231. Otra causa tambien se agrega para producir esta indecision. La atmósfera terrestre refractando los rayos luminosos del sol que la atraviesan, los refleja detrás de la Tierra é ilumina la parte límite del cono sombrío; por lo tanto no puede éste verse tan oscuro, como sería, si no tuviera lugar la reflexion de la luz en la atmósfera terrestre. A esto se debe tambien el que la Luna no desaparezca enteramente, aun hallándose en el eje del cono, sino que se reviste de una luz roja oscura, como las nubes al ponerse el Sol, y en cierto modo aparece como un globo trasparente.

232. El eclipse de la Luna es visible al mismo tiempo á todo el hemisferio en que puede verse la Luna [1].

§ 2.

Eclipses del Sol.

233. Los eclipses de sol pueden verificarse solamente al tiempo de la conjuncion, es decir, cuando la Luna se halla entre la tierra y el sol, de modo que los tres astros forman aproximadamente una línea recta, condicion que tiene lugar en la luna nueva. Arrojando la luna en la parte opuesta al sol y vuelta hácia la tierra un cono sombrío, cuya longitud es variable, por ser variable la distancia al sol en el momento de la conjuncion, puede este cono ser mayor ó menor que la distancia de la Luna á la tierra. Ahora, segun la diferente posicion de la Luna con respecto al sol y á la tierra, puede haber tres especies de eclipses de sol: 1º será *total*, cuando la sombra lunar se pro-

(1) Facilmente puede trazarse sobre un globo el hemisferio que vé á la Luna en cada instante del eclipse. Supongamos que se vea en un punto cuya latitud sea $= \pm 33°,26',25''$ y long. $= 72°,58',32''$ O. la mitad del eclipse á las 9^h de la noche. Fornaremos este raciocinio: el sol á las 9^h de la noche debe hallarse á 3^h distante del meridiano inferior, ó sea á 45° de dicho meridiano, ó lo que es lo mismo á 135° del meridiano superior por el lado del poniente. La luna diametralmente opuesta al sol, estará tambien á 45° de distancia del meridiano, superior por el lado del Oriente; el observador, pues, que vea la luna en el meridiano estará á 45° más al Este del punto en cuestion. Sobre este meridiano, el lugar cuya latitud geográfica sea igual á la declinacion de la Luna, verá la Luna en su zenit. Ahora, desde este punto como centro, si se traza un círculo máximo sobre el globo, este círculo abrazará todos los países que ven la luna en el instante de la mitad del eclipse. Lo mismo se practica para determinar los países que verán cualquiera otra fase del eclipse. Haciendo esta operacion para el principio y el fin, la parte que es comun á los dos círculos máximos que se tracen, abarcará todos los países que ven el eclipse en toda su duracion. Los que se hallen en las partes exteriores de estos dos círculos, y que no pertenecen sino á uno de los dos hemisferios del principio y del fin, verán solo una parte más ó ménos grande de la duracion del eclipse. Con todo, siendo necesario tener en cuenta la correccion de la refraccion atmosférica y del ángulo de paralaje, habrá que

yecta totalmente sobre la superficie terrestre; en este caso, el sol estará enteramente cubierto por el disco de la luna en todos los puntos por donde pasa la dicha sombra: 2º será *parcial* para todos los lugares que no hallándose en la sombra, se hallan sin embargo, en el cono de penumbra y por lo tanto en dichos puntos podrá verse el sol en parte cubierto por la luna: 3º la tercera especie de eclipse es *anular*, el cual tiene lugar, cuando la longitud del cono sombrío que arroja la luna, no llega á tocar la tierra, y como la penumbra al rededor de dicho cono es producida por el borde circular del sol, en los puntos de la superficie terrestre en que el eclipse es central, es decir, en donde los centros de la Luna y del sol se hallan en la misma visual del observador, se verá la luna entera proyectada sobre el disco solar, dejándose ver un anillo luminoso del mismo sol al rededor de ella. Para entender mejor las circunstancias de dichos eclipses, examinemos las condiciones en que deben verificarse, como lo hemos hecho para la Luna.

