y variando por otra parte la posicion del Ecuador con respecto al sol, pues la inclinacion del eje terrestre es causa de que el sol se halle ya á un lado, ya al otro del ecuador, resulta que la fuerza de atraccion del sol sobre la misma masa ecuatorial no es siempre la misma, y por lo tanto, el efecto será producir un movimiento cónico en el plano ecuatorial, y de consiguiente en el eje de la Tierra al rededor de la vertical. De este modo la interseccion equinoccial con la eclíptica no podrá verificarse siempre en el mismo punto, sino que irá recorriendo aunque lentamente, todos los puntos sucesivos de la eclíptica. Claro está que la fuerza máxima que ejerce el sol sobre la masa del ecuador, se verifica cuando éste se halla en su declinacion máxima, es decir, en Diciembre y Junio; siendo nula en los equinoccios opuestos, es decir, en Marzo y Setiembre.

108. A esta accion del sol se añade tambien la atraccion de la Luna, la cual puede aumentar, disminuir ó equilibrar la atraccion solar, segun la posicion de la misma Luna con respecto al sol y á la Tierra. En cuanto á la nutacion, hallándose ésta en conexion con la retrogradacion del *nodo* de la órbita lunar, Bradley supuso que podia explicarse por el movimiento de dicho nodo; mas de esto hablaremos tratando de la Luna.

CAPITULO IV.

§ 1.

De la Atmósfera.

109. La atmósfera es una capa gaseosa que envuelve en toda su extension al globo terrestre, y sus moléculas están sujetas y obedecen, como cualquier otro cuerpo, á la fuerza de gravedad; por lo tanto, tienen con la tierra un movimiento comun de rotacion. Siendo la atmósfera un fluido elástico, cede más fácilmente á la fuerza centrífuga y su forma esferoidal es más pronunciada áun, que la de la misma tierra. La atmósfera, ó el aire, produce importantísimos efectos en todos los cuerpos que existen sobre la superficie terrestre. A más de ser necesaria para la respiracion, la atmósfera conserva las aguas en estado líquido, influye en la vegetacion de las plantas, absorbe los rayos caloríficos del sol, refleja y difunde los luminosos. Sin la atmósfera no habria vida, y la tierra no seria más que una masa sólida, árida y desierta, como veremos despues que lo es la luna su satélite. De alguna de estas propiedades por cuanto se relacionan con la cosmografía, vamos á tratar en los párrafos siguientes.

§ 2.

Luz difusa y centelleo.

110. Se sabe por la Física, que las moléculas del aire, tienen, como cualquiera otro cuerpo trasparente y pulimentado en su superficie, la propiedad de refractar y reflejar los rayos luminosos que reciben del sol. Destinando un párrafo aparte para hablar de la refraccion, trataremos aquí de la reflexion. Siguiendo esta las leyes á que está sujeta, se verifica en las moléculas del aire, como en los cuerpos de superficie convexa; y como dichas moléculas tienen diferente posicion en el espacio, se sigue que, los rayos incidentes de una molécula reflejándose mútuamente en las otras que se hallan al rededor, los rayos luminosos dirigidos en todo sentido son esparcidos por todas partes en la atmósfera. De aquí nace el que puedan verse los objetos áun en los puntos á donde no llegan directamente los rayos del sol: esto es lo que constituye la luz difusa. Si nos elevásemos á una altura suficiente sobre el suelo en un globo aereostático, observaríamos que, disminuyendo la densidad del aire, disminuye tambien la cantidad de luz difusa, y el color azul del cielo se haria más y más intenso, hasta llegar al negro, donde el aire está muy enrarecido. Esto puede dar razon de porqué las estrellas se ven solo de noche y desaparecen durante el dia. La luz de las estrellas es muy escasa, en comparacion de la gran cantidad de luz solar difundida de dia por la atmósfera, siendo aquella, en cierto modo, absorbida y atenuada por esta, mientras que en la noche proyectándose sobre un fondo oscuro, la luz estelar se hace visible. Aun podrian verse las estrellas de dia, si se las observara con un anteojo de tubo largo, cuyas paredes interiores estuvieran ennegrecidas; y lo propio aconteceria, si se las viera desde la profundidad de un pozo.

