

causada por el flujo ó reflujó deja de afluir visiblemente hacia uno ú otro lado, con el de la pleamar ó bajamar, cuando el nivel de la superficie deja de subir ó de descender. Estos fenómenos son totalmente distintos y dependientes de causas muy diversas, si bien es cierto que pueden coincidir algunas veces en punto á tiempo; y hay motivo para recelar que se toman uno por otro con demasiada frecuencia en la práctica, circunstancia que dondequiera que ocurre debe producir la mayor confusión en cualquiera tentativa cuyo objeto sea reducir el sistema de las mareas á leyes distintas é inteligibles.

En las mareas de cada puerto particular influyen considerablemente las declinaciones del Sol y de la Luna. Pues que el vértice de la ola de marea tiende á situarse en dirección vertical debajo del luminar que la produce, claro está que cuando varíe la incidencia de esta vertical sobre la superficie, procurará la ola variar de un modo consiguiente, y por lo mismo, tenderán á aumentar y disminuir alternativamente, según períodos mensuales y anuales, las mareas principales. Así viene á introducirse en la materia el período de los nodos de la Luna, en razón de que en una parte de dicho período pueden las declinaciones de este astro extenderse hasta 29 grados hacia un lado del ecuador, y en la parte opuesta á sólo 17° hacia el mismo lado.

Hasta aquí hemos considerado la ola de marea como si la Tierra fuese una esfera perfecta cubierta de agua, de una profundidad uniforme; pero como esto dista mucho de ser así, se deduce que el fenómeno de las mareas presenta un carácter mucho más complejo, debido al contorno irregular de las tierras, á la superficie desigual del lecho del Océano, á la acción de los vientos, á las corrientes, etc., etc. Los efectos de estas influencias perturbadoras se manifiestan de un modo particular en la diferencia de la altura de la marea en diversos puntos del globo. Si la superficie terrestre se hallara cubierta de agua por completo, la altura de la marea solar sería de 59 centímetros y la de la marea lunar de 122 centímetros; pero las diferencias de nivel producidas en las aguas del Océano exceden en mucho de estas cantidades; por ejemplo, en canales estrechos, abiertos en el sentido de la ola de marea, se elevan las aguas repentinamente á una altura extraordinaria. Así tenemos que la diferencia de nivel entre la pleamar y la bajamar es como sigue en algunos puertos:

Canal de Bristol	21,33 metros
Río Gallegos (Patagonia)	18,28 »
Saint Maló	12,16 »
Ferrol	3,00 »
Cádiz	4,76 »
Gibraltar	1,12 »

En espacios grandes y abiertos como el Océano Atlántico y el Pacífico, y en mares estrechos y cerrados como el Báltico y el Mediterráneo, es muy pequeña la elevación de la ola de marea. Así en Tolón llega tan sólo á 30 centímetros, en San Juan de Puerto Rico á 46 cm., en el Océano Pacífico austral á 50 cm. y en la isla de Santa Elena á 92 cm.

CAPITULO II

ECLIPSES Y OCULTACIONES

Teoría general de los eclipses. — Eclipses de Sol. — Eclipses de Luna. — Ocultaciones. — Eclipses de los satélites de Júpiter

Los fenómenos de que ahora vamos á ocuparnos resultan de la interposición de algún cuerpo celeste entre la Tierra y otro astro. Sabemos que, debido al movimiento de que se encuentran animados todos los cuerpos del cielo, la dirección de las líneas que pueden imaginarse trazadas de unos á otros varía de tiempo en tiempo, y á veces ha de ocurrir que tres de ellos se encuentren en línea recta.

Cuando uno de los cuerpos extremos de esta serie de tres es el Sol, el cuerpo intermedio priva al que se encuentra en el otro extremo, ya total, ora parcialmente, de la luz que de ordinario recibe. Cuando uno de los cuerpos extremos es la Tierra, el cuerpo intermedio intercepta, total ó parcialmente, al otro cuerpo extremo de la vista de los observadores situados en diversos puntos de nuestro globo que se encuentren en la línea común de dirección, y el cuerpo intermedio se ve pasar sobre el otro extremo cuando entra ó se separa de la línea común de dirección. Los fenómenos que resultan de estas contingencias de posición y dirección se llaman *Eclipses*, *Pasos* y *Ocultaciones*, según las magnitudes relativas y aparentes de los cuerpos interpuestos y obscurecidos, y según las circunstancias en que se verifican.