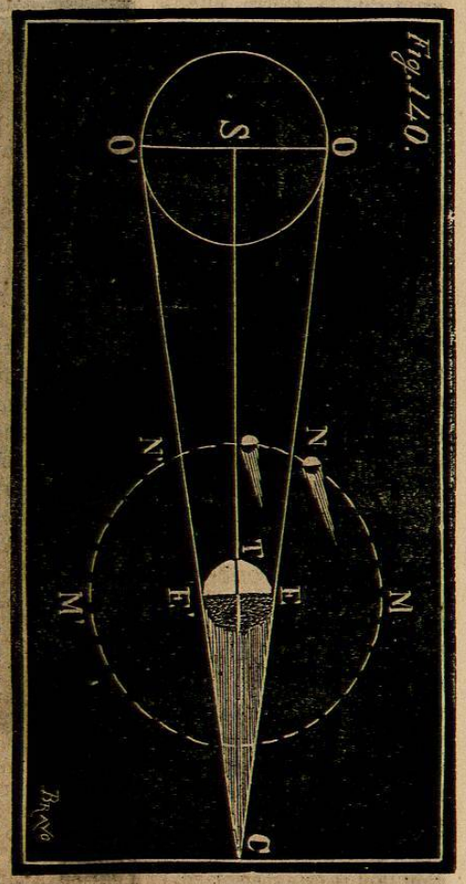


Fig. 140.

234. Consideremos el cono circunscrito al sol y á la tierra; los rayos luminosos que tocan la tierra, están comprendidos en la parte OEE'O' de dicho cono [fig. 140]; por lo tanto, si la Luna en-

añadir á estos dos hemisferios una zona de medio grado para corregir la primera, y restar una zona de un grado para corregir el efecto de la segunda: de lo que resulta una diminucion total de una zona circular de medio grado á los dos círculos máximos trazados para el principio y el fin del eclipse.

cuentra este cono, recorriendo su órbita MNN′, interceptará los rayos luminosos enviados por el sol á la tierra, y de consiguiente, habrá eclipse para algun punto de la tierra, cuando la Luna en N, penetrando en el cono luminoso OEE′O′, proyecta su sombra sobre la tierra, ó á lo menos el cono de penumbra. Para hallar la longitud del cono sombrío que arroja la Luna, no hay más que formar el mismo raciocinio que hemos hecho, cuando tratamos de averiguar la longitud del cono de sombra arrojado por la tierra, y nos resultará $x' = \frac{(d-d')\,r}{R-r'}$. Ahora, siendo variable la distancia $d-d'$ de la Luna al Sol, se sigue que la longitud del cono sombrío de la Luna será tambien variable. Esta es máxima cuando la Luna se halla en el perigeo, y el Sol en el apogeo, y es mínima, si se verifican las circunstancias inversas. La longitud de este cono puede variar segun cálculos practicados, entre 57′,76 y 61′,23 radios terrestres. Ahora bien, como la distancia de la Luna á la tierra iguala en término medio á 60 radios terrestres, se sigue que el cono sombrío que arroja la Luna, puede ser mayor ó menor de dicha cantidad. En el primer caso, la tierra encontrará en su marcha al cono sombrío, y en todos los puntos por donde pasa la seccion de dicho cono, la Luna proyectará una mancha oscura *ab* sobre la superficie terrestre (fig. 141), y por lo tanto, en todos los dichos puntos se

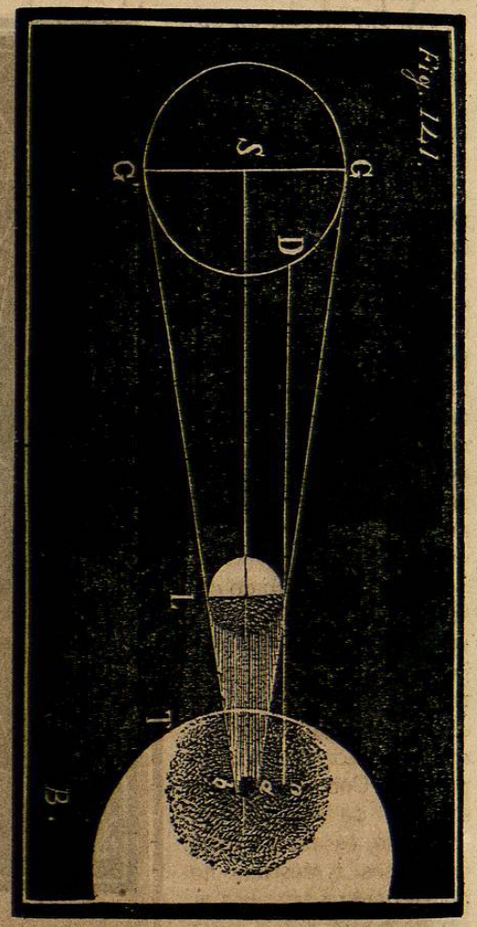


Fig. 141.

