

cordaban ó no. Como Keplero desconocía el uso de los logaritmos, inventados poco después, que de tal manera abrevian los cálculos, cada investigación de una de sus hipótesis costaba al ilustre astrónomo un trabajo inmenso.

Por fin averiguó que la forma de la órbita no era circular, sino elíptica, y trató de investigar qué efecto produciría el Sol colocado en uno de los focos de la elipse; en este caso, el movimiento del planeta satisfacía á la hipótesis, si su velocidad se consideraba variable y mayor, cuanto menos distase del Sol. De este modo, y paso á paso, llegó á formular sus tres leyes inmortales sobre los movimientos de los planetas, y que dicen así:

1.<sup>a</sup> La órbita de cada planeta es una elipse y el Sol ocupa uno de los focos.

2.<sup>a</sup> A medida que el planeta se mueve alrededor del Sol, su radio vector ó línea que lo une al astro central, recorre espacios ó áreas iguales en tiempos iguales.

Antes de explicar estas leyes veamos la manera fácil de trazar una elipse.

Tírese una recta indefinida (fig. 143) y sobre ella clavense dos puntas ó alfileres á los que se atan los extremos de un hilo, cuidando de que la parte comprendida entre los dos clavitos sea más larga que la distancia que haya entre éstos. Por medio de un lápiz, y tesando el hilo como muestra el grabado, se traza la mitad de la elipse, y echando el hilo al otro lado, se acaba de cerrar; los dos puntos F F son los focos de la elipse, las dos porciones del hilo los radios vectores, y la distancia O F del centro á uno de los focos la excentricidad. La primera ley apenas exige explicación.

Veamos ahora qué quiere decir la segunda ley. Supongamos que á contar de P (fig. 144) marcamos en la órbita de un planeta sus diversas posiciones en varios intervalos de tiempo iguales, como de 30, 60, 90 ó más días. Si de P y P<sub>1</sub> tiramos dos líneas que se encuentren en S, y hacemos lo mismo de P<sub>2</sub> y P<sub>3</sub> y de P<sub>4</sub> y P<sub>5</sub>, resultarán tres espacios triangulares iguales, recorridos por el radio vector en intervalos de tiempo idénticos.

La antigua teoría de que los movimientos de los cuerpos celestes debían de ser circulares y uniformes, ó cuando menos, compuestos de elementos circulares y constantes, quedó destruída, sustituyendo la elipse al círculo, y al movimiento uniforme el movimiento variable.

Otra ley planetaria, no menos importante que las dos anteriores, fué poco después descubierta por Keplero. Sabía Copérnico que mientras mayor era la distancia de un planeta, más tiempo necesitaba para efectuar su revolución alrededor del Sol, no sólo porque su órbita fuese de desarrollo más considerable, sino también por ser su movimiento real más lento. Por ejemplo, Saturno está unas 9  $\frac{1}{2}$  veces más distante que la Tierra, y si caminase con la misma velocidad que nuestro globo, efectuaría su revolución en nueve años y medio, y sin embargo, invierte en ella de 29 á 30 años. Copérnico no se fijó jamás en las relaciones que existen entre las distancias de los planetas y sus períodos de revolución; pero Keplero, como decimos, descubrió después de largos cálculos su tercera ley, que dice:

3.<sup>a</sup> El cuadrado del tiempo de revolución de cada planeta es proporcional al cubo de su distancia media al Sol.

Puede decirse que, en cuanto concierne á la determinación de las leyes de

los movimientos planetarios deducida de las observaciones, no dejó Keplero nada por hacer; dada la posición y magnitud de la órbita elíptica en que se mueve un planeta y el punto de esta órbita en que se encuentra en determinado momento, es posible calcular la posición que ocupará en cualquiera otra fecha. No es esto, empero, rigurosamente exacto, y si Keplero hubiera tenido á su disposición observaciones tan precisas como las que se efectúan en nuestra época, pronto habría echado de ver que sus leyes no representaban con toda fidelidad los movimientos de los planetas; no sólo hubiera observado que la órbita elíptica variaba de posición de un siglo á otro, sino también que los planetas se apartaban de ella, primero en una dirección y luego en la opuesta, siendo asimismo desiguales las áreas descritas por el radio vector.

