

so total de unos $16^m 26^s, 5$ (1). Pues bien, las distancias TJ , $T'J'$ exceden de la distancia $T'J'$ la misma cantidad, que es precisamente el diámetro de la órbita terrestre. La luz necesita pues 16 minutos 26 segundos para recorrer la longitud de este diámetro, ó 8 minutos 13 segundos ($493,243$) para recorrer su mitad, que es la distancia del Sol á la Tierra.

Esto sentado, si se divide el número que marca la distancia media de la Tierra al Sol por $493,243$, se tendrá la velocidad de la luz, es decir, el número de kilómetros que atraviesa

en un segundo de tiempo medio: $V = \frac{D}{t}$.

En tiempo de Rømer no se había podido aún calcular la distancia del Sol sino con mediana aproximación; hemos visto además que tampoco se conocía con exactitud el número t , de suerte que se valuaba harto rudimentariamente la velocidad real de la luz. Los trabajos de Delambre han dado á conocer t con cierta precisión de la cual no ha sido posible pasar; en cuanto á la distancia ó á la paralaje del Sol, los pasos de Vénus de 1761 y 1769 permitieron calcularla con una aproximación mucho mayor que las evaluaciones anteriores. Más adelante indicaremos los diferentes valores que resultarían, para la velocidad de la luz determinada con arreglo á este primer método, de la adopción de tal ó cual valor de la paralaje solar.

Lo que conviene retener del descubrimiento de Rømer es que ha patentizado la propagación sucesiva de la luz en los espacios interplanetarios, y por vez primera ha hecho posible la determinación numérica de la velocidad con que tiene efecto esta propagación. Pero dicho descubrimiento contiene varias causas de incertidumbre, una de las cuales consiste en la dificultad con que tropiezan los observadores para anotar con precisión el momento de la desaparición del satélite. Esta desaparición no es instantánea, porque se trata de un cuerpo de dimensiones finitas, de un disco luminoso que penetra poco á poco en el cono de sombra, y según la potencia de los anteojos con que se

(1) Rømer obtuvo por resultado 11 minutos como tiempo que la luz invierte en recorrer el diámetro de la órbita terrestre; otros sabios dedujeron cifras más altas: Duhamel 15^m , Horrebow $14^m 7^s$, Cassini $14^m 10^s$, Newton $7^m 3^s$, y por último Delambre, según hemos dicho, $8^m 13^s$ ó más exactamente, $493,243$.

observe el fenómeno, así parecerá más ó menos retrasada la completa desaparición del punto luminoso; observación que, si bien en sentido inverso, cabe hacer con respecto á las emersiones de los satélites. Otra causa de incertidumbre, y la más importante por cierto, es la que procede del valor que se adopte para la paralaje solar.

II

LA ABERRACION.—VELOCIDAD DE LA LUZ COMPARADA CON LA DE LA TIERRA

En 1675, Rømer vió que la luz necesitaba cierto espacio de tiempo para llegar á mayor ó menor distancia y calculaba aproximadamente, si no la velocidad absoluta de esta transmisión, por lo ménos la que emplea un rayo luminoso para recorrer de punta á punta el diámetro de la órbita terrestre. A los cincuenta años de este memorable descubrimiento, esto es, en 1725, el astrónomo inglés Bradley halló en un fenómeno celeste mucho más general que los eclipses la confirmación de los resultados obtenidos por Rømer. La aberración es en efecto una consecuencia inmediata de la velocidad de la luz combinada con la de traslación de la Tierra alrededor del Sol.

Así como Rømer, al emprender el estudio de los satélites de Júpiter, no pensaba en el problema de la transmisión de la luz, tampoco Bradley, al dedicarse á medir las insignificantes desviaciones de algunas estrellas zenitales, tenía en mientes la importante consecuencia que dedujo de sus observaciones. Proponíase averiguar si estas estrellas tenían una paralaje sensible, es decir, si por la sola circunstancia de la traslación anual de la Tierra, sufren el cambio de posición aparente que indica la geometría y que depende inmediatamente del movimiento de la Tierra y de la distancia de la estrella á nuestro sistema. Aprovechando Bradley la instalación reciente, hecha por Molyneux en el observatorio de Kew, de un excelente instrumento construido por Graham con este objeto especial, observó la estrella *gamma* de la constelación del Dragón durante el mes de diciembre de 1725, y muy en breve reconoció que esta estrella tenía un movimiento hácia el Sur, movimiento cuya explicación no podía atribuir á los errores de los instrumentos ni á la incertidumbre de las

