

## ECLIPSES.

Los fenómenos astronómicos que más han llamado la atención de los pueblos, han sido, sin duda, los eclipses, sobre todo los de Sol, que, cuando han sido totales, han infundido el temor y espanto que, unidos á la ignorancia y superstición, han dado lugar á las ideas más absurdas. La Historia registra muchos casos en que los efectos producidos por los eclipses en la generalidad de las gentes, han sido de tal naturaleza que, no obstante el grado de ilustración que han alcanzado las sociedades modernas, las explicaciones y predicciones que con tanta exactitud proporciona la ciencia, y la difusión de ésta entre las masas, no se ha conseguido arrancar por completo las raíces que tan profundamente había echado la antigua superstición. A esto ha contribuido sin duda, el que los fenómenos de que tratamos son realmente imponentes, aun á los ojos del mismo astrónomo, quién, sin embargo de toda la ciencia que le asiste

para considerar el fenómeno como uno de los efectos más sensibles y naturales, muchas veces vé, á su pesar, desaparecer la calma que creía inalterable para verse dominado aunque momentáneamente, por las impresiones más terribles.

Veámos lo que á este respecto dice un sabio astrónomo italiano, el P. Secchi, á quien debe la ciencia preciosos descubrimientos en astronomía física. No puedo dispensarme de citar sus palabras, al ver la claridad y exactitud con que describe los efectos producidos por un eclipse total de Sol.

«Un eclipse, dice el sabio jesuita, no comienza á ofrecer interés verdaderamente serio, sino desde el momento en que el centro del Sol es cubierto por la Luna. La luz comienza entonces á disminuir de una manera muy sensible, y cuando se acerca el momento de la totalidad, la disminución es de tal suerte rápida, que ofrece algo de espantoso. Lo que sorprende entonces, no es solamente la disminución de la luz, sino sobre todo, el cambio de color que se observa en los objetos. Todo aparece triste, sombrío y como amenazador. Los más verdes paisajes se cubren de un color gris; en las regiones más elevadas y más inmediatas al Sol el cielo toma un color de plomo, mientras que cerca del horizonte aparece de un amarillo verdoso. El semblante del hombre toma un color cadavérico, semejante al que produce la flama del alcohol saturado de cloruro de sodio. Ese tinte ama-

rillento, y sobre todo la baja de temperatura, parecen acusar una disminucion en la potencia vital de la naturaleza.»

«Un silencio general se establece á la vez en la atmósfera; los pequeños pájaros desaparecen, se ocultan los insectos, todo parece presagiar un inminente y terrible desastre. Se concibe muy bien, dice Mr. Forbes, que los pueblos ignorantes se sientan sobrecogidos de un inmenso pavor al ver de esta manera palidecer el astro del día, y se figuren asistir á una noche eterna. La Historia nos refiere los terrores que sufrían en igual circunstancia los pueblos de la antigüedad, aun los más civilizados: tal fué la impresion de Apolonio de Thiana, señalada por el gobernador de Acaya. El P. Faura nos dice que durante el eclipse de 1868 los chinos se arrojaban con espanto á las embarcaciones á fin de escapar del desastre, sin considerarse seguros aun á la presencia de los astrónomos que con sus instrumentos hacian sus observaciones.»

«Circunstancias secundarias que por lo comun carecen de importancia, contribuyen algunas veces de una manera muy particular á dar á estas impresiones un carácter más aterrador. Así, por ejemplo, en 1842 una nube que se extendía á corta distancia del Sol, parecia á los ojos de M. Airy como una enorme masa que se precipitaba sobre la tierra con espantosa rapidez.»

«Todos los observadores están de acuerdo en la descripción de estas emociones. Nosotros mismos, sin embargo de estar preparados como ningun otro, hemos sido poseidos de un sentimiento de opresion, y digámoslo con franqueza, de pavor involuntario; fué necesaria toda la fuerza de nuestra voluntad para recobrar el dominio de nuestras facultades en vista del imponente fenómeno.»