Principiaremos nuestro estudio por los eclipses.

Debemos ante todo recordar que la órbita de la Luna no coincide exactamente con el plano de la órbita terrestre, sino que ambos planos forman entre sí un ángulo que varía entre 4° 57' y 5° 20', de modo que por término medio podemos tomar 5° 9' como valor angular. Los dos puntos en donde en su curso corta á la eclíptica se llaman nodos, y la línea imaginaria que los une, línea de los nodos; cuando la Luna cruza la eclíptica de Sur á Norte, pasa por su nodo ascendente, y el punto opuesto es el nodo descendente; si ocurre que la Luna pase por uno de sus nodos en la época de la conjunción ó novilunio, ó muy cerca de ella, necesariamente se interpondrá entre la Tierra y el Sol (fig. 133) y los tres cuerpos se encontrarán en una misma línea recta; de donde se deduce que en algunos puntos de la Tierra se verá obscurecido el disco del Sol, total ó parcialmente, según el caso. Sería eclipse total de Sol si la Luna cubriese toda la superficie aparente del luminar del día; parcial, si sólo ocultara una parte, y anular cuando el disco de nuestro satélite no tapa al Sol por completo y se distingue un anillo luminoso alrededor del cuerpo obscuro de la Luna.

Siendo la Tierra y la Luna cuerpos opacos, han de proyectar sus sombras en el espacio, y debido al mayor tamaño de nuestro planeta, tiene que ser su sombra más grande que la de nuestro satélite. Si ocurre que la Luna pase por uno de sus nodos en la época del plenilunio ú oposición, ó muy cerca de esta fecha, tendremos, como antes, que los tres cuerpos se encontrarán en línea recta, pero la Luna se hallará envuelta en el cono de sombra de la Tierra, y por lo tanto, privada de la luz del Sol; luego habrá un eclipse de Luna (fig. 133).

Si las órbitas de la Tierra y de la Luna estuvieran en el mismo plano, tendría lugar un eclipse en cada oposición y en cada conjunción, ó 25 veces todos los años; pero, como sabemos, esto dista mucho de ser así. Según las investigaciones más recientes, para que pueda verificarse un eclipse de Sol, la mayor distancia de este luminar, ó de la Luna, del lugar verdadero de los nodos de la órbita

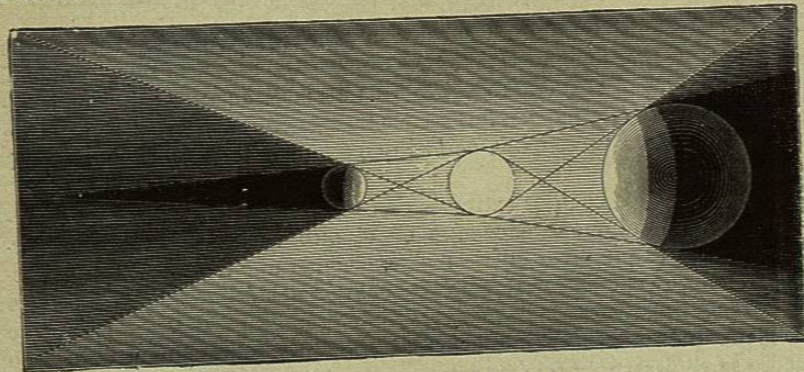


Fig. 132. - Teoría general de los eclipses

lunar, no puede exceder de $18^{\circ} 36'$, ni la latitud de la Luna ó distancia á la eclíptica de $1^{\circ} 34' 52''$.

Vimos que los nodos de la órbita de la Luna no eran fijos, sino que tenían un movimiento diario retrógrado de $3' 11''$ ó anuo de $19^{\circ} 20' 20''$, de modo que efectúan una revolución completa en torno de la eclíptica en $18^{\text{a}} 218^{\text{d}} 21^{\text{h}} 22^{\text{m}} 46^{\text{s}}$.