¿Qué razón hay para que los planetas se muevan en órbitas elípticas? ¿Por qué describe el radio vector áreas proporcionales á los tiempos? ¿Por qué ha de existir esta relación exacta entre sus distancias y los tiempos de sus revoluciones?

Mientras no se halló la respuesta á estas preguntas, fué imposible decir por qué no se ajustaban con todo rigor los planetas á las leyes enunciadas por Keplero; para ello era necesario descubrir las leyes generales del movimiento, desconocidas por completo en tiempo del grande astrónomo.

Al ilustre contemporáneo de Keplero, á Galileo, se debe el primer paso importante dado en el descubrimiento de estas leyes. Siguióle Descartes, gran matemático y mecánico; este filósofo fué el primero que trató de reducir á una ley general los movimientos de los cuerpos celestes en su famosa teoría de los vórtices, que por algún tiempo disputó el campo á la hipótesis de la gravitación universal de Newton.

El gran matemático Huyghens descubrió posteriormente las leyes de la fuerza centrífuga, y de haberlas aplicado al sistema solar, hubiese averiguado que los planetas están retenidos en sus órbitas por una fuerza que varía en razón inversa del cuadrado de su distancia al Sol; de aquí á la teoría de la gravitación apenas hay un paso, pero el gran descubrimiento necesitaba un espíritu superior para manifestarse, y este fué el del inmortal Newton.

Aunque son muchos los que se admiran del gran descubrimiento de Newton de la gravitación universal, pocos llegan á comprender su verdadera significación. En general se considera la gravitación como una fuerza misteriosa que sólo ejerce su influjo entre los cuerpos celestes y que fué descubierta por el eminente matemático inglés. La gravitación es un fenómeno que, en esfera más reducida, conoce todo el mundo, pues se reduce sencillamente á la fuerza que hace caer todos los cuerpos hacia el suelo, ó mejor dicho, hacia el centro de la

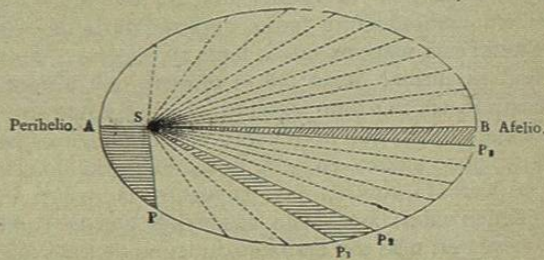


Fig. 144. - Demostración de la segunda ley de Keplero



Tierra; todo el que haya visto caer una piedra ó haya tratado de suspender un peso cualquiera, tiene conocimiento de la existencia de la gravitación. Newton lo que hizo fué demostrar que los movimientos de los planetas se debían á una fuerza universal, que lo mismo obra sobre la manzana desprendida del árbol, que sobre los gigantescos mundos del espacio, despojando así de su carácter maravilloso el mecanismo de los cielos. El perpetuo movimiento de los planetas en círculos ó elipses era para sus antecesores fenómeno en un todo diferente de los movimientos que se observaban en la superficie de la Tierra, sin que pudieran sospechar que se hallaban regidos por unas mismas leyes.

Hasta la época de Galileo se creía generalmente que era necesaria la acción de una fuerza continua para que un cuerpo conservase su movimiento; que el mismo Keplero participaba de esta idea, se demuestra por el hecho de que aceptaba ó concebía que una fuerza cuya acción se ejerciese únicamente en la dirección del Sol, era insuficiente para sustentar los movimientos planetarios, y que era menester otra fuerza suplementaria que empujase los planetas hacia adelante; esta segunda fuerza tenía su origen en la rotación del Sol sobre su eje. Difícil es afirmar quién fué el primero que claramente comprendió que esta suposición era por todo extremo inexacta, y que un cuerpo, puesto una vez en movimiento, sin que obre sobre él fuerza alguna, jamás vuelve á su estado de reposo; poco á poco, empero, se fué extendiendo esta idea, puesto que Leonardo de Vinci la conocía, y se encuentra contenida implícitamente en las leyes de Galileo sobre la caída de los cuerpos y en la teoría de Huyghens de las fuerzas centrales; mas, sin embargo, ninguno de estos físicos parece haberla expuesto con completa claridad y precisión. A Newton, pues, se debe atribuir su verdadera demostración, que enunció en las tres leyes siguientes sobre el movimiento, bases de su descubrimiento inmortal.

