

la turbina; si arreglando la salida del aire se mantiene la fijeza aparente de los dientes, se podrá tener por seguro que el espejo da efectivamente  $n$  vueltas por segundo.»

Operando en una distancia total de 20 metros, é imprimiendo al espejo giratorio una velocidad de 400 metros por segundo, Leon Foucault obtuvo en 1862 la cifra de 298,000 kilómetros por segundo como velocidad de la luz en el aire.

El sabio americano M. A. Michelson hizo en 1879 una serie de experimentos, modificando el método de Leon Foucault, obteniendo como medida de la velocidad de la luz 299,940 kilómetros por segundo.

## V

VELOCIDAD DE LA LUZ.—COMPARACION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR VARIOS MÉTODOS.

De los cálculos de Delambre resultó que la luz invierte 493 segundos en recorrer el radio medio de la órbita de la Tierra. Para deducir pues la velocidad real de la luz, por ejemplo, el número de kilómetros que cruza en un segundo, es preciso conocer el valor numérico de dicho radio, la distancia media del Sol á la Tierra, ó, si se prefiere, la paralaje del Sol.

Suponíase esta paralaje igual á  $8''$ ,57, número deducido por el astrónomo Eulero de la discusión de las observaciones de los pasos de Vénus á mediados del siglo último. Posteriormente se han hecho nuevas investigaciones que han inducido á considerar sobrado escaso este valor, el cual se supone ahora en  $8''$ ,86.

El primer valor de la paralaje solar nos da, para la velocidad de la luz, unos 310,000 kilómetros por segundo, cifra que difiere un tanto de la que dedujo M. Fizeau de sus primeros experimentos. Si por el contrario se adopta la paralaje de  $8''$ ,86, dicha velocidad queda reducida á 299,000 kilómetros, que es, poco más ó menos, el resultado obtenido en 1862 por M. Leon Foucault y en 1873 por M. Cornu. También difiere muy poco del que este último físico obtuvo en 1875.

Partiendo de la constante de la aberración, que según los últimos trabajos de Struve es igual á  $20''$ ,445, se puede averiguar también la velocidad absoluta de la luz. Pero, así como al

tratarse de los satélites de Júpiter, es preciso suponer conocida la paralaje solar. La de  $8''$ ,57 da 308,000 kilómetros, y la de  $8''$ ,86, 297,600.

Claro está que se podría resolver el problema en sentido inverso, es decir, tomando por punto de partida la velocidad absoluta de la luz medida directamente en la superficie de la Tierra, ya por el método de Fizeau ó bien por el de Foucault, y basándose luego en los datos astronómicos de la ecuación de la luz (calculada por Delambre) ó de la aberración (calculada por Struve), deducir por el cálculo el valor de la paralaje solar.

¿Hasta qué punto y con cuánta aproximación se han resuelto tan interesantes problemas? No nos incumbe decirlo; pero las cifras consignadas demuestran que no distaremos mucho de la verdad considerando la velocidad de la luz igual á 300,000 kilómetros por segundo, número que corresponde á la paralaje  $8''$ ,81.

Adoptemos interinamente los 300,000 kilómetros, y comparemos esta velocidad con las de varios cuerpos y agentes físicos.

El sonido se propaga con una velocidad de  $330^m$ ,7 en el aire á  $0^\circ$ , y de  $1,435^m$  en el agua á  $15^\circ$ ; por consiguiente la luz se mueve 910,000 veces más de prisa que el sonido en el aire, y 209,000 más que éste en el agua. Una bala de cañón de 12 kilogramos, disparada con una carga de pólvora de 6 kilogramos, recorre 500 metros en el primer segundo, velocidad 600,000 veces menor que la de la luz. A causa del movimiento de rotación de la Tierra, un punto del ecuador avanza 465 metros de oeste á este en un segundo; la luz tiene un movimiento de propagación 645,000 veces más rápido, y por último se mueve 10,186 veces más de prisa que nuestro mismo planeta, el cual recorre por término medio 29,45 kilómetros por segundo sobre su órbita.

Únicamente la velocidad de propagación de la electricidad es comparable con la de la luz, sólo que aún no se ha determinado, ni con mucho, con la misma precisión, lo cual consiste en las variables condiciones del movimiento en los cuerpos conductores. Por ejemplo Wheatstone calculó que la velocidad de la electricidad en un alambre de cobre era de 420,000 kilómetros: M. M. Fizeau y Gounelle la calcularon

en 1.800,000; Walker y Mitchel obtuvieron 30,000 y 45,000 como medida de la velocidad de la electricidad en los alambres de hierro de los telégrafos americanos. En otras condiciones, esta velocidad puede ser menor de lo que indican las últimas cifras.