El período sinódico de la Luna, ó tiempo que invierte en pasar de una conjunción ú oposición á la siguiente, es de $29^{\text{d}} 12^{\text{h}} 44^{\text{m}} 2^{\text{s}},87$; 223 períodos de éstos importan $6.585^{\text{d}},32$, que son $18^{\text{a}} 10^{\text{d}} 7^{\text{h}} 43^{\text{m}}$; pero 19 revoluciones del Sol respecto del nodo lunar se efectúan en $6.585^{\text{d}},77$, resultando de la coincidencia de ambos períodos que los eclipses ocurren casi en el mismo orden regular, después que pasan 19 revoluciones sinódicas de los nodos de la Luna. La diferencia entre ambos períodos es de $0^{\text{d}},451$ ó $10^{\text{h}} 49^{\text{m}} 36^{\text{s}}$; en este tiempo describe el Sol un arco de $28' 6''$ respecto del nodo lunar.

El conocimiento de este hecho, probablemente, permitió á los antiguos astrónomos predecir las fechas de los grandes eclipses, pues se sabe de cierto que en más de una ocasión los anunciaron antes de que se conociera su verdadera naturaleza.

Este es el ciclo ó período de Saros de los caldeos.

Diógenes Laercio habla de 373 eclipses de Sol y 832 de Luna observados

por los egipcios, y aunque sus testimonios, por lo general, son de escaso valor, sin embargo, es muy de notar que ésta es justamente la proporción en que pue-



Fig. 133. - Teoría de los eclipses de Sol y de Luna

den ocurrir los eclipses en un horizonte determinado, dentro de cierto período comprendido entre 1.200 y 1.300 años.

En el período de 18 años se verifican, por lo común, 70 eclipses, divididos en 41 de Sol y 29 lunares. En un año pueden ocurrir cuando más 7, cuando

menos 2. En el primer caso, 5 pueden ser solares y 2 lunares; en el segundo, ambos deben ser solares.

En ninguna circunstancia puede haber más de 3 eclipses de Luna en un año, y también ocurre que en varios años no hay ninguno.

Aunque los eclipses de Sol son más numerosos que los de Luna en la proporción de 41 á 29 ó de 3 á 2, sin embargo, en un lugar dado se observan más eclipses lunares que de Sol, y esto se debe á que los primeros son visibles en un hemisferio entero de la Tierra, mientras que los eclipses de Sol, ya sean totales ó anulares, sólo marcan en la superficie terrestre una línea ó banda estrecha que no puede pasar de 72 leguas y que rara vez llega á 56 leguas. Cuando se trata de eclipses parciales, es mucho más ancha la zona de visibilidad.

En un eclipse solar atraviesa la sombra de la Luna la superficie terrestre con una velocidad de 730 leguas por hora, ó más de 2 kilómetros por segundo; Du

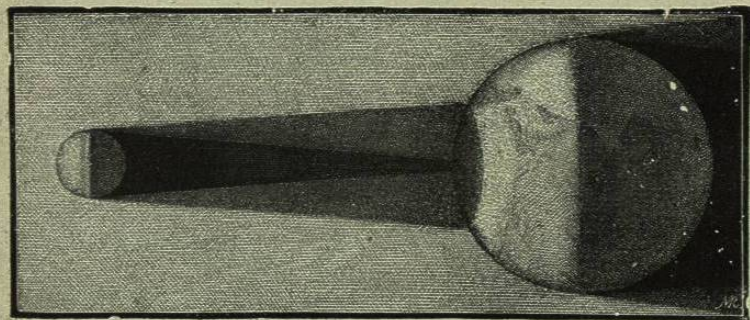


Fig. 134. - Teoría de los eclipses totales de Sol

Séjour calculó que desde el principio hasta el fin puede durar un eclipse solar, en el ecuador, $4^h 29^m 44^s$ y que en la latitud de París el período máximo es de $3^h 26^m 22^s$, pero que el intervalo de tiempo en que puede permanecer el Sol eclipsado centralmente es muy pequeño. La duración de la obscuridad total es mayor cuando la Luna se encuentra en su perigeo y el Sol en su apogeo, toda vez que, como el diámetro aparente de la Luna obtiene entonces su valor máximo y el del Sol su mínimo, el exceso del primero sobre el último, del cual depende la totalidad, alcanza su mayor valor.

El tiempo que dura la obscuridad total producida por un eclipse de Sol varía con la latitud del punto en que se observe, siendo tanto menor cuanto más diste el lugar del ecuador. Du Séjour halló que, en las circunstancias más favorables, la mayor duración posible de la fase de totalidad en el ecuador era $7^m 58^s$.