verificará un eclipse total de Sol. Además, en contornos de esa mancha oscura circular, la luna proyecta tambien su cono de penumbra, la cual produce en todos los puntos que abraza, un eclipse parcial de sol. En efecto, un observador colocado en el cono de penumbra en un punto cualquiera *n*, verá únicamente la parte DG del sol, mientras que la otra G′D le quedará invisible por la interposicion del disco lunar, y cuanto más el punto *n* se considere cerca de la sombra *ab* de la Luna sobre la superficie terrestre, tanto mayor será la parte eclipsada del sol, y menor la visible. En cualquier otro punto exterior al cono de penumbra, no podrá haber eclipse de ninguna especie.

235. En el segundo caso, la luna proyectará solo una mancha semioscura sobre el globo terrestre, que es la penumbra, entre cuyos límites se verificará sólo un eclipse parcial. Como el cono sombrío de la Luna en este caso es menor que 60 radios terrestres, no podrá llegar hasta la tierra, ni podrá tener lugar el eclipse total de sol. To-

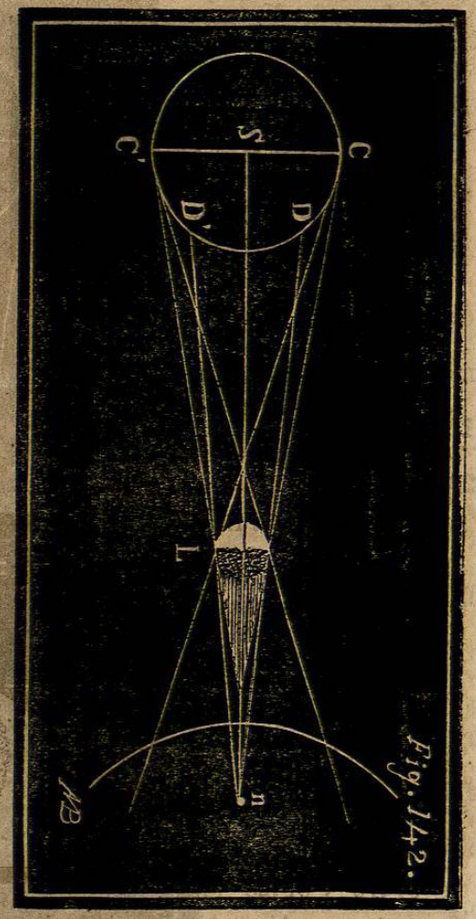
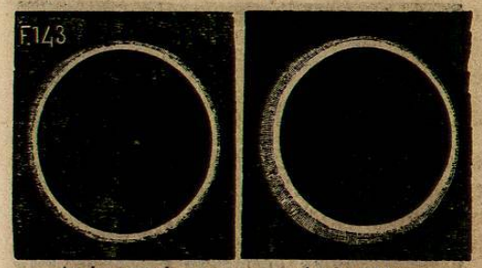


Fig. 142.

memos un punto *n* [fig. 142] que se halle en la extremidad de la línea que une los centros de la Luna y del sol. Trazando de dichos puntos las tangentes *n*D, *n*D′ á los bordes oriental y occidental de la Luna, sólo el espacio comprendido en la base de este cono será la parte eclipsada del sol, quedando visibles las partes CD, C′D′ en los bordes del sol; lo que quiere decir que la Luna se proyectará

sobre el disco solar, dejando visible todo el contorno del sol en forma de un anillo luminoso, la cual especie de eclipse se llama *anular*, y en el mismo punto *n* será tambien *central*. La fig. 143 representa el aspecto de dicho eclipse.