*Primera ley.* Un cuerpo en movimiento, que no se halle sujeto á fuerza alguna, caminará eternamente en línea recta y con velocidad uniforme.

*Segunda ley.* Si sobre un cuerpo en movimiento obra una fuerza cualquiera, su desviación de la línea recta ó del movimiento definido en la primera ley, tendrá lugar en la dirección de la fuerza secundaria y será proporcional á ella.

*Tercera ley.* La potencia y la resistencia son iguales y de direcciones opuestas, esto es, que cuando un cuerpo cualquiera ejerce una fuerza sobre otro, el segundo produce sobre el primero un efecto igual, pero en dirección contraria.

La primera de estas leyes es la fundamental; si por tantos siglos erraron los hombres sobre este punto, y si tanto se tardó en descubrirla, se debe á que no hay en la superficie de la Tierra cuerpo alguno sobre el cual no tenga efecto tal ó cual fuerza, y, por lo tanto, no es posible hallar un ejemplo de un cuerpo que se mueva continuamente en línea recta. Cualquiera cuerpo que se hubiese elegido para efectuar el experimento, se encontraría sujeto, cuando menos, á la acción de la gravedad terrestre, es decir, á su propio peso, y por consecuencia pronto hubiera vuelto á caer en la superficie del suelo. Otras fuerzas contrarias al movimiento, y que también hay que tener en cuenta, son el rozamiento y la resistencia del aire.

Ahora nos hallamos en aptitud de comprender de qué modo ensanchó Newton sus teorías de lo que vió en la Tierra, hasta llegar al descubrimiento del

principio inmortal á que su nombre va unido. Sabemos que existe una fuerza que constantemente obra en la Tierra, por la cual todos los cuerpos tratan de dirigirse hacia su centro; esta fuerza se extiende sin disminución sensible hasta la cresta de las más empinadas montañas. Pero ¿cuáles serán sus límites? ¿Por qué no se extenderá hasta la Luna? Si así es, tratará nuestro satélite de caer hacia el centro de la Tierra, del propio modo que la piedra abandonada en el aire. Y en tal caso, ¿por qué no ha de ser esta sencilla fuerza de gravedad la que mantiene á la Luna en su órbita y le impide que se aparte de ella caminando en línea recta en virtud de la primera ley?

Para contestar á esta pregunta era necesario calcular la fuerza que se necesitaba para mantener á la Luna en su órbita, comparándola, al propio tiempo, con la gravedad; en aquella fecha sabían los astrónomos que la distancia de la Luna á la Tierra era igual á unos sesenta semidiámetros terrestres. Al principio supuso Newton que el diámetro de la Tierra era inferior á 7.000 millas (2.816 leguas), y por consecuencia sus cálculos le condujeron á un resultado inexacto; en esta época tenía Newton veintitrés años. Durante veinte años dejó abandonados sus trabajos; mas al saber que las medidas de Picard en Francia demostraban que la Tierra era una sexta parte mayor de lo que se suponía, volvió á ocuparse del asunto. Sus cálculos le demostraron que las desviaciones de la órbita de la Luna respecto del movimiento rectilíneo eran comparables á una caída de 4<sup>m</sup>,80 en un minuto, distancia igual á la que recorre un cuerpo cualquiera en un segundo, en la superficie de la Tierra. Siendo la distancia recorrida proporcional al cuadrado de los tiempos, se deduce que la fuerza de gravedad en la superficie de nuestro globo es 3.600 veces mayor que la fuerza que retiene y sujeta á la Luna en su órbita. Este número es el cuadrado de 60, que expresa cuántas veces más que nosotros dista la Luna del centro de la Tierra. Luego la fuerza que mantiene á la Luna en su órbita es la misma que produce la caída de una piedra, con la diferencia de hallarse disminuída en razón inversa del cuadrado de la distancia al centro de la Tierra.