Son por lo mismo hasta cierto punto disculpables las preocupaciones supersticiosas que sobre los eclipses aun existen en el vulgo, tan susceptible de impresionarse y de buscar en el misterio ó en la existencia de causas sobrenaturales, el origen de los fenómenos raros que puedan llamar su atencion, por más naturales que ellos sean. Mas por esto mismo conviene que nos detengamos un poco en explicar las circunstancias principales que concurren en un eclipse, ya sea de Sol ó de Luna, y las causas que los motivan.

Mas ántes debemos dar algunas definiciones para la mejor inteligencia de lo que nos proponemos explicar, procurando, sin embargo, la concision hasta donde nos sea posible.

La Tierra gira al rededor del Sol completando una revolucion en 365 días y un cuarto próximamente.

La curva que traza en su movimiento de traslacion se llama eclíptica, cuyo plano forma con el del ecuador un ángulo de  $23^{\circ}27'$ .

La eclíptica no tiene la forma circular, sino que es

una elipse, ocupando el Sol uno de los focos; de manera que entre la tierra y aquel astro hay una distancia máxima y mínima, llamándose perigeo cuando el Sol se halla en su menor distancia con la Tierra, y apogeo cuando se encuentra en el punto que más se separa de nuestro planeta. Nuestro satélite la Luna gira al rededor de la Tierra siguiendo una curva que tambien es una elipse, y teniendo á la vez su perigeo y apogeo segun que se halle en el punto más inmediato ó más distante de la Tierra; pero hay la circunstancia de que el plano de la órbita lunar no coincide con el de la eclíptica, sino que forma un ángulo con él de  $5^\circ$  próximamente. La recta segun la cual se cortan los planos de las órbitas lunar y terrestre se llama línea de los nodos, siendo éstos los extremos de dicha recta, es decir, los puntos de interseccion con la esfera celeste, que es adonde consideramos proyectados todos los astros en sus movimientos reales ó aparentes.

Se llama paralaje de un astro el ángulo bajo el cual un observador, situado en el centro del astro, veria el radio de la Tierra que fuese perpendicular á la visual dirigida al centro. Se comprende fácilmente que el ángulo que mide la paralaje será tanto más pequeño cuanto más distante se halle el observador ó el centro del astro del centro de la Tierra, de donde se infiere que la paralaje es un precioso dato que sirve para conocer la distancia á que se encuentran de no-

sotros los astros cuya paralaje conocemos, ó para darnos una idea de la asombrosa distancia á que deben encontrarse la mayor parte de los cuerpos que, como puntos brillantes, vemos fijos en el cielo, y para los cuales los instrumentos más precisos y las observaciones más delicadas, no han bastado para señalar asertivamente el valor de la paralaje por la suma pequeñez de ella.

Uno de los efectos de la paralaje es representarnos á los astros proyectados en distintos lugares de la esfera celeste, segun la distinta posicion del observador, á quien supondremos recorriendo el radio terrestre. Es el mismo efecto que notamos en un objeto cualquiera que se encuentre en la superficie de la Tierra á cierta distancia de nosotros. Una torre, por ejemplo, la vemos proyectada sobre un punto determinado en la azulosa montaña que le sirve de fondo; mas si cambiamos de lugar, dirigiéndonos á la derecha ó á la izquierda, el punto de proyeccion ya no será el mismo, sino que cambiará hácia la izquierda ó hácia la derecha.

Este es el objeto de la paralaje, y notaremos muy bien en el ejemplo que hemos puesto, que cuanto más distante se halle de nosotros la torre, ménos sensible será el cambio que sufra el punto de la montaña donde se proyecte, al grado que nos parecerá aquella como fija en la montaña, cuando nuestro cambio de posicion no sea suficientemente grande.