Uno de los espectáculos más grandiosos que el hombre puede contemplar es, sin duda alguna, el de un eclipse total de Sol, observado desde una empinada montaña, ó en la majestuosa soledad del Océano. Difícilmente pueden las palabras servir para que los que no han tenido la dicha de observar por sí mismos el fenómeno comprendan toda la grandeza y magnificencia de esta indescriptible escena de la naturaleza. Todo indica á nuestro alrededor, á medida que el eclipse avanza, que algo desusado ocurre; las aves buscan sus nidos, cambian

de color las plantas y los ganados dejan de pacer; desciende con rapidez la temperatura, vense correr por la superficie de la Tierra ráfagas luminosas y sombras voladoras, y en el momento de la totalidad llegan á ser tan intensas las tinieblas, que se distinguen fácilmente las estrellas de 1.^a y 2.^a magnitud á la simple vista, y los planetas más lucientes como Venus y Júpiter; la naturaleza entera parece como desmayada y cadavérica, al faltarle por breves instantes la luz del gran lumínar.

Durante los primeros períodos de la historia humana, un eclipse total de Sol era causa de grandes terrores y de angustias indescriptibles, pues en él se veía la cólera de la divinidad ofendida ó el presagio de alguna calamidad inminente. En un mayor estado de progreso, y cuando la ciencia hubo extendido su benéfico influjo en el espíritu de los hombres, dieron lugar estas vanas quimeras á concepciones más nobles y grandiosas de las leyes de la naturaleza, llegándose á

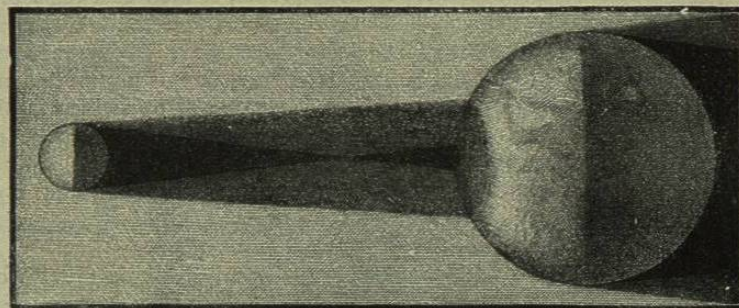


Fig. 135. - Teoría de los eclipses anulares de Sol

considerar los eclipses como las consecuencias necesarias de un proceso uniforme y regular, que sólo difería de los fenómenos ordinarios en su menor frecuencia. Para los astrónomos han sido en todo tiempo valiosos en alto grado, como pruebas de gran delicadeza que les permiten comprobar la exactitud de sus cálculos respecto de la situación de la Luna, deduciendo de aquí nuevos datos para perfeccionar las tablas y la teoría de los intrincados movimientos de nuestro satélite.

En los tiempos modernos, en que tanto interés despierta el conocimiento de la constitución física de los cuerpos celestes, han servido los eclipses para resolver muchos problemas relativos á la composición y estructura del Sol y de la Luna.

En la lámina de la página 233, relativa al último eclipse observado en la península el 28 de mayo de 1900, se indican por líneas, proyecciones y cifras todos los elementos necesarios para la exacta comprensión del fenómeno en su parte geométrica.

Vamos ahora á describir brevemente los principales fenómenos que por lo común se observan durante los eclipses totales de Sol.

Uno de los más notables y constantes es el cambio de color que sufre el cielo. Dice Halley en su relación del eclipse de 1715: «Cuando la fase era pró-

ximamente de 10 dígitos (1), comenzó el cielo á perder su color, pasando de un hermoso y transparente azul á un tono lívido y pulverulento, con algún ligero velo púrpura, oscureciéndose cada vez más hasta la completa inmersión del Sol.»

También se ha notado que al mismo tiempo que cambia el color del cielo, sufren una modificación análoga los objetos terrestres según los progresos del eclipse; esta observación se remonta al año 840 antes de J. C. Keplero refiere, que durante el eclipse solar que ocurrió en el otoño de 1590, se vieron los cuerpos teñidos de amarillo. Estos fenómenos se han observado en épocas recientes.