111. A la atmósfera se debe tambien el fenómeno del centelleo. Este consiste en un aparecer y desaparecer rápido de las estrellas, de modo que nunca se las vé fijas en un punto, ni conservan el mismo color, y parece que se hallan en un contínuo movimiento. Dicho fenómeno se verifica especialmente en los astros que se hallan cerca del horizonte, y es mucho más pronunciado cuando la atmósfera está agitada. Arago explica el hecho por la interferencia [1] de los

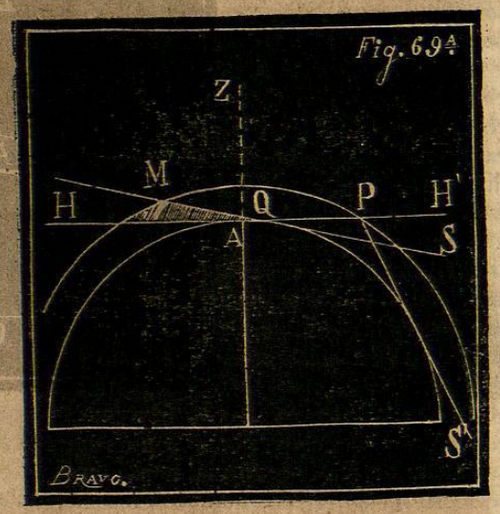
(1) Llámase interferencia en física, la accion mútua que ejercen entre sí dos rayos luminosos emitidos de un mismo foco de luz, cuando se encuentran bajo un ángulo muy pequeño. Si por dos pequeños orificios de igual diámetro se dá paso en una cámara oscura á dos haces de luz homogénea y se reciben sobre un carton blanco más allá de su punto de encuentro, se observan

rayos luminosos al atravesar la atmósfera. Esta explicacion es la única que dá razon de porqué las estrellas centellean y no los planetas, porqué no todas centellean del mismo modo y porqué se verifica el fenómeno más vivamente en una atmósfera más agitada; mientras que las otras explicaciones, dadas por varios físicos, no son muy adecuadas, ni resuelven completamente las dificultades que se oponen.

§ 3.

Crepúsculo.

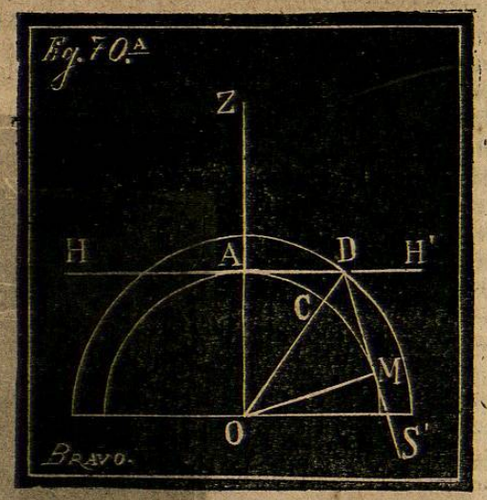
112. Llámase crepúsculo aquella luz que poco á poco vá disminuyendo en el cielo desde el ocaso del sol hasta oscurecerse, y la que vá aumentando así mismo antes de la salida del sol. La primera se observa al poniente al caer de la tarde, y la segunda al oriente al amanecer. Este fenómeno se debe tambien á la atmósfera. Sea A el punto de tangencia en donde se halla el observador, y HH′ su horizonte [fig. 69]. Hallándose el sol en S debajo del horizonte, sus rayos iluminan todavía la parte de la atmósfera PQM sobre el horizonte, y por tanto el observador la verá luminosa, mientras que no alcanzando los rayos luminosos á la parte HQM, ésta se verá oscura. Continuando el sol su marcha debajo del horizonte, la parte iluminada irá disminuyendo en tanto que vá aumentando la oscura, hasta que el sol haya llegado á 18° en el círculo de altura debajo del horizonte en



en el segmento comun á los dos discos, franjas muy oscuras y alternadas de blanco y negro, si la luz es blanca, de rojo y negro, si es roja, etc. Pero si se cierra una abertura, desaparecen las franjas, y son reemplazadas por una luz blanca ó rojiza casi uniforme. De esto se deduce que las franjas oscuras dependen del encuentro de los dos haces que se cruzan oblícuamente. Las moléculas del aire pueden producir este mismo efecto, por la diferente direccion que toman los rayos reflejados, y que por lo tanto se cruzan.