Una cosa semejante sucede con la Luna sobre todo, cuya paralaje es mayor que la de cualquiera otro astro. Mas despues de haberla considerado desde el centro de la Tierra; trasladémonos á la superficie de ésta y verémos la paralaje bajo otro aspecto. Supongamos á un observador situado en un punto del paralelo terrestre, que corresponde al de la Luna en su culminacion. En el momento en que la Luna aparece sobre el horizonte del observador, la paralaje será como la hemos considerado ántes, y será medida por el ángulo formado en el centro de la Luna, por las dos rectas que, partiendo de dicho centro, termina la una en el lugar del observador, y la otra en el centro de la Tierra, ángulo que no es otra cosa sino aquel bajo el cual se veria desde el centro de la Luna el radio terrestre correspondiente al observador; es lo que se llama paralaje horizontal. Mas á proporcion que la Luna se eleva sobre el horizonte, el ángulo que venimos considerando disminuye y se llama entonces *paralaje de altura* que, como se vé, es variable hasta reducirse á cero, que será cuando la Luna se encuentra en el zenit, en cuyo caso sucederá en efecto que, tanto el observador que está situado en el centro de la Tierra, como el que lo esté en la superficie, verán á la Luna proyectada en el mismo punto de la esfera celeste.

La paralaje horizontal de la Luna no es constante, como no lo es, segun hemos dicho ántes, la distan-

cia que nos separa de aquel astro: su valor medio es de 57'. En los eclipses de Sol debemos tener muy presente el efecto de la paralaje lunar, pudiendo prescindir en la siguiente explicación de la paralaje solar por ser ésta relativamente pequeña, pues por término medio puede considerarse de 8"6.

Conocida la paralaje horizontal de un astro, la trigonometría enseña la manera fácil de encontrar en radios terrestres la distancia que nos separa de aquel astro. En efecto, las dos rectas cuyo ángulo mide la paralaje y el radio terrestre, forman un triángulo rectángulo, en que el cateto menor es el radio terrestre opuesto al ángulo de la paralaje, y la hipotenusa la distancia que buscamos. Mas la hipotenusa se sabe que es igual á uno de los catetos dividido por el seno del ángulo opuesto á dicho cateto, de donde resulta que, siendo de 57' la paralaje média de la Luna, un cálculo muy sencillo da á conocer que la distancia que nos separa de nuestro satélite es de  $60\frac{1}{2}$  radios terrestres próximamente. El mismo cálculo se puede hecer para el Sol, conocida su paralaje que hemos fijado en 8"6, término medio, lo que da aproximativamente 24,000 radios terrestres para la distancia que nos separa del astro del día.

La paralaje tambien nos puede servir para calcular el tamaño del astro, fundados en que á igual distancia el ángulo bajo el cual vemos un objeto dado, es proporcional á su tamaño en el sentido del lado

que subtende al ángulo. Por consiguiente, si desde el centro de la Luna se vé el radio de la Tierra bajo un ángulo de  $57'$ , y si desde la Tierra el ángulo que subtende el radio de la Luna es, como así sucede en efecto, de  $16'$ , resulta que el radio de nuestro planeta es cerca de cuatro veces mayor que el de nuestro satélite. La geometría nos enseña que las superficies de dos esferas están en la misma proporción que los cuadrados de sus radios, y que sus volúmenes son proporcionales á los cubos de los mismos radios. De aquí resulta que, siendo el radio de la Tierra cuatro veces mayor que el de la Luna, su superficie será diez y seis veces mayor que la de esta, y su volumen sesenta y cuatro veces más grande. Sin embargo, como hemos tomado un número que realmente es mayor que el verdadero, diremos que haciendo el cálculo más exacto resulta que la superficie de la Tierra está con la de la Luna en la relación de 13 á 1, siendo la de sus volúmenes como 49 es á 1.

Al Sol lo vemos también bajo un ángulo de  $32'$  tomando dos puntos opuestos de su disco, ó lo que es lo mismo, de  $16'$  su radio, esto es,  $960''$ . Si dividimos este número por  $8''6$ , resulta por cociente en números redondos 112, que será el número de veces que el radio del Sol es mayor que el de la Tierra.