La obscuridad que se produce durante un eclipse total de Sol no es tan considerable como muchos pudieran llegar á creer. Sin embargo, se encuentra sujeta á grandes variaciones. Dice Ferrer, al hablar del eclipse de 1806, que en el momento de la totalidad era indudable que había más luz que la que nos envía la Luna llena. Por lo general se ha notado que la obscuridad es bastante intensa para que no puedan leerse caracteres de imprenta, si bien esta regla presenta muchas excepciones. La débil iluminación que subsiste durante la totalidad, se debe á la luz reflejada por las regiones de la atmósfera que se encuentran aún expuestas á los rayos directos del Sol, y á la corona, de que pronto hablaremos.

Durante el eclipse de 1842, notaron Piola y Struve que si bien la obscuridad fué tanta que hubieran debido columbrarse las estrellas de 2.^a y 3.^a magnitud, sólo se distinguieron las de 1.^a; este hecho lo explica Belli acudiendo á causas fisiológicas, pues durante el corto intervalo de la obscuridad total no tiene tiempo la vista para reponerse del efecto deslumbrador de los rayos solares, y por lo tanto, se encuentra su sensibilidad como embotada.

Es también notable la rapidez con que reaparece la luz del Sol en cuanto pasa el momento de la totalidad; de este fenómeno dió Halley dos explicaciones, pero como quiera que una de ellas supone la existencia de una atmósfera lunar, que sabemos no tiene nuestro satélite, no nos ocuparemos de ella. Según la otra, antes de la obscuridad total se encuentra la pupila muy contraída á causa del resplandor de los rayos solares, sin que pueda, por tanto, el órgano de la visión percibir inmediatamente la disminución de la luz; pero descansando la vista durante la obscuridad, se dilata de nuevo la pupila y percibe instantáneamente la luz del Sol al concluir la fase de la totalidad.

Cuando el disco lunar, al avanzar sobre el del Sol, reduce este último á una estrecha falce, se suele notar que, inmediatamente antes del principio y después del fin de la totalidad, aparece el borde de nuestro satélite como una hilera de puntos brillantes, separados por espacios oscuros que se llaman las *sierras ó rosario de Baily* (véase la fig. 2 de la lámina de la pág. 235). La explicación más satisfactoria de este fenómeno, que se ha dado hasta ahora, es la de atribuirlo á la proyección de algunas de las montañas de la Luna sobre el disco solar.

Aunque se llaman las sierras de Baily, no fué éste el primer astrónomo que las observó, pues Halley, en una Memoria sobre el referido eclipse de 1715, dice: «Como unos dos minutos antes de la inmersión total, la parte restante del Sol se había reducido á un cuerno muy fino, cuyos extremos parecían perder su

(1) Un dígito es la dozava parte del Sol ó de la Luna, de modo que un eclipse de 6 dígitos quiere decir que se ocultó la mitad del disco solar.