observaciones. Además, este movimiento era precisamente en sentido contrario al que habría debido dar la paralaje, y que continuó hasta marzo, en cuyo mes llegó á $20''$, cantidad que representaba la distancia á que la estrella se había alejado del polo durante aquellos tres meses. El astro prosiguió entonces su marcha hácia el Norte, y en junio volvió á hallarse en el punto de partida de diciembre. En setiembre estaba $20''$ más al Norte, luego volvió al Sur para recobrar por segunda vez en diciembre su posición primitiva. Bradley no pudo explicarse estas oscilaciones, ni apelando á la hipótesis de una nutación del eje de la Tierra, ni á la refracción atmosférica. Por último, ocurriósele la idea de ver si dichos fenómenos tendrían por causa la velocidad con que los rayos de luz llegan hasta el observador, que á su vez va transportado en el espacio por el globo en que está situado con velocidad mucho menor por cierto que la de los rayos luminosos. Tal es en efecto la verdadera razón del fenómeno descubierto por Bradley, fenómeno que muy luego conoció ser común á todas las estrellas y al que el ilustre astrónomo inglés dió el nombre de aberración.

Sea BT la posición del eje del anteojo en el momento en que el observador contempla el astro. Este eje indica la dirección aparente de los rayos luminosos, de suerte que á la estrella se la ve en e en la bóveda celeste. Mientras el rayo luminoso ha recorrido la longitud BT , la Tierra se ha trasladado á su vez de B á C , y con ella el anteojo lo propio que el observador. La verdadera marcha seguida por el rayo es la línea TC , que desde entonces representa en realidad la dirección de los rayos emanados de la estrella. La posición efectiva de ésta en la bóveda celeste es por consiguiente E ; allí se vería la estrella si la Tierra estuviese inmóvil. En una palabra, la dirección aparente no es otra cosa sino la de la resultante de los dos movimientos de la luz por una parte, y de la Tierra por otra; es la diagonal del paralelogramo formado por dos líneas proporcionales á las dos velocidades y trazadas en las direcciones de los dos movimientos. Así pues, las velocidades simultáneas de la luz y de la Tierra deben causar y causan en efecto una desviación en la dirección de los rayos luminosos emanados de un punto que no participa del movimiento de

nuestro globo. Esta desviación, á sea el ángulo ETe , es la que constituye la aberración, hecha evidente por Bradley al observar las estrellas zenitales. La velocidad de la luz es constante; la de la Tierra varía en muy reducidos límites.

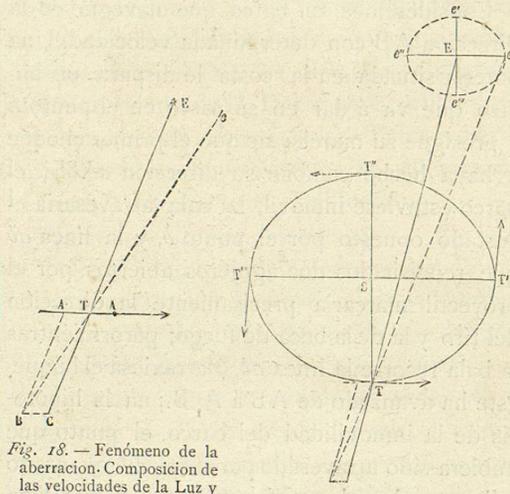


Fig. 18.—Fenómeno de la aberración. Composición de las velocidades de la Luz y de la Tierra

Fig. 19.—Aberración anual

Los lados BC y CT del triángulo no cambian, pero no sucede lo propio con el ángulo que forman entre sí, á no ser que se considere una estrella situada en el polo de la eclíptica ó á corta distancia de él. En e (fig. 19) se verá otra estrella semejante E cuando la Tierra está en T de su órbita, y en e' , e'' , e''' , cuando ocupa sucesivamente las posiciones T' , T'' , T''' . En una palabra la estrella está siempre más adelante de su posición real del ángulo de aberración, de suerte que en un año parece trazar un círculo paralelo á la órbita terrestre, con la particularidad de que siempre parece 90° adelantada á la Tierra. El ángulo de aberración maximum es algo mayor de 20° . Las últimas mediciones, hechas por Otto Struve, dan $20'',445$, de suerte que el diámetro del círculo es de $40'',89$. En cuanto á las estrellas situadas fuera del polo de la eclíptica, resulta que describen anualmente elipses cuyo eje mayor, paralelo á la eclíptica, tiene también $40'',89$, y el menor disminuye con la latitud de la estrella. Estas elipses se reducen en el plano de la eclíptica á líneas rectas, y cuando la Tierra está en uno ú otro extremo del diámetro que va á parar á la estrella, el ángulo de aberración es nulo, lo cual se comprende, porque entonces la dirección del movimiento de la Tierra es precisamente opuesta á la de los rayos luminosos, ó bien coincide con ella.