Los planetas se mueven en torno del Sol del propio modo que la Luna gira alrededor de la Tierra, y deben, por lo tanto, poseer cierta tendencia á caer en aquel lumínar; la fuerza que produce este fenómeno tiene que ser, precisamente, la gravitación misma del Sol. Un cálculo muy sencillo, fundado en la tercera ley de Keplero, demuestra que la fuerza con que cada planeta gravita hacia el Sol es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia media del planeta.

Debemos ahora completar nuestro estudio investigando qué clase de órbita ha de describir un planeta, hallándose solicitado por una fuerza que se dirige hacia el centro del Sol, en proporción inversa al cuadrado de su distancia. Una demostración muy sencilla prueba que, independientemente de las leyes de la fuerza, si ésta se dirige hacia el Sol, el radio vector del planeta recorrerá áreas iguales en tiempos iguales. Y, por el contrario, si la fuerza obra en cualquiera otro sentido, no recorre el radio vector áreas iguales en tiempos iguales, de donde se deduce, por la segunda ley de Keplero, que la fuerza obra hacia el centro del Sol.

En la época de Newton eran muy pocos los matemáticos que estaban en condiciones de poder acometer el problema de determinar la forma de la órbita



descrita por un planeta. El ilustre astrónomo inglés probó, por medio de una demostración rigurosa, que la órbita podía ser elíptica, parabólica ó hiperbólica, según las circunstancias, ocupando el Sol uno de los focos; lo que, tratándose de una elipse, era la primera ley de Keplero. De esta suerte desaparecía toda clase de misterio en los movimientos celestes, demostrándose que los planetas eran cuerpos pesados que circulaban en virtud de las mismas leyes que rigen á nuestra vista los movimientos de los objetos situados en la superficie terrestre. La sencilla ley de la gravitación hacia el Sol comprendía las tres leyes de Keplero, según una fuerza que obraba en razón inversa del cuadrado de la distancia.

El principio de la gravitación explica de un modo concluyente la tercera ley de Keplero. Si tomamos los cubos de las distancias medias de varios planetas y los dividimos por el cuadrado de los tiempos de revolución, el cociente será uno mismo para cada planeta del sistema. Si del propio modo tratamos los satélites de Júpiter, cubicando la distancia de cada uno de ellos al cuerpo primario, y dividimos el cubo por el cuadrado del tiempo de revolución, el cociente será igual para cada satélite, pero distinto del que corresponde á los planetas. Este cociente, en una palabra, es proporcional á la masa ó peso del cuerpo céntrico. En el caso de los planetas es 1.050 veces mayor que cuando se trata de los satélites de Júpiter, lo cual demuestra que el Sol pesa 1.050 veces más que el planeta Júpiter. Así, pues, nos encontramos con un método muy conveniente para averiguar la masa ó peso de los planetas que estén acompañados de satélites, midiendo las órbitas de estos últimos y determinando los tiempos de sus revoluciones, si bien el peso no se expresa en toneladas, sino en fracciones de la masa solar.

No basta, para explicar la teoría de Newton, decir sencillamente que el Sol, la Tierra y los planetas se atraen unos á otros; si dividimos la materia tan finamente como nos sea posible, veremos que siempre conserva su poder de atracción, lo cual se debe á que tiene peso; y puesto que la Tierra atrae las partículas más tenues que podemos imaginar, éstas, en virtud de la tercera ley del movimiento, deben atraer también á nuestro globo con igual fuerza; de donde se deduce que la fuerza de atracción reside, no en la Tierra como un todo, sino en cada partícula individual de la materia de que se compone, esto es, que la atracción de la Tierra sobre una piedra es simplemente la suma total de las atracciones entre la piedra y todas las partículas que componen el globo terrestre.