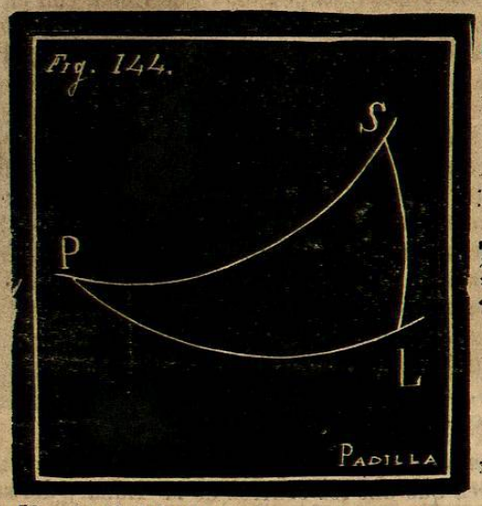
Anular central. Anular Oblícuo.

De los cálculos hechos para averiguar las condiciones de un eclipse de sol, que dependen de los movimientos de los dos astros, resulta: 1º que la distancia máxima geocéntrica de los dos centros del Sol y de la Luna en el momento de contacto es 1°,34′,27″ [1].

2º La latitud máxima de la Luna sólo puede ser 1°,34′,52″ en el momento de la conjuncion verdadera.

3º La distancia máxima de la Luna ó del Sol al nodo lunar es de 18°,36′.

4º El eclipse será cierto, si la distancia D de los centros es $< 1°, 23',15''$, é imposible si es $> 1°,34',52''$. Entre estos límites es dudoso, y la certidumbre depende de cálculos más exactos de los elementos.



236. El cálculo de un eclipse solar para un lugar determinado se reduce á hallar el momento en que los centros del sol y de la Luna están distantes de la cantidad D, que hemos dicho, lo que se vé en las tablas, en que se dá la ascencion recta y declinacion de los dos astros, y al mismo tiempo el modo de calcular los lados PS,PL [fig. 144] del triángulo esférico PSL y el

(1) Tratándose de señalar los límites entre los cuales es posible un eclipse

ángulo comprendido por una série de tiempos próximos al eclipse, de los cuales por interpolacion se sacará el instante preciso del contacto al principio y al fin; y este contacto sólo se verificará, cuando en el triángulo PSL el lado SL = D. Los pormenores ulteriores están fuera del alcance de un tratado elemental.

§ 3.

Anotaciones sobre los eclipses.

237. Hemos dicho que un eclipse de Luna se verifica cada vez que ésta encuentra la seccion LL′ (fig. 133) del cono sombrío que arroja la tierra; y que hay eclipse de Sol simpre que la Luna encuentra la seccion NN′ (fig. 140.) del cono circunscrito al Sol y á la Tierra, en las condiciones dichas arriba. Ahora; si se comparan estas dos secciones, no será difícil reconocer que esta segunda es mucho mayor que la primera, y considerando el fenómeno en su conjunto, se sigue de ello que los eclipses de sol son más frecuentes que los de Luna. El periodo de 18 años y 11 dias, al cabo de los cuales vuelve la Luna á tomar las mismas posiciones con respecto á sus nodos, cuyo periodo los Caldeos conocian bajo el nombre de *Sáros*, es un periodo en que vuelven tambien á verificarse los mismos eclipses, ya de Sol, ya de Luna, con el mismo órden y en épocas correspondientes. Hay, sin embargo, una pequeña diferencia sea en el tiempo sea en el lugar, pues las 223 lunaciones no forman exactamente 19 revoluciones sinódicas del nodo. Es cosa observada que en dicho periodo de 18 años y 11 dias, se verificaran 41 eclipses de Sol y 21 de Luna. En un año no puede haber más de siete eclipses, ni hay nunca ménos de dos, y verificándose esto último, los dos son de sol. Sin embargo, para un lugar determinado son más frecuentes los eclipses de Luna que los de Sol. La razon es clara, pues aquellos son visibles á un hemisferio entero, mientras que estos se verifican sólo en una pequeña parte de hemisferio, la cual tampoco es siempre la misma. La totalidad de un eclipse de sol en circunstancias muy favorables, puede durar en el ecuador hasta 7^m, 58^s, y á la latitud de París $6^m,10^s$.

es necesario observar que la paralaje de altura hace cambiar de posicion al borde aparente de la Luna en una cantidad que á veces puede llegar al valor de la paralaje horizontal. Lo que viene á ser lo mismo que, si el diámetro aparente de la Luna visto del centro de la Tierra, fuera aumentando en una cantidad igual al doble de la paralaje: de consiguiente, la distancia geocéntrica susodicha consta de la suma de los semidiámetros aparentes de los dos astros y de la paralaje horizontal de la Luna.

