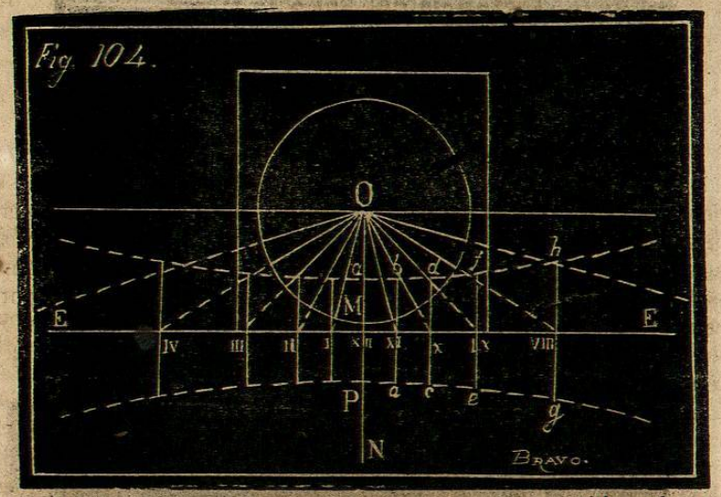
gulos crecientes en proporcion aritmética cuya razon sea 15°,3°. Siendo = 0° el ángulo de altura del polo sobre el horizonte, el centro del cuadrante se hallará á una distancia infinita, y de consiguiente, las líneas horarias que pasan por los puntos de proyeccion, serán paralelas entre sí y á la línea meridiana y perpendiculares á la línea equinoccial. En efecto, sea MO el gnómon (fig. 104); por su pié en



M trázese la línea EE′ perpendicular á la línea meridiana MN; como esta línea representa la interseccion del plano ecuatorial con el horizontal, será la equinoccial. Haciendo centro en el vértice O del gnómon, descríbase con un radio cualquiera un círculo: divídase éste de 15° en 15° por la parte inferior, empezando por el gnómon á uno y otro lado: únanse estos puntos con el centro O, prolongando los radios hasta encontrar la equinoccial en los puntos I, II. III, XI, X. Trazando sobre dichos puntos las perpendiculares *ab*, *cd*, *ef*, *gh* etc., quedarán marcados sobre el cuadrante horizontal las líneas horarias. Para hallar los límites de la sombra en los solsticios al medio dia, bastará tomar sobre la equinoccial una cantidad MIX = MO, y formando un ángulo MIXP = 23°,28′, el punto P indicará dicho límite, debiendo ser al otro lado MQ = MP. Los demás puntos de las hipérboles se hallarán segun el método indicado anteriormente en el núm. 157. En este cuadrante, por cuanto la mínima distancia zenital del sol en el dia de los equinoccios es = 0°, el gnómon no proyectará sombra alguna al medio dia.

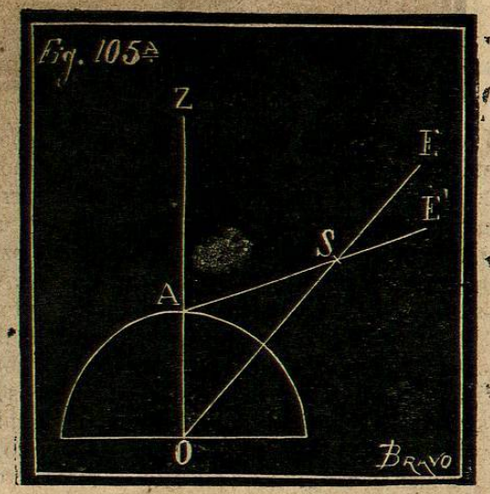
CAPITULO III.

Distancia del Sol á la tierra.

§ 1.

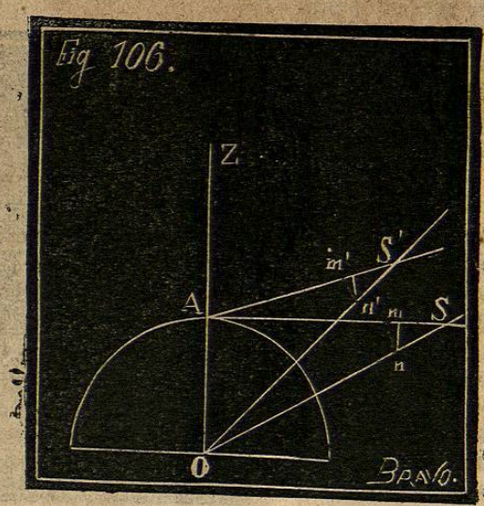
Paralaje.