Para que se comprenda bien el fenómeno de la aberración de la luz y su causa, vamos a demostrar la analogía que hay entre él y los hechos que pueden observarse fácilmente en la superficie de la Tierra.

Consideremos un barco que navegue en la dirección AB con determinada velocidad. Una batería situada en la costa le dispara un balazo que va a dar en su casco en el punto *a* y prosigue su marcha sin que el primer choque le haya hecho cambiar su dirección *ab*. Si el barco estuviese inmóvil, la bala atravesaría el costado opuesto por el punto *b*, y la línea *ab* que reuniría los dos agujeros abiertos por el proyectil marcaría precisamente la dirección del tiro y la de la boca de fuego; pero mientras la bala recorre la línea *ab*, ó atraviesa el buque, este ha avanzado de AB a *A₁B₁*; en la hipótesis de la inmovilidad del barco, el punto que hubiera sido atravesado por la bala ha avanzado a *b'* y esta abre el costado por un punto que dista del primero *bb'*. En lugar de la dirección *ba* que es la verdadera, el observador situado en el buque juzgará de la dirección del tiro por la línea *ba* y le parecerá que la bala procede del punto *c*. La desviación *aba* tiene por causa la combinación de las velocidades del proyectil y del barco: es un efecto de la aberración. Si la bala hubiese llegado por la proa ó por la popa de la embarcación, en la dirección misma de su marcha, la desviación sería nula ó no dudarlo.

Desde un tren en marcha podemos observar un fenómeno parecido cuando examinamos las gotas de lluvia. Supongamos, para mayor sencillez, que la lluvia cae verticalmente: si el wagon está parado, el viajero verá cómo caen las gotas en una dirección paralela á la de los bordes de la ventanilla, como así es en efecto. Mas tan luego como el tren echa á andar, la apariencia cambia; parece que la lluvia cae oblicuamente, como si la empujase un viento procedente del punto del horizonte hácia el cual marcha el tren, y la oblicuidad de las gotas será tanto mayor cuanto más de prisa corra el tren. Fácilmente se comprende que una gota *a* que habría caído siguiendo la línea *ab*, paralela al lado de la portezuela, caiga en efecto en el espacio siguiendo dicha línea, pero al llegar á la parte inferior de su carrera, el wagon y la portezuela han avanzado de A á B y la gota

cae en el punto *b* de esta última, de suerte que al viajero le ha parecido que seguía la línea *a'b*.

Un transeunte que estuviese parado resguardándose con su paraguas de la lluvia que cae verticalmente, no recibiría una sola gota; pero si anda algo de prisa en cualquier dirección,

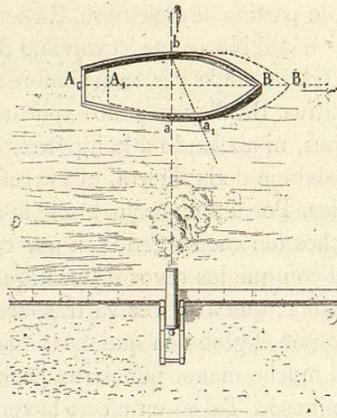


Fig. 20.—Desviación aparente de un proyectil que toca a un buque en marcha

se mojará y creará recibir la lluvia oblicuamente, en sentido opuesto al de la dirección que sigue. Si se supone que recorre así toda una circunferencia de círculo, la lluvia le azotará el rostro como si cayera sucesivamente de todos los puntos del horizonte. Este es un fenómeno análogo por todos conceptos al de la aberración de la luz, y cuyos maximums y minimums variarían del propio modo si se supusiera que la lluvia, en lugar de caer verticalmente, tomaba en realidad todas las direcciones posibles de oblicuidad al horizonte. La Tierra recibe en todo tiempo y en todas direcciones rayos de luz emanados de todos los puntos de la bóveda celeste: es una lluvia continua de moléculas, ó si se prefiere, de ondas luminosas.

La aberración es un fenómeno común á todos los astros, lo mismo al sol que á las estrellas y planetas. Así pues, para conocer la posición verdadera de estos cuerpos deben tener en cuenta los astrónomos, entre otras correcciones, las alteraciones que resultan para las coordenadas á las cuales suelen referir dichas posiciones, ascensiones rectas y declinaciones, longitudes y latitudes.