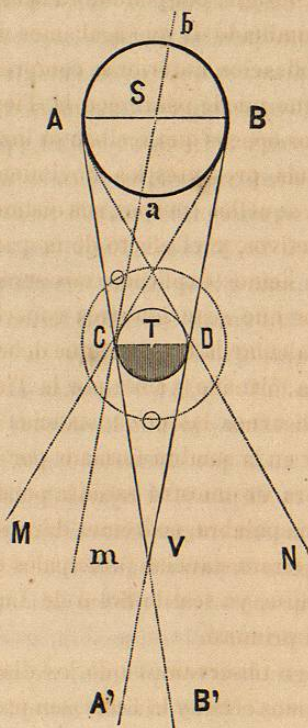
Tomando 107 en lugar de 112, por ser aquel número más aproximado á la verdad al tomar datos más exactos, y pecando más bien por defecto que por

exceso; elevándolo al cuadrado y después al cubo, resultará para la superficie del Sol, tomando por unidad la de la Tierra, 11,449; y para su volumen, 1.225,043 veces el volumen de nuestro planeta.

Entremos ahora en otra clase de consideraciones.

La Tierra y la Luna son cuerpos opacos; la luz que los ilumina la reciben del Sol, de donde resulta que el hemisferio que ve hacia el cuerpo brillante, estará constantemente iluminado, permaneciendo en la oscuridad el opuesto. Los rayos luminosos que, partiendo del disco solar, son tangentes á los cuerpos opacos, la Tierra y la Luna, cuya forma podemos considerar sensiblemente esférica, forman un cono en el cual la parte comprendida entre el vértice y el círculo limitado por los puntos de tangencia en el cuerpo opaco, determinará la sombra formada por éste. Supongamos en la figura siguiente S un astro luminoso, y T un cuerpo opaco que recibe su luz de aquel. Las tangentes A C V y B D V, forman el cono de que hemos hablado antes, siendo la parte C D V el cono de sombra formado por el cuerpo opaco. Un observador colocado en el punto V dejaría de ver el disco luminoso, por quedar enteramente cubierto por el disco del cuerpo opaco T, pareciéndole éste sobrepuesto al primero y exactamente del mismo diámetro. En cualquier otro punto del cono de sombra, la ocultación del astro S será también completa, apareciendo además el disco opaco, si fuese visible, tanto más grande,

cuanto más se acerque á T el observador. Mas si suponemos á éste situado en un punto comprendido en el cono inverso  $A'VB'$ , verá al cuerpo T proyectarse sobre S, y de un tamaño tanto más pequeño cuanto más se aleje el observador. En otro punto cualquiera, por ejemplo  $m$ , comprendido entre las tangentes  $BCM$ , y  $ACV$ , verá solamente una parte del disco



luminoso determinada por la recta  $abm$ , de donde resulta que el espacio comprendido entre las tangentes  $CM$  y  $DN$ , y el cono de sombra, no estará completamente iluminado por el astro  $S$ , disminuyendo gradualmente la luz, á partir de las tangentes extremas  $CM$  y  $DN$ , hasta llegar á la tangente  $CV$  y  $DV$  en que la oscuridad es completa. Esta es la razón por la que se designa por penumbra el espacio no enteramente iluminado de que acabamos de hablar.

Con la explicación anterior se comprenderá ya fácilmente lo que puede pasar con la Tierra y con la Luna, cuerpos opacos que reciben su luz del Sol. Teniendo, además, presentes los movimientos reales y aparentes de aquellos cuerpos, sus distancias y volúmenes respectivos, y el efecto de la paralaje lunar que también hemos explicado, nos será muy sencillo, por pocos que sean nuestros conocimientos en geometría, calcular la longitud que debe tener el cono de sombra formado, ya sea por la Tierra ó por la Luna, y explicarnos las circunstancias en que ésta puede entrar en la sombra formada por aquella, ó en que la sombra de nuestro satélite puede tocar á la Tierra; en una palabra, podremos darnos la razón de los efectos y circunstancias principales que acompañan á un eclipse, ya sea de Sol ó de Luna. Comencemos por el primero.