160. Para conocer la distancia de las estrellas, dijimos que era necesario averiguar la paralaje anual; así mismo, para conocer la distancia del Sol á la Tierra es preciso hallar el ángulo de paralaje, aunque sea de diferente especie. Veamos en qué consiste. Llámase paralaje el cambio de posicion que sufren los objetos celestes por el cambio de posicion del observador en la superficie de la tierra. Sea un observador en O (fig. 105) que dirija la visual á un objeto S; este se verá en la prolongacion y direccion de la línea OS en E. Si el observador, cambiando de posicion pasa al punto A, el lugar en donde aparentemente verá el objeto S, será en E. Este fenómeno es el mismo que se verifica cuando, pasando nosotros de un punto á otro, nos parece que cambian de lugar los objetos cercanos con relacion á los que están más lejos. El ángulo que forman las dos visuales en este cambio de posiciones ESE′ = ASO se llama *paralaje*. Es claro que la paralaje varía: 1º variando la posicion del observador: 2º variando la distancia del objeto. Si suponemos á dos observadores, uno en el centro O de la Tierra, otro en la superficie A, que observen al mismo tiempo el ob-



jeto S, lo referirán á lugares diferentes E y E′: la distancia zenital para uno será ZOS, para el otro ZAS > ZOS una cantidad igual al ángulo OSA. El efecto, pues, de la paralaje en los cuerpos celestes es disminuir sus alturas sobre el horizonte, es decir, aumentar sus distancias zenitales. De lo dicho resulta que la paralaje puede definirse tambien *"el ángulo bajo el cual desde el centro del astro se vé el radio terrestre"*, ó en otros términos, paralaje de un astro *"es la mitad del diámetro aparente de la tierra, visto desde el centro del astro* (1)." La paralaje tiene su valor máximo cuando el astro se halla en el horizonte, y se llama entonces *paralaje horizontal;* cualquier otro ángulo de paralaje que se acerca al zenit, se llama *paralaje de altura.* Llámase *geocéntrica* ó *diurna,* cuando los astros se refieren al centro de la tierra, *heliocéntrica* ó *anual,* como la de las estrellas, cuando se refiere al centro del sol. La palabra *paralaje,* usada absolutamente, significa la paralaje *geocéntrica:* siendo ésta máxima en el horizonte, vá disminuyendo hasta el zenit en donde es nula. La paralaje *horizontal ecuatorial* supone un observador situado en el ecuador, y ésta es tambien la que debe servir de base para el observador que esté colocado en cualquiera otra latitud.

161. Puesto que la paralaje de un astro depende de su distancia al centro de la tierra, llamemos r el radio terrestre (fig. 106), D la distancia del centro de la tierra al centro del astro S, y p la paralaje. Si del punto S, como centro, describimos un arco de círculo á una distancia cualquiera Sm, tomada por unidad, el pequeño arco mn será la medida del ángulo ASO; ahora, pues, que el arco mn es infinitamente pequeño, lo podemos considerar como una recta perpendicular á la tangente SA;



(1) Como la distancia de los cuerpos celestes se considera de centro á centro, la paralaje tiene por base el centro de la tierra con relacion á la superficie.

entonces, siendo semejante los dos triángulos que resultan SAO, Smn, tendrá lugar la siguiente proporcion:

$$\frac{mn}{Sn}=\frac{OA}{SO}, \text{ de donde } p=\frac{r}{D'} \quad (1)$$

de este modo el ángulo de paralaje se expresa por la relacion del radio terrestre, ó por la distancia del centro de la tierra al centro del astro. Para otro astro S′ tendremos:

$$\frac{m'n'}{S'n'}=\frac{OA}{S'O}, \text{ ó sea, } p'=\frac{r}{D} \quad (2)$$

hallando la razon de estas dos ecuaciones (1) y (2) resulta:

$$\frac{p}{p'}=\frac{D'}{D}$$

lo que manifiesta que la paralaje está en razon inversa de la distancia.

