómenos causados por la paralaje misma.

«La determinacion de este elemento por medio de medidas angulares, nos vuelve á conducir á la operacion geométrica que tiene por objeto la apreciacion de una distancia inaccesible conociendo una base y los dos ángulos que se apoyan en ella, con la diferencia de que en esta ocasion no se tiene por mira inmediata la determinacion de aquella distancia, sino la del ángulo opuesto á la base, ángulo cuyo vértice está en el astro y cuyo valor se deduce inmediatamente de los dos observados en la tierra, puesto que aquel es necesariamente suplementario de la suma de estos. Mediante esta operacion conoceríamos, pues, la paralaje del astro con relacion á la base terrestre; y como los ángulos muy pequeños son proporcionales á las líneas interceptadas por sus lados, estableceríamos en seguida una proporcion entre la distancia que separa las dos estaciones ú observatorios terrestres, la paralaje que le corresponde, el radio de la tierra y la paralaje en su acepcion astronómica, que quedaria así determinada.

«Este método, sin embargo, solo es prácticamente útil respecto de los cuerpos celestes cuyas distancias á la tierra son comparativamente pequeñas, y se ha aplicado con buen éxito á la medida de la paralaje lunar, segun dije antes, y á las de algunos planetas; pero tratándose del sol pierde del todo su importancia práctica. La razon de esto consiste en que deduciendo la paralaje de las observaciones angulares ejecutadas en dos estaciones terrestres, cualquiera error cometido en las medidas entra con todo su valor en aquel elemento. Supongamos para mayor claridad que se tuviese la certidumbre de que el error angular fuera solo de un segundo de arco en cada estacion: entonces el resultante en el valor de la paralaje podria ser de dos segundos, puesto que los tres ángulos deben llenar la condicion de dar  $180^\circ$  por suma. Ahora bien, un error de  $2''$

no seria ciertamente muy grande respecto de un ángulo considerable; pero representaria una notable fraccion suya si el ángulo fuese muy pequeño. La paralaje del sol, por ejemplo, tiene un valor que no llega probablemente á  $9''$ , y por tanto en el caso de este astro, el error supuesto representaria casi la cuarta parte de la magnitud de la paralaje, y originaria en la distancia del sol á la tierra una incertidumbre de cerca de nueve millones de leguas.

«Este inconveniente, inevitable hasta hoy por la multitud de causas naturales que dificultan la exacta apreciacion de los ángulos celestes, lejos de presentarse como un obstáculo insuperable para la determinacion del elemento del cual depende la unidad de medida del universo, solo sirvió para excitar el ingenio del hombre, cuyo atrevido espíritu de investigacion halló muy pronto el modo de eludir la dificultad. Obstáculos naturales intentaron paralizar el vuelo audaz de su inteligencia; pues bien, su inteligencia supo arrancar á la misma naturaleza nuevas fuerzas para combatirlos y vencerlos.

«El astrónomo inglés Halley fué el primero en llamar la atencion de los sábios en 1677 sobre la importancia de los tránsitos de los planetas inferiores Mercurio y Vénus por el disco solar, como medio indirecto de medir la distancia del sol á la tierra, apreciando directamente los efectos que produce la paralaje. Este método eminentemente científico se puso en práctica, de acuerdo con el plan de aquel hombre ilustre, 84 años despues de iniciado, esto es, en los tránsitos de Vénus que tuvieron lugar en el siglo pasado, el uno en 1761 y el otro en 1769. Los resultados de las observaciones, especialmente los del tránsito de 1769, han suministrado ya un valor bastante aproximado de la paralaje del sol, que se fijó en  $8''.6$  con poca diferencia, y que coloca á este astro á una distancia de la tierra próximamente igual á treinta y seis millones y medio de leguas mexicanas.

«El valor de  $8''.6$  ó mas exactamente  $8''.58$  fué determinado por Encke discutiendo las observaciones del tránsito de Vénus practicadas en 1769. Pawalky por medio de una discusion semejante halló  $8''.86$  y diversos observadores por distintos métodos, considerados en general como menos dignos de confianza que el de los tránsitos de Vénus, han encontrado valores que varian desde  $8''.86$  hasta  $8''.96$ . Se ve, pues, que á pesar de una concordancia sumamente notable tratándose de una

cantidad tan pequeña, queda aun una incertidumbre de  $0''.3$  á  $0''.4$  respecto del verdadero valor de la paralaje solar, la cual produce en la distancia del sol á la tierra una duda que asciende á cosa de millon y medio de leguas.