238. No es raro ver proyectada sobre el suelo la sombra de una nube aislada en un cielo despejado, la cual se mueve segun la direccion, hácia la cual es arrastrada por el viento. El mismo fenómeno se verifica en un eclipse de Sol. Si se observa desde una altura toda la extension de un llano, se vé que la sombra proyectada por la Luna sobre el mismo recorre un inmenso espacio en brevísimo tiempo con la velocidad del relámpago. Este movimiento se verifica siempre de O. á E. Aunque la rotacion de la tierra tiende á producir un efecto contrario, suponiendo al Sol y á la Luna fijos en el espacio, con todo, siendo la velocidad de la Luna mucho mayor que la de la tierra de O. á E. no tiene lugar el movimiento relativo de E. á O. De aquí se deduce que los eclipses de Sol y de Luna tienen esta diferencia característica, que estos últimos son enteramente independientes del lugar que ocupa el observador, pudiéndose observar en todo un hemisferio, en que sea visible la Luna, la misma cantidad de eclipse, el cual empieza y acaba en el mismo instante absoluto de tiempo, aunque en horas diferentes para las diferentes longitudes; mientras que un eclipse de Sol varía á cada instante con respecto al lugar que ocupa el observador; el principio, medio y fin varía en tiempo como varía la posicion de la Luna y del Sol con respecto á cada observador, á más de que no sólo la sombra, sino tambien la penumbra del disco lunar, lejos de abrazar un hemisferio entero, solo se extiende en una pequeña parte. De este modo los cálculos de un eclipse de Sol son mucho más complicados que los de Luna, pues es necesario determinar no solo las condiciones generales del eclipse, sino tambien la marcha que seguirá la sombra lunar, su extension y las fases todas del fenómeno para cada lugar determinado.

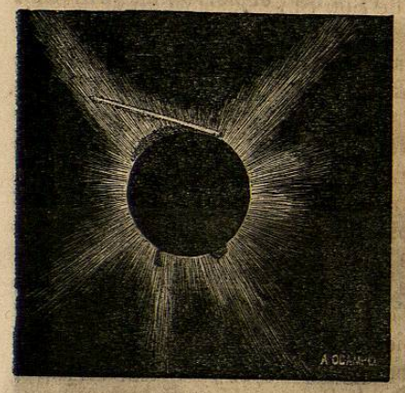
§ 4.

Fenómenos que se verifican en los eclipses totales de sol.

239. Los eclipses totales de sol han sido siempre, desde la antigüedad, unos acontecimientos sorprendentes, no solo para el vulgo, sino tambien para los mismos sábios que no ignoran la causa, y que antes bien pueden predecirlos y averiguar de antemano los pormenores de sus fases. El primer fenómeno que se observa en un eclipse total, es ver, en el momento en que desaparece el último rayo de Sol, á la Luna proyectada como un disco perfectamente negro en el

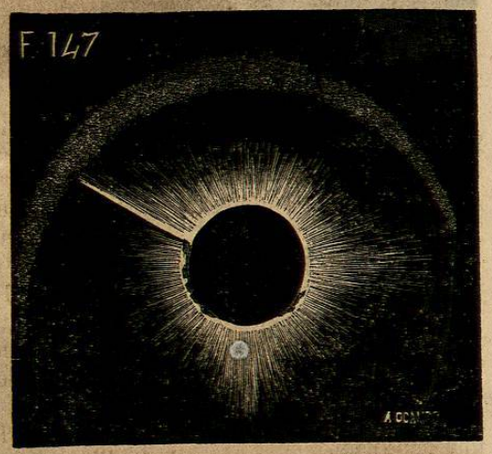
fondo del cielo (fig. 145), el que aparece instantáneamente rodeado de una aureola ó corona luminosa, cuya extension al rededor no es mayor que un radio lunar, la intensidad de su luz puede igualarse á la de la Luna llena; y esta es la que mitiga un tanto el horror producido por la instantánea oscuridad que se sigue á la súbita extension del grande astro del dia. Esta corona, segun las observaciones hechas en los últimos eclipses que se han verificado, consta de dos partes: una, que forma un anillo bien pronunciado, de una luz brillantísima, en contacto inmediato y en contorno del disco lunar, y se extiende á una distancia de casi 4′, la otra, que sigue al anillo y tiene más del doble de extension. Su luz vá poco á poco disminuyendo (fig. 146), y su límite con el anillo es perfectamente marcado; por lo que hay motivo para deducir que dicho anillo sea de una densidad muy superior á todo lo demás de la corona, á cuyo límite llegando los gases, (que dijimos ser las protuberancias que se elevan en ellas) y encontrando una densidad menor, ó á lo ménos igual á la suya, se inclinan cediendo á las leyes de equilibrio, paralelamente al borde del Sol, y siguiendo la direccion de alguna corriente que las lleve. Esta corona es, al parecer de los astrónomos, la que constituye la atmósfera solar.