§ 2.

Correccion de la paralaje.

162. Como la posicion aparente de un astro depende de la posicion del observador, y variando por otra parte la posicion misma del observador, no solo sobre la superficie terrestre, sino tambien con relacion al espacio por la rotacion de la tierra, se sigue que es necesario tomar un punto fijo, al cual se refieran las observaciones de los cuerpos celestes, para que sean independientes de dichas variaciones. Este punto fijo es el mismo centro de la tierra, el cual aunque se mueva con relacion al espacio, sin embargo es inmóvil con respecto á la superficie terrestre. Simplificando de este modo las operaciones, será más facil hallar la posicion verdadera de un astro. Ahora, para averiguar esta posicion verdadera, á más de la correccion de la refraccion atmosférica, de que hemos hablado (Lib. II cap. IV § 4), es necesario hacer la correccion de la paralaje. Es de notar, sin embargo, que produciendo la paralaje un efecto contrario al de la refraccion, no por eso hay compensacion, pues la refraccion es igual para todo astro que esté á la misma altura sobre el horizonte, y la paralaje á más de ser menor que la refraccion, varía segun la distancia del objeto, aunque se halle á la misma altura sobre el ho-

rizonte, haciendo variar la declinacion y el ángulo horario de lso astros.

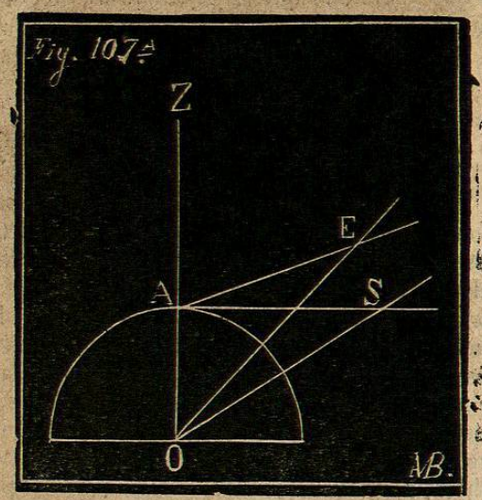
163. Supongamos al sol en el mismo horizonte en S [fig. 107]; para un observador que se halle en A, la distancia zenital será: ZAS = 90°; pero para otro que se suponga en el centro O de la tierra, la distancia zenital del sol será ZOS: por lo tanto, será:

$$ZOS = ZAS - OSA = 90° - p.$$

Si el sol se eleva á cierta altura, y se halla en E, para el observador que se supone en A, la distancia zenital será ZAE, pero para otro que se halla en O, centro de la tierra, será:

$$ZOE = ZAE - AEO = Z - p.$$

Luego para tener la posicion exacta del astro que se observa, es necesario referirlo al centro de la tierra, y corregir la posicion aparente del ángulo de paralaje, ó lo que es lo mismo, restar de la distancia zenital observada, corregida la refraccion, el ángulo OEA, que es la paralaje de altura. Esta paralaje de altura se deduce de la horizontal del lugar del observador por medio de tablas construidas de propósito para todas las latitudes y alturas.



164. Nota. En la fórmula [1] se supone r = al radio terrestre en el lugar del observador, y el arco igual al seno para todos los cuerpos celestes menos para la luna en ciertas observaciones más delicadas. Por tanto, si el observador no se halla en el ecuador, el radio terrestre de su latitud será diferente del radio ecuatorial. Indicando por ρ el radio ecuatorial, y por π la paralaje horizontal ecuatorial, será $\pi = \frac{\rho}{D} = \frac{1}{D}$, tomando por unidad el radio ecuatorial: para otro lugar cualquiera la ecuacion [1] se convertirá en $\rho = r\pi$;

es decir, que se obtiene la paralaje del lugar del observador, multiplicando la paralaje horizontal ecuatorial por el radio terrestre del lugar del observador. Si los arcos no pueden tomarse iguales á los senos, lo que se verifica para la luna en las observaciones más delicadas, la fórmula será en dicho caso: sen. $\rho = r\pi'$.