No se conoce límite alguno á la fuerza de gravitación, que se extiende á todas las distancias imaginables, al menos en el mundo solar; la atracción del Sol sobre los planetas más lejanos, como Urano y Neptuno, demuestra que la ley de Newton no sufre modificación alguna sensible; pero debido á la rápida disminución que experimenta á causa de los cuadrados inversos, cuando se trata de distancias tan enormes como las que nos separan de las estrellas fijas, llega á ser tan pequeña aun la gravitación del Sol, que sería necesario un período de un millón de años para producir un efecto apreciable. Hemos aquí ahora en disposición de formular, para concluir este párrafo, la gran ley de la gravitación universal:

*Todos los cuerpos del universo, grandes ó pequeños, se atraen mutuamente con una fuerza que está en razón directa de sus masas é inversa del cuadrado de la distancia que medie entre ellos.*

El método más famoso que se ha empleado para la determinación de la paralaje del Sol, ha sido el de los pasos de Venus por delante del disco del gran lumínar, método que permite averiguar la diferencia de paralaje de ambos cuerpos. Las tablas astronómicas nos enseñan que el fenómeno de los pasos se verifica según un ciclo periódico, cuatro veces cada 243 años; este ciclo se compone de cuatro intervalos, cuyas longitudes son, en orden regular, 105  $\frac{1}{2}$  años, 8 años, 121  $\frac{1}{2}$  años, 8 años, después de lo cual se repiten los mismos intervalos. Las fechas en que el fenómeno se ha verificado y ha de tener lugar en un período de ocho siglos son las siguientes:

1518. . . . .	2 de junio	1882. . . . .	6 de diciembre
1526. . . . .	1 de »	2004. . . . .	8 de junio
1631. . . . .	7 de diciembre	2012. . . . .	6 de »
1639. . . . .	4 de »	2117. . . . .	11 de diciembre
1761. . . . .	5 de junio	2125. . . . .	8 de »
1769. . . . .	3 de »	2247. . . . .	11 de junio
1874. . . . .	9 de diciembre	2255. . . . .	9 de »

Tan sólo en época reciente ha podido predecirse y observarse el fenómeno, pues ni en 1518 ni 1526 parece que á ningún astrónomo se le ocurrió el partido que era dable sacar de un paso de Venus por el disco del Sol. En el siglo siguiente nació Keplero, quien de tal manera perfeccionó las tablas planetarias, que llegó á predecir un paso para el 6 de diciembre de 1631, si bien éste comenzaba después de la puesta del Sol en Europa y concluía antes de su orto al día siguiente, por manera que de nadie fué percibido. Desgraciadamente, distaban mucho las tablas de ofrecer una completa exactitud, así que el mismo astrónomo no pudo predecir el siguiente paso de 8 años después, anunciando Keplero que el fenómeno no se repetiría hasta 1761. El paso de 1639, por lo tanto, como todos los anteriores, hubiera sido inútil para los progresos de la ciencia, sin el talento y entusiasmo de Horrox, quien, como en otro lugar hemos referido, lo observó con gran dificultad.

Durante el intervalo transcurrido entre este paso y el siguiente de 1761, progresó rápidamente la astronomía, en cuanto á la exactitud de sus métodos, gracias al descubrimiento de la ley de la gravitación y á la aplicación del anteojo á las medidas celestes. El descubrimiento de Halley, de que la observación del paso de Venus desde distintos puntos de la Tierra podía servir para determinar la distancia del Sol, prestó al asunto mayor interés.

Sin entrar aquí en los pormenores del cálculo de este problema, que son sumamente complicados, por razón del gran número de circunstancias á que es preciso atender, explicaremos su principio, que es muy sencillo y obvio, en abstracto. En la fig. 145, aunque con proporciones exageradas, se representa el Sol, Venus y la Tierra; supongamos que A y B sean dos espectadores situados en los extremos opuestos del diámetro terrestre, perpendicular á la eclíptica; y para evitar complicaciones, dejaremos de llevar en cuenta la rotación de la Tierra, suponiendo que A y B permanecen en la misma situación durante todo el fenómeno. Según esto, en cualquier momento en que el espectador A ve el centro de Venus proyectado en  $V_2$  sobre el disco del Sol, el de B lo ve