Desde luego observamos que los diámetros bajo los cuales vemos el Sol y la Luna, son próximamente

iguales, habiendo diferencias en más ó ménos, pero muy pequeñas; diferencias que provienen de las distintas combinaciones que pueden resultar del perigeo y apogeo de aquellos dos astros; de donde se infiere que el cono de sombra formado por la Luna, cuando se halle interpuesto entre la Tierra y el Sol y en la misma direccion, podrá alcanzar ó no á la Tierra, segun que el diámetro aparente de la Luna sea mayor ó menor que el del Sol. En el primer caso, la parte del cono de sombra que alcance á la Tierra, aparecerá semejante á la sombra de una nube que va recorriendo una parte de la superficie terrestre, de tal manera, que solo para aquellos lugares que toca la sombra desaparecerá por completo el Sol, en cuyo caso se tendrá un eclipse total. Mas en todos aquellos puntos que sean tocados por la penumbra, se verá solamente una parte del Sol, siendo entónces el eclipse parcial, dejando de haber eclipse para todos aquellos lugares que han quedado libres de la sombra ó de la penumbra. En el segundo caso, es decir, cuando el cono de sombra no alcanza á la Tierra, ó que el diámetro aparente de la Luna es menor que el del Sol, aquella se verá proyectada sobre el astro del dia, para todos aquellos lugares que intercepten el cono invertido, apareciendo el Sol como formando un anillo luminoso al rededor del disco lunar, de donde recibe el nombre de *eclipse anular*. Si los diámetros del Sol y la Luna son iguales, sólo tocará á la

Tierra el vértice del cono de sombra, en cuyo caso los puntos que vaya tocando aquel, tendrán despues de un eclipse parcial, que irá aumentando gradualmente, un eclipse total, pero instantáneo.

Resulta como punto importante, en el cual debemos fijar nuestra atencion, que un eclipse solar no será visible para todos los puntos de la Tierra que tengan á aquel astro sobre su horizonte durante el tiempo que la penumbra y la sombra toquen á la Tierra, sino que habrá lugares en que el eclipse no tenga lugar, ni total ni parcialmente, verificándose el fenómeno en la zona de visibilidad, de una manera sucesiva, es decir, que comenzará en unos puntos cuando termine en otros. Todo esto, que se comprende perfectamente bien con las explicaciones anteriores, prueba que la paralaje de la Luna debe ser bastante grande, ó recíprocamente fundados en la paralaje de nuestro satélite, podemos explicarnos las circunstancias que concurren ó pueden concurrir en un eclipse de Sol, explicadas ántes por otras consideraciones.

En efecto, la paralaje de la Luna, segun hemos visto ántes, no es otra cosa más que el ángulo bajo el cual se ve desde aquel astro el radio terrestre, ángulo que, siendo bastante sensible, en virtud de la corta distancia relativa de nuestro satélite, produce el efecto de que el punto de la esfera celeste sobre el cual vemos proyectada la Luna, no sea el mismo para to-

dos los lugares de la Tierra, de donde se sigue que al tiempo de la conjuncion habrá lugares en donde la Luna se verá proyectada fuera del disco solar, á la vez que desde otros podrá verse mordiendo, por decirlo así, una parte del disco más ó ménos grande, y otros para los que la proyeccion tendrá lugar sobre todo el disco del Sol.

De lo dicho hasta aquí, podria inferirse tambien que en cada conjuncion de la Luna habria eclipse de Sol, y así sucederia en efecto si el plano de la órbita lunar coincidiese con el de la eclíptica; mas como hemos visto en otro lugar, aquel forma con éste un ángulo de  $5^\circ$  próximamente, de donde resulta que además de estar en conjuncion la Luna con el Sol, debe corresponder aquella á algunos de los nodos ó estar muy cerca de él, razon por la cual los eclipses de Sol no son muy frecuentes.