Obrando la paralaje en el plano vertical, es decir, en el plano que pasa por el zenit del observador, hace variar la altura, más no el azimut de los astros.

§ 3.

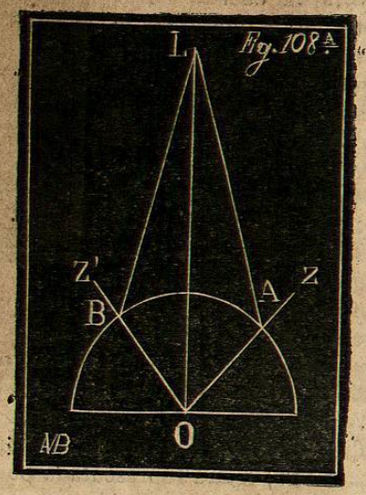
Medida de la paralaje.

165. Tratándose de medir la distancia entre dos puntos de los cuales uno sea inaccesible, la geometría dá un medio fácil para averiguarla por la resolucion de los triángulos. Este mismo método se emplea para determinar la paralaje de un astro, pues todo se reduce á determinar el valor de un ángulo, siendo conocidos los otros dos. Si dos observadores [que podemos suponer se hallen bajo un mismo meridiano] en A y en B [fig. 108) dirigen las visuales á la Luna en L, podrán determinar la distancia zenital respectiva ZAL, y Z'BL cuyo valor para el observador situado en A será representado por

$$ZAL = AOL + ALO$$

para el que se halla en B será:

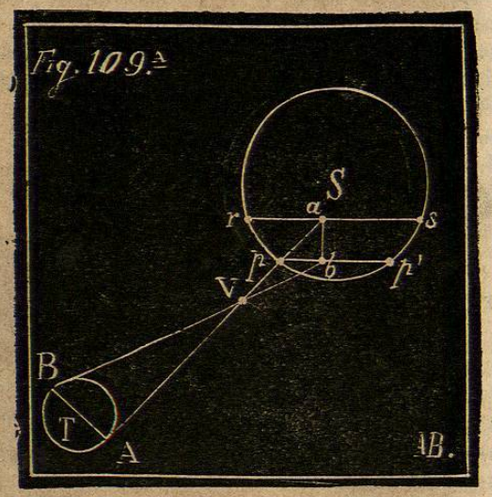
$$Z'BL = BOL + BLO.$$



Siendo conocidos los dos ángulos AOL y BOL, por ser las latitudes respectivas de los dos observadores, que suponemos á una distancia competente por uno y otro lado del ecuador, podrá facilmente determinarse el ángulo ALO que es la paralaje. Adviértase, sin embargo, que se calculará la distancia OL tomando por unidad el radio de la tierra OA. Si las estaciones no estuvieran bajo un mismo meridiano, habria que hacer una correccion proporcional á la variacion de la paralaje en el intérvalo de los dos pasos por el meri-

diano. En cuanto al radio terrestre, habrá que tomar el ecuatorial y adoptar la latitud geocéntrica. Este procedimiento que dá buen resultado para la luna, es insuficiente tratándose del sol, á causa de su mucha distancia á la tierra.

166. Para averiguar la paralaje del sol, no pudiéndose emplear el método anteriormente dicho, los astrónomos se valen de los pasos del planeta Venus delante del disco solar: de aquí nace la suma importancia de este fenómeno, y tanto más, cuanto que es muy raro. Daremos una idea del método adoptado. Estando Venus en conjuncion, es decir, entre el sol y la tierra, se proyecta á veces sobre el disco solar, describiendo en su movimiento una cuerda que es mayor ó menor, segun la posicion del observador con respecto á la visual. Ahora bien, supongamos sea S el sol [fig. 109], V Venus, T la tierra. En dos puntos extremos de un diámetro perpendicular á la eclíptica A y B, hállense dos observadores: cada uno de ellos verá á Venus proyectarse sobre el disco del sol, pero en diferente lugar. El observador que se halla en A, verá al planeta recorrer la cuerda *rs*, el otro en B observará la cuerda *pp'*. Supuesto que, siendo conocido el movimiento relativo de Venus y de la tierra con respecto al sol, y por tanto el ángulo descrito en un segundo, puede determinarse no solo las longitudes de dichas cuerdas por medio de los tiempos empleados en recorrerlas, sino tambien su posicion sobre el disco solar, podrá deducirse la distancia de cada una de ellas al centro del sol y su distancia mutua *ab*. Ahora, sabemos por la tercera ley de Kepler, que la distancia de Venus al Sol, está expresada por 0,72 de la distancia del Sol á la Tierra tomada por unidad; de consiguiente, la distancia de Venus á la Tierra, estará representada por 0,28. Pues bien; los dos triángulos semejantes, VAB y V*ab* dan la proporcion