rá proyectado en  $V_1$ . Si, pues, uno de los espectadores pudiera trasladarse en un instante desde A á B, vería á Venus variar repentinamente de posición sobre el disco del Sol desde  $V_2$  á  $V_1$ ; y si tuviese algún medio de fijar con exactitud el lugar del planeta sobre el disco del Sol, ó por medidas micrométricas entre sus respectivos márgenes, ó de cualquier otro modo, podría determinar la medida angular de  $V_1 V_2$ , cual aparece desde la Tierra. Y como por ser A  $V_2$  y B  $V_1$  líneas rectas, son iguales los ángulos opuestos que forman en Venus, tendremos que  $V_1 V_2$  será á A B, como la distancia de Venus al Sol es á la distancia del planeta á la Tierra, ó como 68 á 27, ó próximamente como  $2\frac{1}{2}$  á 1; por consiguiente  $V_1 V_2$  ocupan sobre el disco del Sol un espacio que es igual á  $1\frac{1}{2}$  veces el diámetro de la Tierra, y su medida angular es igual, por la misma razón, á  $2\frac{1}{2}$  veces el diámetro aparente de la Tierra visto desde el Sol,

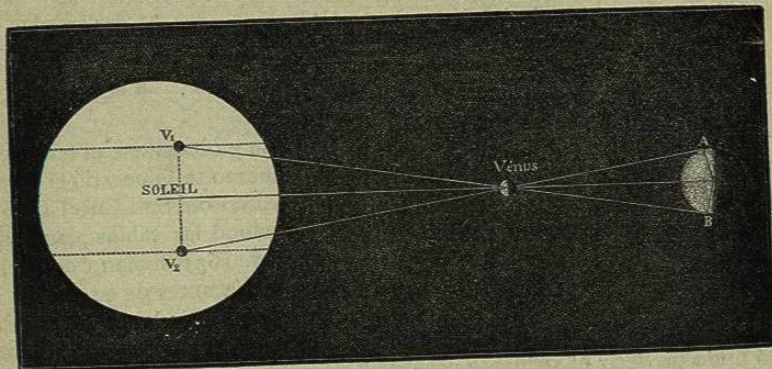


Fig. 145. - Determinación de la distancia del Sol por los pasos de Venus

ó lo que es lo mismo, á cinco veces la paralaje horizontal del Sol. Por tanto, cualquier error que pueda cometerse en la medición de  $V_1 V_2$ , sólo entrará por una quinta parte en el valor de la paralaje horizontal que de ella se deduzca.

Lo que hay, pues, que averiguar no es ni más ni menos, en realidad, que el ancho de la zona comprendida entre las líneas extremas que aparentemente describe Venus sobre el disco del Sol, desde que entra por uno de sus márgenes hasta que sale por el otro. Y así, todo el trabajo de los observadores en A y en B viene á reducirse á fijar, con el mayor esmero y exactitud asequibles, esta línea ó senda, es decir, el punto por donde entra en el disco solar, el punto por donde sale y el segmento que en él determina.

Ahora bien, uno de los modos más exactos (juntamente con las escrupulosas medidas micrométricas) de conseguir este objeto, es observando el intervalo de tiempo que dura todo el paso; porque conociéndose de hecho con la mayor puntualidad el movimiento angular relativo de Venus, por sus tablas, y siendo su curso aparente casi rectilíneo, dan estos intervalos una medida, extraordinariamente amplificada, del largo de las cuerdas de dichos segmentos; y como, por otra parte, se conocía también con gran exactitud el diámetro del Sol, puede averiguarse, por medio de una sencilla fórmula, el ancho de la zona que se bus-

ca. Para obtener correctamente estos intervalos, debe cada observador determinar los instantes del ingreso y del egreso del centro del planeta, para lo cual tiene que anotar: 1.º, el instante en que se hace la primera impresión ó mordedura sobre el margen del disco, que es el primer contacto externo; 2.º, el momento en que el planeta acaba de internarse, y se restablece la interrumpida redondez del