S′, es decir, cuando la direccion del rayo luminoso S′P corte á la línea horizontal en el punto P, límite de la atmósfera. Lo propio se verifica por la mañana en sentido inverso, y esto es lo que propiamente se llama *aurora*. La duracion del fenómeno depende de la latitud del lugar y de la declinacion del sol, pues el círculo diurno descrito por el sol, fuera del ecuador, es tanto más oblícuo al horizonte, cuanto mayor es la latitud, y mayor tiempo necesita el sol para describir la hipotenusa del triángulo correspondiente á 18° en el círculo de altura. En el ecuador la duracion del crepúsculo y de la aurora es 1^h, 12^m, pues el círculo del movimiento diurno es siempre perpendicular al horizonte. A una latitud de 48° siendo la declinacion del sol 23°,27′, el crepúsculo de la tarde se junta con el principio de la aurora, de modo que no hay noche perfectamente oscura.

113. Por medio del crepúsculo es fácil averiguar aproximadamente la altura de la atmósfera. Sea HH′ [fig. 70] el horizonte, DS′ la direccion del rayo solar tangente al globo terrestre y que llega hasta D en el horizonte del observador colocado en A. Estando el punto D en los límites de la atmósfera, cuya altura es CD, es evidente que la altura del sol en este caso, representada por el ángulo que el rayo luminoso forma con el horizonte del lugar, es 18°; resulta pues:



$$H'DS' = 18^\circ = AOM = 2AOC$$

Por otra parte la trigonometría nos dá (llamando R al radio terrestre)

$$\sec. AOC = \sec. 9^\circ = \frac{OD}{R} \qquad (r)$$

Además $$CD = OD - OC = OD - R \qquad (r')$$

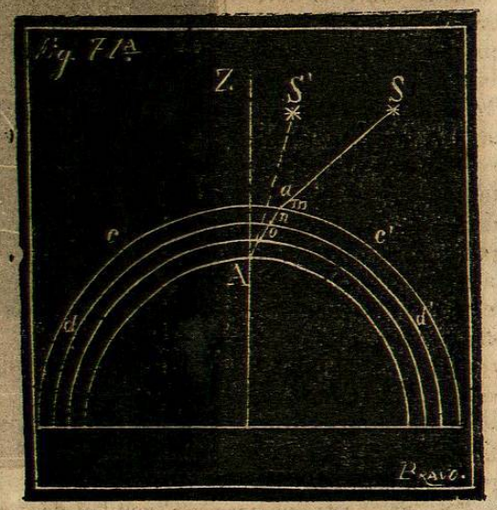
Sustituyendo en [r′] el valor de OD sacado de la fórmula [r] será: CD=R, sec. 9°—R= (sec. 9°—1) R=0,012 R=0^m,012×6,366,778^m. Corrigiendo este cálculo de la refraccion atmosférica, resulta para la atmósfera una altura de 60 kil. aproximadamente. Aunque este cálculo sea exacto, sin embargo, como no está bien definido el

punto D, límite del crepúsculo, la altura CD de la atmósfera será tan solo aproximada. Veremos al tratar de las estrellas fugaces, que observaciones más directas dan una altura casi doble de la hallada por este cálculo.

§ 4.

Refraccion atmosférica.