$$\frac{AB}{ab}=\frac{VT}{VS}=\frac{0.28}{0.72}=0.388.$$

De consiguiente, el diámetro terrestre $AB=0,388\times ab$; de modo que si $ab=4'',554$, será: $AB=0,388\times 4'',554=17'',67$, lo que dá para la paralaje $\frac{AB}{2}=8'',83$. Esta es la paralaje que actualmente se adopta, y que ha resultado de las observaciones más recientes con ocasion de los últimos pasos de Mercurio y de Venus sobre el disco del sol. El P. Secchi en su obra "Le Soleil" adopta la paralaje $=8'',91$ la que por observaciones posteriores ha sido modificada en $8'',83$ y sobre ella se fundan todos los cálculos siguientes.

167. Tomando ahora la fórmula general $p=\frac{r}{D}=8'',83$, resulta: $D=\frac{r}{8'',83}$, es decir, que el valor de D depende de la relacion del radio terrestre con el ángulo bajo el cual este mismo radio se vería desde el sol. Es fácil hallar este valor. Sabemos que en un círculo cualquiera, cuyo radio sea=1, la circunferencia está representada por $2\pi=2\times 3,1415926$, y el arco de 1″ en dicha circunferencia será expresado por $\frac{1}{360\times 60\times 60}$, ó sea, $\frac{1}{1.296,000}$, y además la longitud líneal de este arco será: $\frac{2\pi}{1.296,000}=\frac{1}{206,369.}$ Ahora, si se tratara de averiguar á qué distancia se verá un objeto bajo un ángulo de 1″, supuesto que se conozca el diámetro del objeto, no habría más que tomar por unidad esta distancia, y aplicar la fórmula anterior, es decir, que debería el objeto estar situado á la distancia de 206.369 veces su diámetro. Si fuera visto bajo un ángulo de 2″, deberia estar á la mitad de la distancia, es decir$=\frac{206,369}{2}$, y así sucesivamente. Ahora, si el radio terrestre á la distancia solar subtiende un arco de $8'',83$, dicha distancia será expresada por $\frac{206.369\times r}{8'',83}$, lo que dá el valor de $D=23,371\ r$. Siendo el radio medio terrestre $=6.366,778$, será $D=23,371\times 6.366,778=148.797,968^{kil.}$ ó sea 33.482,891 leguas = 100.448,673 millas geográficas. Esta distancia varía más ó menos en 386 radios terrestres, á saber, casi la sexagésima parte de su valor medio. Los 386 radios terrestres darian 2.450,194 kil., ó sea, 551,320 leguas (1).

(1) Para concebir la distancia del sol á la tierra, se ha calculado cuánto tiempo sería necesario emplear, para poderla recorrer con velocidades distintas. Un hombre á pié, dado que ande 8 kil. por hora sin descansar ni de dia ni de noche, deberia emplear 2.000 años. Una locomotora á toda fuerza de vapor caminando 60 kil. por hora, emplearia tres siglos. Una bala de cañon,

§ 4.

Magnitud del sol.

Volúmen.—Masa.—Densidad.