Fig. 145.



240. A más de la corona y fuera de ella suelen aparecer unos haces luminosos, cuya forma y direccion no es siempre la misma, y cuya intensidad en la luz varía tambien. Estos haces, segun las observaciones hechas, no parecen ser reales, ó pertenecientes al Sol, sino puramente efectos de la atmósfera terrestre iluminada por las protuberancias y por la corona luminosa entre las aberturas que dejan entre sí las montañas de la Luna: del mismo modo que se observan esos magníficos haces luminosos á la puesta del sol por entre las aberturas de las montañas terrestres, ó por las nubes en-

trecortadas. Sin embargo hay probabilidad de que no todos estos haces luminosos deban atribuirse á un efecto puramente atmosférico, habiéndose dichos haces podido observar no pocas veces aun fuera de los eclipses, y hallándose el Sol en el horizonte; pero esta observacion merece todavía otras pruebas. Unos de estos rayos luminosos, que hay motivo para creerlo perteneciente al sol, se observó en el eclipse total del 25 de Abril de 1865 en Concepcion de Chile. Fué tal su luz, que á él se debe la formacion del halo, que se manifestó extraordinariamente durante solo el tiempo de la totalidad del eclipse, es decir, $2^m,22$. La fig. 147 representa el aspecto del fenómeno, aunque se halla reducida la distancia del halo al Sol por la estrechez del espacio. En este rayo se observa una forma particular semejante á un triángulo rectángulo, y corresponde á una de las más grandes protuberancias que se dejaron ver á inmediaciones del Ecuador solar.

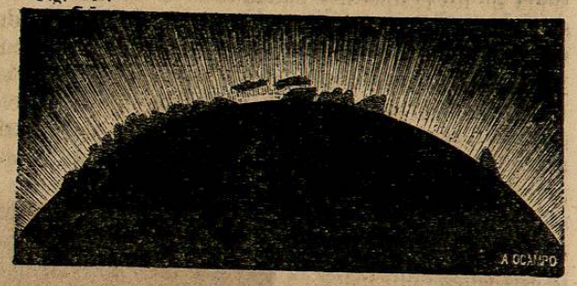


241. Lo que llama principalmente la atencion del astrónomo en los eclipses, son ciertas protuberancias rosadas, que aparecen al rededor del disco. Estas son como una especie de nubes que flotan en la parte más densa de la atmósfera solar, y forman una capa inmediata al rededor de la fotosfera. La forma es muy variada: algunas son redondas; otras en forma de cono; las hay tambien en forma de columna, que en la parte superior se doblan á semejanza de una columna de humo que sigue la corriente de aire que la impulsa [fig. 148]. Otras

Fig. 148.

se presentan como una série de montañas puntiagudas, entre las cuales se hallan tambien algunas como suspendidas y aisladas en forma de pequeños *cúmulus* (fig. 149). Estas protuberancias ó llamas pertenecen únicamente al Sol y no son materia sólida, sino gaseosa, exhaladas probablemente de la misma fotosfera del Sol y quizá del núcleo interno (1).

Fig. 149.



Esto se observa sobre todo en las que son muy elevadas y toman la forma arqueada, pues mientras están sumergidas en la parte de atmósfera que tenga en comparacion mayor densidad, se elevan, pero encontrando capas de igual densidad ó menor, se extienden horizontalmente, formando un ángulo recto en el punto en que se doblan. Por otra parte, la fuerza que las eleva á una altura tan grande, que llega tal vez á ser no ménos que 10 veces el diámetro terrestre, debe ser superior á la que puede imaginarse. Esta especie de protuberancias que por lo comun aparecen cerca del ecuador solar, desde el punto en donde se doblan, suelen dirigirse hácia los polos: circunstancia que podria dar motivo á sospechar la existencia de corrientes que se dirijan del ecuador á los polos, como sucede en nuestro planeta por efecto de la dilatacion del aire producida por una mayor temperatura.