Puesto que la aberración depende á la vez de la velocidad de la luz y de la del observador,

es decir, del globo en que éste se halla, resulta de aquí que además de la aberración relativa al movimiento de traslación de la Tierra, hay también una desviación análoga debida al movimiento de rotación. Pero este movimiento es mucho más rápido que el primero, puesto que en el ecuador, en que su velocidad llega al

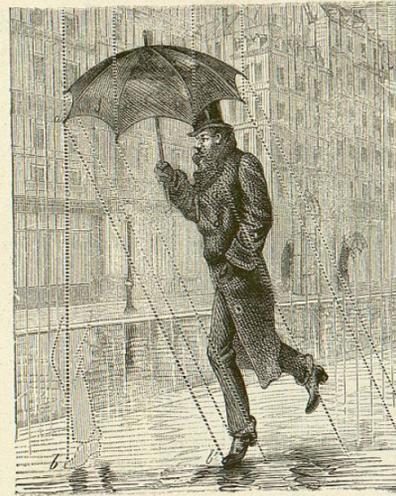


Fig. 21.—Fenómeno análogo á la aberración

maximum, no excede ni siquiera llega á 500 metros por segundo, esto es, apenas equivale á la 650,000.^a parte de la velocidad de la luz.

Por último, hay otra causa que debe intervenir forzosamente en el fenómeno de la aberración para modificar su valor, y que no parece despreciable. Al discutir los astrónomos el conjunto de los movimientos propios de las estrellas, han reconocido que el sistema solar entero avanza por el espacio, y que el Sol, arrastrando consigo los planetas, sus satélites y los cometas del sistema, tiene un movimiento de progresión hácia un punto del cielo situado en la constelación de Hércules. Siendo así, la Tierra debe tener, además de la velocidad de sus dos movimientos de rotación y de traslación, otro de avance paralelo al de todo el sistema (1). Por consiguiente se averiguará cuál es el movimiento absoluto de un observador situado en su superficie buscando la resultante de estos tres

(1) Según las investigaciones de M. Struve, la velocidad de traslación del sistema solar en dirección de la constelación de Hércules es igual á unos 7,6 kilómetros por segundo. Es la cuarta parte de la velocidad media de la Tierra alrededor del Sol, y por consiguiente la 40,600.^a de la velocidad de la luz.

movimientos. La aberración de una estrella, tal cual ha sido calculada teniendo en cuenta solamente los dos primeros (ó mejor dicho tan sólo el movimiento de traslación, por hacerse poco aprecio del de rotación), debe variar en las diferentes épocas del año; las máxima ó mínima de estas variaciones dependerán de la situación de las estrellas y de las direcciones relativas del movimiento de la Tierra en su órbita y del de traslación del sistema solar. Falta saber si la observación confirma estas consideraciones teóricas, cuya exactitud es evidente.

Hemos visto que el método empleado por Rømer para medir la velocidad de la luz no la da en su magnitud absoluta, sino que tan sólo permite calcular el tiempo que invierte una onda luminosa en atravesar el radio de la órbita de la Tierra. Para deducir el camino recorrido en un segundo, es preciso conocer este radio y haber medido la distancia de la Tierra al Sol, ó si se quiere, conocer la paralaje de este último astro. En tiempo de Rømer no se había medido este elemento, por lo menos con alguna precisión; lo ha sido después, siquiera subsistan algunas incertidumbres sobre las últimas cifras que lo representan. Pero lo que sí se ha podido calcular es la relación de la velocidad de la luz con la de la Tierra, habiéndose visto que la primera es igual á 10,190 veces la segunda.

La medida del ángulo de aberración conduce también fácilmente al cálculo de la misma relación, y adoptando las cifras deducidas por Otto Struve, resulta que la velocidad de la luz es igual á 10,100 veces la de la Tierra.

En ciertas ocasiones se confunde con la aberración un fenómeno de desviación distinto de ella, por cuanto proviene, no del movimiento del observador, sino por el contrario, del del astro observado y de su distancia, al paso que la aberración es independiente de la distancia del astro del que emana la luz. Véase cuál es dicho fenómeno:

Consideremos un planeta. En el momento en que el astrónomo lo ve en el foco de su anteojo, nota una posición aparente que debe corregirse de la aberración para conocer la posición verdadera, ó con más exactitud, para tener la dirección verdadera del rayo luminoso emanado de él. Pero este rayo ha salido del