168. De las variaciones del diámetro aparente del sol, de que hemos hablado en el § 7 del cap. precedente, resulta que sacando los valores extremos, el diámetro medio es = 32′,3″,3. Sabemos que los diámetros reales de dos astros, vistos á la misma distancia, son proporcionales á sus diámetros aparentes. Siendo, pues, el diámetro medio aparente del sol = 32′,3″,3 y conociendo por otra parte el valor del diámetro aparente de la tierra, visto desde el sol, que es = 17″,67, podremos hallar el diámetro verdadero del disco solar. Llamando D á este diámetro, y d al de la tierra, Δ' y δ' los diámetros aparentes respectivos, resulta:

$$\frac{\Delta'}{\delta'}=\frac{D}{d}=\frac{32',3'',3}{17'',67}=\frac{1923'',3}{17'',67}, \text{ de donde } D=\frac{1923'',3\times d}{17'',67,}=108,8\times d,$$

es decir, que el diámetro del sol es casi 109 veces el diámetro terrestre, y siendo este = 12,733,557^{m}: el del sol será:

12,733,557^{m} × 109 = 1,387,957,713^{m} = 312,321 leguas. De este cálculo tan sencillo podemos deducir su circunferencia y su volúmen. Para la primera, siendo $C=2\pi R$, resulta:

$$312,321^{leg.}\times\pi=312,321\times 3,14=980,687^{leg.}$$

Para el segundo, siendo los volúmenes de dos esferas entre sí como los cubos de sus diámetros, resultará: $\frac{V}{V}=\frac{D^3}{d^3}=\frac{312,321^3}{2,865^3}$, de donde

$V=\frac{312,321^3\times V'}{2,865^3}$, lo que dá para el volúmen del sol 1.223,152 veces el volúmen de la tierra. Podemos formarnos una idea de esta dimension tan desmesurada, suponiendo un globo cuyo diámetro fuera igual al de la órbita de la Luna; este no seria más que la octava parte del globo solar. La masa del sol, ó sea la cantidad de moléculas materiales de que se compone, es 326,800 veces mayor que la de la tierra. Ahora, estando la fuerza de gravedad en proporcion con la masa, y en razon inversa del cuadrado de la distancia, se sigue que la gravedad en la superficie solar es 28 veces mayor que sobre la

que conservara su velocidad inicial de 500 metros por segundo, llegaria hasta el sol en 10 años. El sonido en circunstancias iguales á las de nuestra atmósfera, necesitaria 15 años. La electricidad que en un alambre de cobre recorre 180.000 kil., por segundo, emplearia 12 minutos; en fin, la luz, el más rápido de los agentes, necesita 8 minutos para recorrer toda esa distancia.

superficie terrestre. Allí no podria un hombre sostener su propio peso, y se sentiria como aplastado por una fuerza invisible. La densidad relativa del sol es = 0,255 de la de la tierra, y siendo esta =5,44 con relacion al agua destilada á 4° sobre cero, se sigue que la densidad del sol es = 0,255 × 5,44 = 1,3872, es decir, poco más que el agua misma.

§ 5.

Manchas.

169. Si se observa atentamente la superficie del disco solar por medio del telescopio, facilmente se reconoce que en toda su extension no es igualmente luminosa, sino que aparecen de vez en cuando unas manchas negras, las cuales al principio se presentan como pequeños puntos negros, y despues de unos cuantos dias se las vé aumentar en magnitud y variar en su forma. El aspecto con que se presentan, no es siempre el mismo: unas veces se ven redondas, otras largas y sinuosas; algunas están aisladas, otras forman grupos, pero todas generalmente constan de dos partes, á saber, de *núcleo* y de *penumbra*. El *núcleo* es la parte negra central, la *penumbra* es una parte exterior de la mancha, la cual es mucho más clara que el núcleo negro de la misma. Ordinariamente la penumbra está constituida por una especie de ramificaciones oscuras, que salen de la parte central y se extienden al rededor de ella. El 6 de Mayo de 1857 apareció una en forma de remolino, y fué vista en el observatorio del Colegio Romano á las 11^{h} A. M. En el espacio negro del núcleo [fig. 110], cuya forma era muy semejante á una espiral, existian dos hoyos negros, rodeados por ramificaciones luminosas, que tambien conservaban la forma de espiral. A la 1^{h} de la tarde ya habia cambiado su aspecto: los dos hoyos negros se habian confundido en uno, y la forma del núcleo habia pasado á ser casi redonda, desapareciendo aquella especie de lengua luminosa que en él se internaba. Estas variaciones demuestran que existe en el sol una agitacion y movimiento muy rápido, y en una escala muy fuera de lo que se puede ima-

Fig. 110.