114. Suponiendo conocido lo que enseña la física sobre la refraccion, aquí no haremos más que aplicar sus leyes á la atmósfera. Podemos considerar á la atmósfera como formada de muchas capas una encima de otra, cuya densidad vá disminuyendo de la superficie hasta las altas regiones: cada una de estas capas, aunque podemos considerarlas homogéneas en su espesor, representa un medio de diferente densidad con respecto á las que le están cercanas. Esto supuesto, sabemos que si un rayo luminoso, atravesando un medio cualquiera homogéneo, penetra en otro más denso, se desvía de su direccion primitiva acercándose á la normal de la superficie de dicho medio. Ahora bien, sea S [fig. 71] un punto luminoso, cuyo rayo S*a* se dirija á la primera capa atmosférica *cc'*, se refractará tomando la direccion *mn*, en el punto *n*, penetrando en la segunda capa *dd'* más densa que la primera, sufrirá una segunda desviacion acercándose á la normal y tomando la direccion *no*. En el punto *o* vuelve á refractarse dirigiéndose al punto A, en donde se halla el observador. Como la sensacion producida en el observador depende de la direccion del rayo luminoso, en el momento en que penetra en su ojo, éste verá el punto luminoso S en la prolongacion de esta última direccion A*o*, y por tanto, para dicho observador el punto luminoso S será visto en S'. El ángulo formado en A por el rayo SA y la prolongacion del último elemento A*o*S' se llama ángulo de refraccion atmosférica. Si ahora comparamos la posicion verdadera del punto luminoso S, y la aparente del punto S' con el zenit veremos claramente que el efecto producido por la refraccion atmosférica es elevar los astros sobre el horizonte en el mismo círculo de altura. Siendo esto así, para fijar con exactitud la posicion de un astro en la esfera celeste, es preciso corregir las observaciones de altura ó las distancias zenitales en una cantidad igual al ángulo de refraccion. Este ángulo no es siempre el mismo en los diversos grados de altura, sino que está sujeto á las cuatro leyes siguientes:

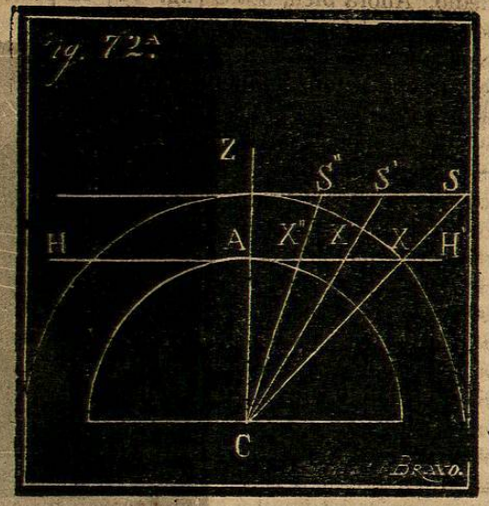


1.ª La refraccion en el zenit es nula, pues el rayo luminoso, atravesando normalmente todas las capas atmosféricas, coincide con las mismas normales de cada una de las capas.

2.ª Desde el zenit al horizonte, la refraccion vá aumentando siempre, siendo máxima en el mismo horizonte, en donde es = 33',46".

3.ª La refraccion crece sensiblemente, así como la tangente de la distancia angular aparente del astro que parte del zenit.

Para entender esta ley, creo necesario aclarar lo siguiente. Sea A [fig. 72] el punto en donde se halla el observador y HH' su horizonte. Sea S la posicion de un astro sobre el horizonte, la secante CX que pasa por el astro, forma con la vertical CZ el ángulo ZCX, que es la distancia zenital, ó la distancia angular del astro con relacion al zenit. La tangente que mide ese ángulo, está representada por la recta ZS. Si el astro se eleva sobre el horizonte y pasa á un punto S', la secante CX' tendrá por tangente correspondiente á la distancia angular del astro, la recta ZS'. Si el astro se acerca al zenit y pasa á S'', á la secante CX'' corresponderá la tangente ZS''. Claro está que cuanto más se acerca al zenit el sol, ó un astro cualquiera, su distancia angular con respecto al zenit irá disminuyendo; por tanto, disminuirá tambien la tangente que le corresponde. Así, si el astro se aleja del zenit, cuan-