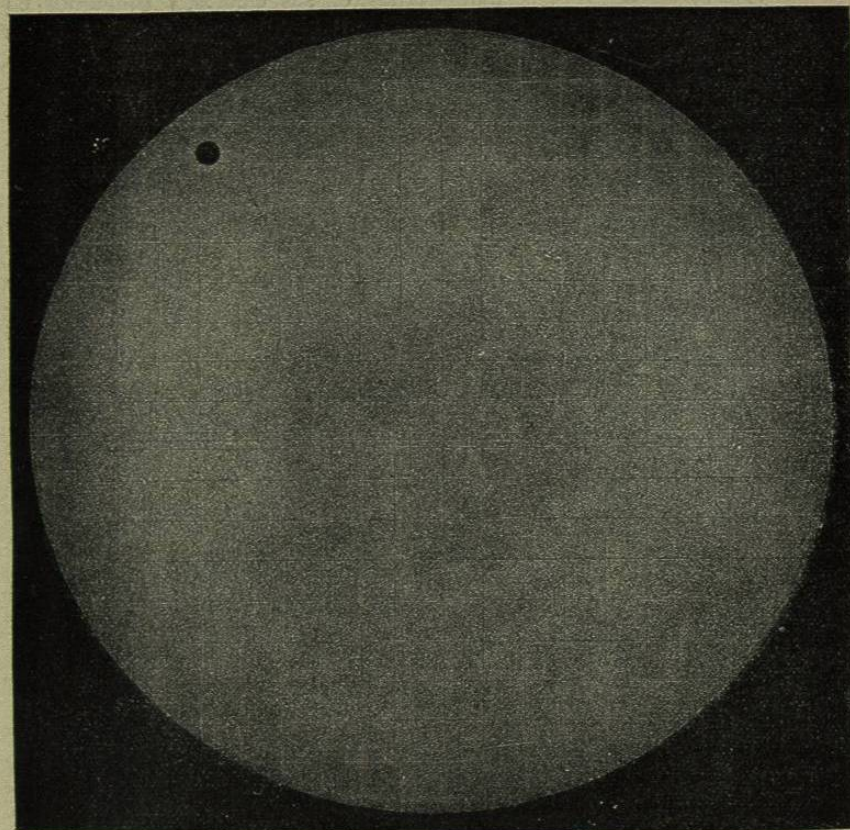


Fig. 146. - Paso de Venus de 1874, facsimile de una fotografía de Janssen

disco solar, que es el momento del primer contacto interno; y finalmente, tiene que hacer las mismas observaciones á la salida del planeta. El promedio de los contactos interno y externo da el instante del ingreso y del egreso del centro del planeta.

Las modificaciones que en este procedimiento obligan á introducir la rotación de la Tierra sobre su eje y la variedad de posiciones geográficas de los observadores, siempre distintas de las que aquí hemos supuesto, son semejantes en su principio á las que entran en el cálculo de un eclipse solar, ó de una



ocultación de estrella por la Luna, sin más diferencia que estar llevadas á mayor grado de escrupulosidad y delicadeza. Toda consideración sobre ellas nos alejaría de los límites de una obra como la presente; pero aun así, expuesta en globo, ofrece la materia un ejemplo admirable de cómo los elementos de la astronomía,

por más diminutos que sean, pueden aparecer amplificados en sus efectos, y sometidos en punto mayor á la medición, ó substituída la medida del tiempo á la del espacio, llegando á determinarse con el grado de precisión adecuado al objeto que se pretende, con sólo aprovechar las oportunidades favorables, y sacar partido de la acertada combinación de las circunstancias.

Varias, como en otro lugar dejamos apuntado, fueron las expediciones equipadas por distintos gobiernos para observar el paso de 1769; con liberalidad no menor, las naciones más cultas de Europa y América, en nuestros días mismos, esto es, en 1874 y 1882, enviaron de igual modo á los confines del mundo expediciones astronómicas para observar estos últimos pasos. El de 1874 lo observaron los rusos al Norte del lago Baikal en la Siberia; en ese clima y en diciembre, sólo los moscovitas podían desafiar los rigores de la estación. Lord Lindsay, opulento y entusiasta astrónomo, equipó á su costa una expedición particular que se estableció en la isla Mauricio; los observadores oficiales ingleses fueron á Egipto, Australia, China y el Japón; á este país y á la isla de San Pablo, peñasco volcánico del hemisferio austral, los franceses; los americanos observaron en Pekín, en el Japón, en Nueva Zelandia y otros puntos; los italianos en la India y los alemanes también se esparcieron por todos estos países tan remotos.