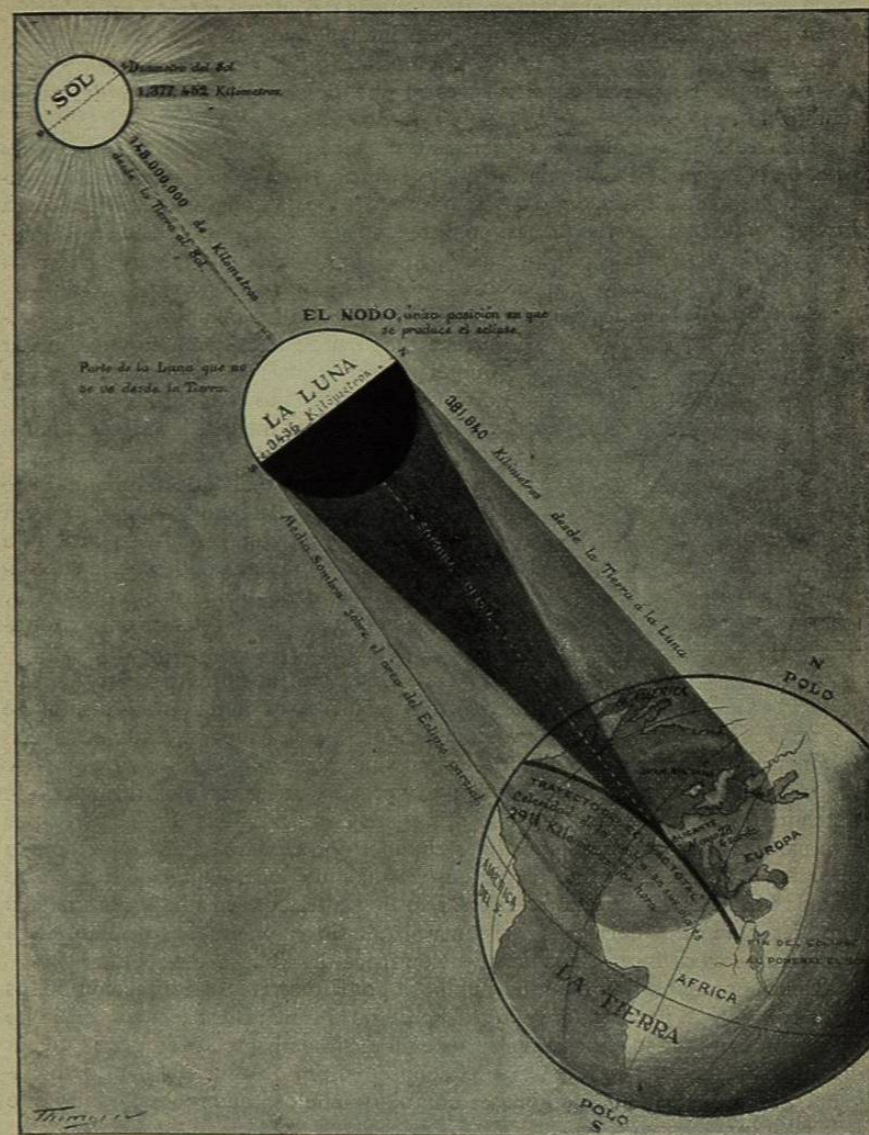


DIAGRAMA DEL ECLIPSE DE SOL DE 28 DE MAYO DE 1900

aguzamiento y se presentaban *redondos como estrellas*; en un espacio de un cuarto de minuto próximamente, una parte pequeña del cuerno meridional del eclipse *parecía separada del resto* por un buen intervalo y se asemejaba á una estrella oblonga redondeada por ambos extremos.» El primer eclipse anular observado, en el que se vieron las sierras, es el que describió Maclaurin, del 18 de febrero de 1736-37.

Uno de los fenómenos más interesantes que se perciben durante los eclipses es el de la *corona*, ó halo luminoso que rodea á la Luna (véase la lámina siguiente). Por lo común aparece 3 ó 4 segundos antes de la completa extinción de la luz solar y permanece visible casi en el mismo intervalo, después de su reaparición; puede compararse, por lo general, al disco brillante que pintan los artistas alrededor de la cabeza de los santos.

Son varias las explicaciones que se dieron, según los tiempos, de este fenómeno; ninguna de ellas tiene hoy más valor que el histórico, pues los modernos métodos de análisis que pronto estudiaremos, nos han revelado, en parte al menos, la verdadera constitución y naturaleza de la corona.