242. Hay otros efectos producidos por un eclipse de Sol, que dependen del estado atmosférico. Así, no es raro que se condense el vapor que en exceso existe en el aire, y se levante la niebla por la disminucion de la temperatura, la cual, á pesar de que el termómetro no baja mucho, se hace muy sensible á las personas, especialmente si se verifica el fenómeno al principio del dia; no obstante, no parece que esto influya sobre el barómetro, el cual sigue su marcha ordinaria. La aguja magnética tampoco muestra variaciones extrañas por la existencia del fenómeno, á ménos que no haya otras causas que las motiven. Lo que se ha notado más frecuentemente es la cesacion del viento en tiempo de la totalidad del eclipse, como si la inanimada naturaleza quedara suspensa á la presencia del gran

(1) Los recientes estudios sobre dichas protuberancias observadas con el espectroscopio, dan por resultado que son de hidrógeno puro.

fenómeno. La oscuridad producida puede compararse con la que se verifica una hora despues de la puesta del sol en dia despejado, por lo que es difícil aun observar la hora del reloj sin luz artificial. Con todo, esto no se verifica siempre del mismo modo, sino que depende del estado atmosférico. En esta oscuridad no es difícil ver las estrellas de primera y segunda magnitud, así como los planetas mayores; mientras tanto, el cielo, aunque despejado, toma un color verde-oscuro que se refleja sobre los objetos terrestres, y los hace aparecer de un tinte pálido-verdoso, que sorprende el ánimo y los sentidos del observador. No es fácil dar una idea de la impresion moral que produce tan imponente fenómeno en los espectadores aun más prevenidos. Los animales á su vez se resienten de la falta momentánea del astro luminoso, y la sensacion producida en ellos depende generalmente de la mayor ó menor oscuridad.

243. No podemos entrar en detalles más circunstanciados, porque estos pertenecen más bien á un astrónomo que á un cosmógrafo. Bástenos haber indicado los principales fenómenos, los cuales, si dan una idea de lo que es eclipse total, no llega ésta, sin embargo, á producir el efecto que experimenta un testigo de vista.

LIBRO V.

De los planetas.

CAPITULO I.

§ 1.

Nociones generales.

244. Planeta significa *astro errante*. Los astrónomos antiguos dieron este nombre á ciertos cuerpos celestes, que lejos de pertenecer á una constelacion determinada, pasaban de una constelacion á otra con movimientos algo complejos, pero sin traspasar ciertos límites de la esfera celeste. Segun esto, el sol, los satélites de los demás planetas y los cometas serian otros tantos planetas. Mas desde el descubrimiento del sistema solar, admitido como el único verdadero por los astrónomos modernos, se entienden por planetas unos astros ó cuerpos opacos, que giran al rededor del sol, describiendo órbitas elípticas. Se dividen estos cuerpos en planetas primarios, secundarios ó satélites y asteróides. Planetas primarios son aquellos que en su movimiento describen una órbita elíptica, cuyo foco ocupa el sol, *satélites* son ciertos cuerpos que giran al rededor de un planeta primario, y *asteróides* un grupo de planetas pequeños, que describen sus órbitas al rededor del sol, muy entrelazadas por la vecindad en que se hallan, y con una inclinacion bastante sensible sobre la eclíptica.

245. Los planetas mayores se dividen en inferiores y superiores; aquellos son los que no pasan de cierto límite fijo en su distancia angular del sol, y son Mercurio y Venus; estos son los que en sus distancias angulares del sol no tienen límite fijo y son: Marte, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. Los primeros se llaman tambien *interiores*, porque su órbita está comprendida en la órbita terrestre; los segundos se llaman *exteriores*, porque describen su órbita fuera de la órbita terrestre. Todos estos planetas se hallan siempre cerca de la eclíptica, cuya distancia por uno y otro lado no es mayor de 8°. Esta faja es la que, como dijimos, constituye el zodiaco; mas los aste-