En este paso se hizo uso de varios métodos astronómicos; del de Halley que hemos explicado, del de Delisle y de la fotografía; este último y novísimo procedimiento no dió el buen resultado que de él se esperaba para las mediciones, pero sí para la física astronómica.

La figura 146 es una reproducción de una fotografía obtenida por Janssen durante el paso; en torno del círculo negro de Venus se percibe un anillo nebuloso que se proyectaba sobre el disco solar en el preciso momento de la inmersión, y que indica que el planeta está rodeado por una atmósfera en extremo densa.

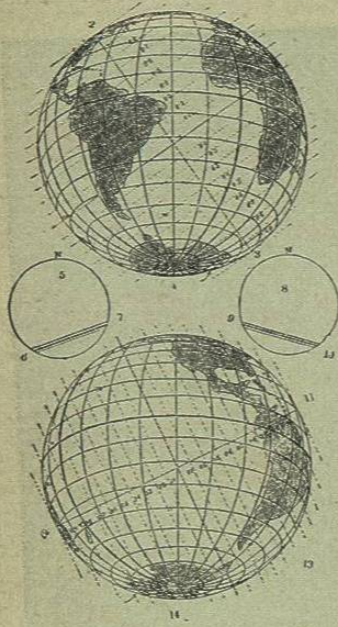


Fig. 147. — Paso de Venus por el disco del Sol el 6 de diciembre de 1882. Cuerda descrita por el planeta sobre el disco solar. — 1. Lado iluminado de la Tierra en el ingreso: 6 diciembre 2 h. — 2. Ingreso retrasado. — 3. Ingreso adelantado. — 4. Tierra Sabrina. — 5. Disco del Sol como se ve desde la Tierra. — 6. Ingreso. — 7. Salida. — 8. Disco del Sol invertido. — 9. Salida. — 10. Ingreso. — 11. Salida adelantada. — 12. Salida retrasada. — 13. Lado iluminado de la Tierra en la salida: 6 diciembre 8 h. — 14. Tierra Sabrina.

El último paso ocurrió el 6 de diciembre de 1882; principió á 1<sup>h</sup> 36<sup>m</sup> de la tarde y concluyó á 7<sup>h</sup> 33<sup>m</sup>; su duración total fué de poco más de seis horas.

La figura 147 representa los dos hemisferios iluminados de la Tierra, el primero en el momento del ingreso de Venus y el segundo en el instante de su salida del disco solar. Los centros de ambos hemisferios indican los dos puntos de la Tierra, en los que, por tener el Sol en el cenit en el momento del ingreso y del egreso, es posible observar estos fenómenos á las horas calculadas para el centro de la Tierra. Las diversas líneas de puntos paralelas entre sí, indican los lugares en que el fenómeno se verifica con adelanto ó con atraso.

Otro tanto puede decirse respecto de los momentos del egreso, y en el segundo hemisferio se marca el adelanto y el atraso del fenómeno calculado para el centro de la Tierra.

El paso de que nos ocupamos fué visible en los Estados Unidos de la América del Norte, y en el Sur, en las regiones comprendidas entre la tierra de Sabine y la bahía Repulse, parajes estos últimos, á no dudar, de difícil acceso en el invierno, á causa de los hielos; pero estaciones muy adecuadas para la aplicación del método de Halley, ó sea de las diferencias de duración de los pasos.

En España era visible el principio del paso y el Sol se ponía con Venus en su disco; pero el estado del tiempo no permitió efectuar las observaciones sino en raras localidades y de un modo imperfecto. En general, los resultados fueron buenos, principalmente en Méjico, donde se establecieron los franceses, y en los Estados Unidos, en Argelia y Australia; se obtuvieron centenares de fotografías y de mediciones heliométricas; pero después de efectuados los cálculos y reducciones, se ha visto que la solución del problema casi no ha adelantado, porque el método en sí no es susceptible de mayor exactitud de la obtenida.