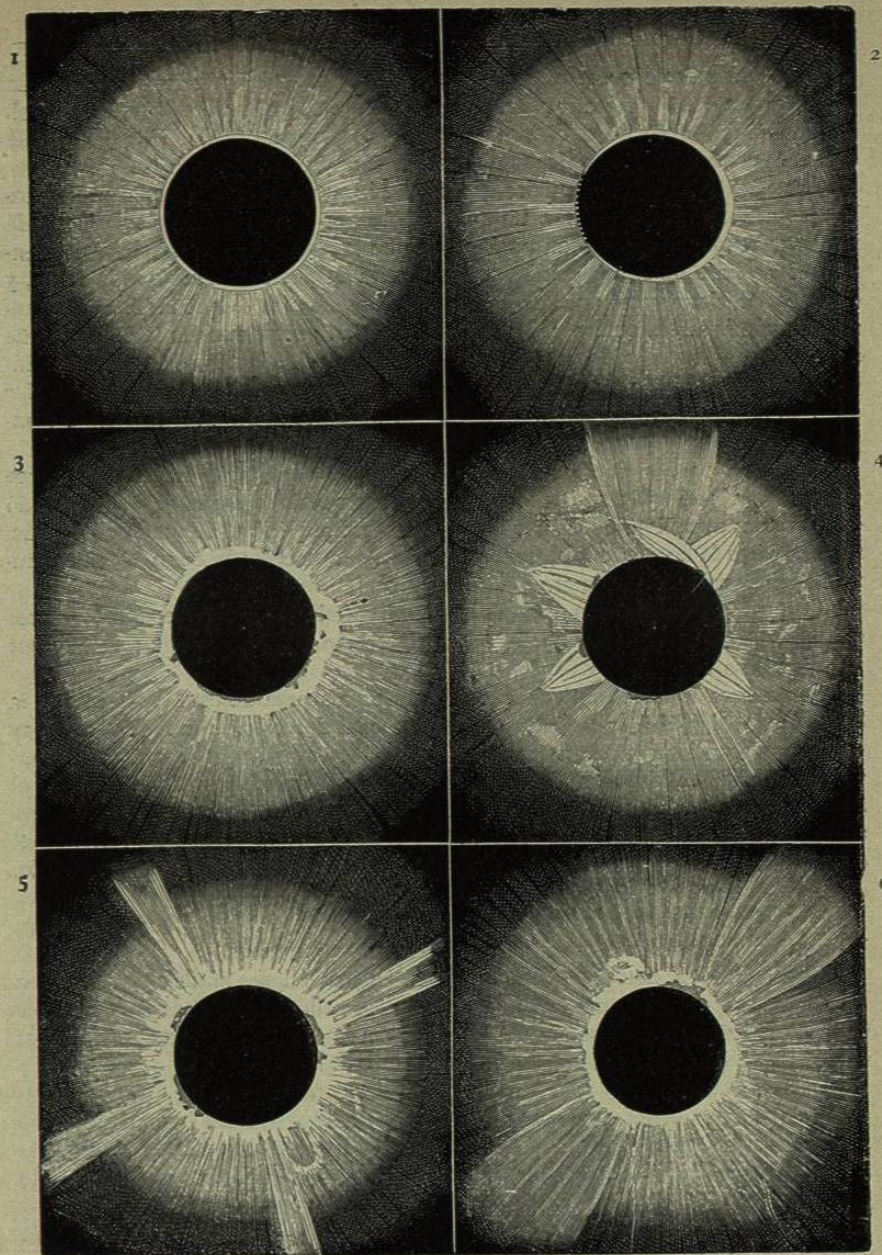


Fig. 136. - Falce solar en un eclipse total de Sol

Según Kepleró, se debía á la presencia de una atmósfera alrededor de la Luna; para La Hire la causa productora era la reflexión de la luz solar en las desigualdades de la superficie de la Luna, contiguas al canto del disco, combinada con su paso posterior en la atmósfera de la Tierra. Dice Grant que su forma circular y su estructura nebulosa, cuya densidad disminuye gradualmente hacia la parte externa, hacen suponer que se debe á un fluido elástico que rodea al globo solar, y que por todas partes gravita hacia su centro; es verdad que los mismos resultados se obtendrían de la existencia de una atmósfera en torno de la Luna; pero, por otra parte, no hay razón que nos haga suponer que nuestro satélite esté dotado de una envoltura semejante, capaz de producir un efecto apreciable. De otro lado, la hipótesis de una atmósfera solar se encuentra confirmada por la analogía que presentan otros cuerpos del sistema planetario y por pruebas de naturaleza positiva que se deducen de la constitución física del Sol.

Delisle opinaba que el anillo luminoso podía deberse á la difracción de los rayos solares que pasaban tangentes al borde de la Luna; Brewster demostró que esta teoría, aunque ingeniosa, era insostenible; sin embargo, Márquez la defendió calurosamente en su Memoria del eclipse del Sol de 1860 observado en España. Según Baxendell, la corona es un anillo nebuloso que rodea al Sol y que refleja su luz.

Las fotografías demuestran que la luz de la corona es mucho más débil que la de la Luna, puesto que sus partes externas han necesitado un tiempo de exposición de 5 segundos para impresionar la placa, mientras que nuestro satélite se retrata perfectamente en 1 ó 2 décimos de segundo.



ECLIPSES DE SOL

1. Eclipse anular. - 2. Eclipse anular del 15 de mayo de 1836; sierras de Baily. - 3. Eclipse total del 28 de julio de 1851, observado por Dawes. - 4. Eclipse de 1858, observado por Liais. - 5. Eclipse total del 18 de julio de 1860. - 6. Eclipse total del 6 de julio de 1842.