«Las ligerísimas discordancias que ofrecen los resultados de las observaciones del siglo pasado se explican fácilmente por el simple hecho de que dependen de operaciones muy delicadas, que se ejecutaban por la primera vez, en lugares remotos del globo que en su mayor parte no presentaban todas las comodidades indispensables para trabajos tan difíciles, y acaso tambien y principalmente, por la influencia de los fenómenos de irradiacion, poco estudiados aun en aquella época.

«Desgraciadamente los tránsitos de Vénus se verifican con tan poca frecuencia, que no es dado á ningun hombre observar mas que uno ó á lo mas dos durante su vida. Desde 1769 no ha vuelto á tener lugar este fenómeno; pero podrá observarse el próximo dia 8 de Diciembre, y despues no volverá á presentarse sino trascurridos 8 años, esto es, el 6 de Diciembre de 1882. En seguida trascurrirán 121 años para que vuelva á verificarse.

«Basta la simple enunciacion de estos grandes períodos para que se comprenda el interés, casi debe decirse la ansiedad, con que se preparan los astrónomos de nuestra época á observar los dos únicos tránsitos que presenciará el siglo actual, y de los que se espera la destruccion de la pequeña incertidumbre que existe aun en el valor de la paralaje solar. Y no hay duda en que está bien fundada esta esperanza, contando hoy la ciencia de los astros con dos eficaces y poderosos auxiliares como son la fotografía y la electricidad, ademas de la perfeccion de los instrumentos modernos y del adelanto que se ha hecho ya en el estudio de los fenómenos físicos que influyen mas ó menos en la exacta observacion de los tránsitos.

«Procuraré ahora, señores, daros una idea de la razon por la cual es tan rara la produccion de los tránsitos de Vénus, y en seguida intentaré tambien indicaros cuál es la influencia que ejerce en ellos la paralaje, influencia cuya medida ó apreciacion directa forma el objeto de la observacion, y sirve de dato para llegar al conocimiento de la causa que la produce.

«Vénus es uno de los dos planetas llamados *inferiores*, porque circu-

lan al derredor del sol describiendo órbitas menores que la de nuestro globo terrestre. La de este último es en consecuencia exterior respecto de la órbita de Vénus, y por tanto desde la tierra pueden presenciarse las *coniunciones* de este planeta, quiere decir, los fenómenos que consisten en verlo en la misma direccion que al sol. La conjuncion es *superior* cuando Vénus se encuentra en la parte opuesta de su órbita respecto de nosotros, esto es, mas allá del sol; é *inferior* cuando se halla mas inmediata á la tierra, é interpuesta entre esta y el sol. Por consiguiente es claro que solo en las épocas de las conjunciones inferiores será cuando pueda verificarse un tránsito de Vénus, ó lo que es lo mismo, cuando desde la tierra pueda verse proyectado el planeta sobre el disco del sol.

«Podria creerse, segun esto, que en todas las conjunciones inferiores de Vénus deberia encontrarse este planeta en las condiciones necesarias para originar un tránsito; y como aquellas tienen lugar cada 584 dias, esto es, cada año y poco mas de siete meses, se creeria que con la misma regularidad deberiamos verlo proyectado sobre el sol. Sin embargo, no sucede así á causa de la pequeña inclinacion de  $3^{\circ} 23'$  que tiene su órbita respecto de la de la tierra.

«Para no verme obligado á recurrir á una figura geométrica, voy á permitirme echar mano de un ejemplo sencillo que espero será bastante claro para daros una idea de la influencia que ejercen las inclinaciones de las órbitas en la produccion de los tránsitos. Figuraos por un momento que la lámpara que me alumbra represente el sol, y que dos de vosotros circuleis á su derredor á distintas distancias y con diferentes velocidades, aunque en el mismo sentido. La cabeza de la persona *A*, que describa el mayor círculo, representará la tierra; y la cabeza de la persona *B*, mas inmediata á la lámpara, será la representante de Vénus. Si os imagináis, ademas, que las dos cabezas se hallen á la misma altura que la lámpara respecto del piso, y que sobre este se muevan ambas personas, no hay duda que cuantas veces en el curso de sus movimientos se encuentren *B* entre la luz y *A*, esta última verá la cabeza de *B* proyectada sobre la lámpara.

«Pero suponed ahora que *A* se mueva, como antes, en el piso de esta sala, al paso que *B* describa su curva en un plano ligeramente inclinado, y para mayor claridad admitid que este plano corte al del piso en la línea que me une con la lámpara, de tal manera que á mi derecha la