Un eclipse de Luna tiene lugar cuando ésta entra en el cono de sombra producido por la Tierra. Tres cosas se necesitan entónces para que se verifique el fenómeno: primero, que la distancia de la Luna á la Tierra sea menor que la altura del cono de sombra terrestre; segundo, que la Luna se halle en oposicion con el Sol, es decir, que se tenga Luna llena; tercero, que, como en el eclipse solar, la Luna se halle en uno de los dos nodos ó cerca de él. La primera circunstancia es siempre satisfecha, y para demostrarlo bastará calcular la altura del cono de sombra produci-

da por la Tierra, lo que es fácil hacer, conocidos el radio solar y nuestra distancia al astro del dia, datos que ya ántes hemos encontrado, siendo el primero igual á 112 radios terrestres, y la segunda á 24,000.

Refiriéndonos á la figura anterior, y suponiendo que el círculo *S* sea el Sol, y el *T* la Tierra, *TV* será la altura que buscamos, que llamando *x* y poniendo los valores anteriores, tendrémos la proporcion siguiente:

$$112:24,000+x::1:x$$

de donde

$$24,000+x=112x$$

$$24,000 = 216 \text{ radios terrestres}$$

$$x = \frac{24,000}{111} = \text{más una fraccion.}$$

Mas la distancia que média entre la Tierra y nuestro satélite es igual, segun hemos visto ántes, á  $60\frac{1}{2}$  radios terrestres. Por consiguiente, el cono de sombra que nos ocupa es más del triple de aquella distancia.

Si se satisfacen las dos últimas condiciones, sucederá que en el momento en que la Luna toca la penumbra comenzará á debilitarse la luz, puesto que una parte de los rayos del Sol que la iluminan son interceptados por la Tierra: la disminucion aumentará progresivamente hasta que al llegar á la sombra



se oscurezca enteramente la parte del disco lunar que va quedando envuelta en aquella, siendo el eclipse total si toda la Luna entra en la sombra, y parcial si sólo una parte de su disco es oscurecida por ella.

Resulta desde luego una diferencia esencial entre un eclipse de Sol y uno de Luna; es á saber, que mientras el primero sólo tiene lugar en determinados lugares de la Tierra y en distintas horas, el eclipse de Luna tiene que verificarse en el mismo instante físico para todos los lugares de la Tierra que tengan á aquel astro sobre su horizonte, puesto que el oscurecimiento del disco lunar es un hecho enteramente independiente de la paralaje, y que deberá ser visto á la vez desde cualquier lugar en que sea visible la Luna.

Esta circunstancia en los eclipses de Luna ofrece, sin duda, la mejor oportunidad para la determinación de la diferencia de meridianos entre los lugares en que pudiera observarse el eclipse, anotando con la mayor exactitud posible los instantes en que tienen lugar sus principales fases; pero la dificultad de apreciar con la debida exactitud el instante en que la Luna toca á la sombra ó la deja, á consecuencia de que, segun hemos explicado ántes, entre la penumbra y la sombra no hay una línea bien marcada, hace que el fenómeno lunar que nos ocupa, no sea el más á propósito para llegar al conocimiento de un dato de difícil adquisición en la práctica astronómica.

De los principios ántes sentados se puede inferir tambien lo que deberá suceder cuando entre la Tierra y el Sol se interponga un planeta como en el caso de la interposicion de la Luna en los eclipses solares. Este sólo podrá tener lugar, como se comprende fácilmente, con aquellos planetas cuyas órbitas sean menores que las de Tierra, como sucede con las de Mercurio y Venus. Encontrándose estos cuerpos á una distancia mucho mayor que la de la Luna, se ven muy pequeños, sin embargo de ser su volumen mucho mayor que el de la Luna, sobre todo el de Venus que viene á representar casi las siete octavas partes del volumen de la Tierra. Al interponerse alguno de aquellos dos planetas entre la Tierra y el Sol, y siendo tambien un cuerpo opaco, se verá como un punto ó como pequeño círculo negro atravesar el disco solar, lo que se puede ver perfectamente bien por medio de un vidrio fuertemente colorido ó convenientemente ahumado para que los rayos solares puedan llegar á la pupila sin lastimarla. Esta observacion la puede hacer cualquiera persona sin necesidad de instrumento especial.

En el presente año de 1884 habrá cinco eclipses tres de Sol y dos de Luna.