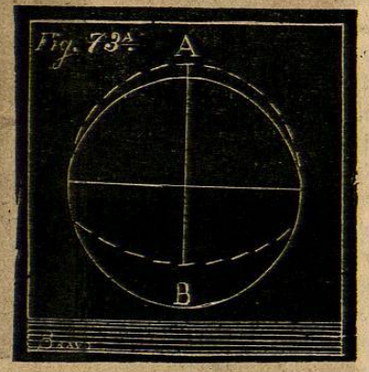
to más se acerca al horizonte, más aumenta la distancia angular, y de consiguiente su tangente. Ahora, el valor de la refraccion, pues que depende de la mayor ó menor distancia angular del astro sobre el horizonte, tendrá por medida la tangente que le corresponde; y de aquí la ley anunciada.

4ª El valor medio de la refraccion, para un astro situado á igual distancia del zenit y del horizonte, es casi = 1′, ó más exactamente = 58″,2.

De ser el ángulo máximo de refraccion en el horizonte = 33′,46″ se sigue, que el Sol y la Luna, cuyo diámetro aparente subtende un ángulo poco menor, puedan verse todavia aunque estén debajo del horizonte en una cantidad igual: luego la refraccion retarda aparentemente la puesta del sol, y acelera su salida en 2ᵐ á 3ᵐ lo que equivale á alargar los dias y acortar las noches en 4ᵐ á 6ᵐ.

Desde el horizonte disminuye rápidamente la refraccion hasta los 85°, en donde no es más que 9′,54″, y á los 45° llega á ser solo 58″,2, como hemos dicho.

115. La refraccion no solo eleva los astros sobre el horizonte, sino que tambien les hace sufrir un cambio en su forma cuando se trata de aquellos que tienen diámetro aparente como el Sol y la Luna; y tanto más, cuanto estos miden un ángulo casi igual al de refraccion. Dicha deformacion depende de la diferencia del valor de la refraccion á medida que el astro más y más se acerca al horizonte. Así el borde inferior del sol B [fig. 73], por hallarse tangente al horizonte en donde la refraccion es máxima, se eleva más que el borde superior A que se halla á 31′ sobre el horizonte. De consiguiente, sufrirá el disco solar en apariencia un achatamiento sensible en el borde inferior. Habrá, pues, una deformacion por la disminucion aparente del diámetro vertical, quedando invariable el diámetro horizontal. Por lo demás, siendo la refraccion muy irregular en el horizonte, el disco del Sol y de la Luna presentan á veces formas muy extrañas, á causa de la cantidad de vapores que se elevan en la atmósfera y alteran su densidad, modificando de este modo el aspecto de los astros. De aquí resulta que las observaciones de los cuerpos celestes, situados en el horizonte, son casi inútiles, por no poderse conseguir en ellas la exactitud que seria de desear.



116. Otro fenómeno tambien presentan el sol y la luna, cuando se hallan en el horizonte, á saber, que el diámetro de su disco aparece más grande de lo que se observa, cuando se hallan á cierta altura. Seria un error atribuir dicho fenómeno á la refraccion atmosférica despues de lo dicho. La causa de esto no es más que aparente, y depende de la relacion de magnitud de los diferentes objetos, cuando los comparamos entre sí, ó los consideramos aisladamente. Cuando el sol se halla cerca del horizonte, juzgamos de su magnitud en comparacion con los objetos terrestres que nos parecen pequeños, y por lo tanto el sol más grande; pero cuando este se halla aislado en el cielo, supongamos en el meridiano, toda comparacion es imposible, y su aislamiento en la bóveda celeste nos hace disminuir su diámetro aparente, y por lo tanto parece más pequeño. Que este fenómeno es solo aparente, se comprueba midiendo por medio de algun instrumento el diámetro del sol en las dos posiciones, pues el ángulo subtendido por dicho diámetro es exactamente el mismo, ya el sol esté en el horizonte, ya se halle en el meridiano. Para la luna, sin embargo, el ángulo visual en el horizonte es más pequeño que en el meridiano por efecto de la paralaje de que hablarémos despues. [Lib. IV. Cap. I § 6].