La excesiva rapidez de la propagación de la luz ha hecho que se escoja por unidad de las distancias sidéreas el espacio enorme que re-

corre la luz en un año, espacio que no baja de 9.500,000,000,000 de kilómetros. Así, cuando los astrónomos quieren expresar la distancia que separa las estrellas de nuestro planeta, dicen que la luz invierte *tantos años* en recorrer esta distancia. Por ejemplo, la estrella *alfa* del Centauro dista de nosotros tres años y medio de luz; Sirio, veintinueve años; la Cabra, setenta. Desde las estrellas más pequeñas visibles á la simple

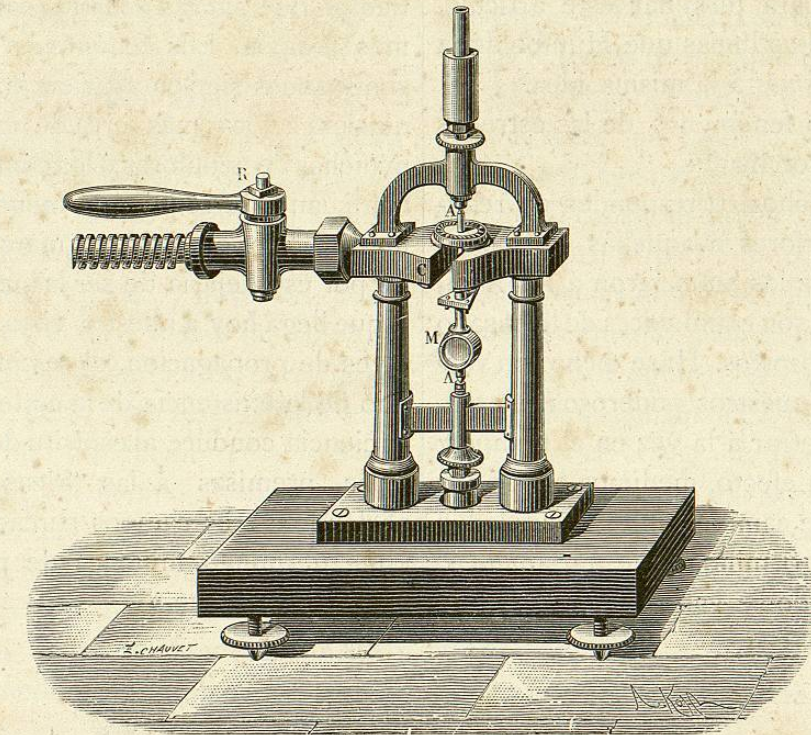


Fig. 25.—Turbina que imprime el movimiento al espejo

vista, la luz tarda 225 años en llegar hasta nosotros y emplea cerca de 600 para cruzar la distancia que nos separa de una estrella de novena magnitud.

Del hecho de que la luz no se propaga instantáneamente resulta una consecuencia muy sencilla, y es que para llegar hasta nosotros necesita tanto más tiempo cuanto más remoto se halla el foco de donde emana, por cuya causa jamás vemos el cielo tal cual en sí es.

En el momento en que fijamos la mirada en una región sembrada de estrellas, las diferentes ondas luminosas que, hiriendo nuestra retina, nos producen otras tantas sensaciones distintas pareciendo que nos atestiguan la existencia actual de las estrellas de que emanan, son efectivamente mensajeros partidos de esos apartados mundos, pero mensajeros que han salido de ellos há ya mucho tiempo, años, siglos, millares

de años quizás. Las noticias que nos traen pertenecen á un tiempo pasado y nos informan, no del estado en que se encuentran las estrellas observadas, sino del que tenían al partir cada una de las ondas luminosas. Por esta razón ha podido decir Arago:

«El aspecto del cielo en un momento dado nos refiere, por decirlo así, la historia antigua de los astros;» y por la misma causa hemos dicho en otra obra:

«No vemos el cielo *tal como es*, sino como era; pero no como era en una época, sino en muchas épocas á la vez, en una infinidad de épocas dadas; de suerte que cada estrella podría anotarse con una fecha particular de la historia del cielo. Aquí, presenciarnos el espectáculo de una nebulosa contemporánea de la época de Homero; allá, ese sol nos envía destellos que datan del tiempo de Pericles; la luz de la



Cabra está en marcha desde nuestra gran epopeya revolucionaria de 1792 (esto lo escribíamos en 1862; hoy deberíamos decir desde los primeros años del siglo XIX), y así hasta lo infinito. ¡Espectáculo extraño, que abisma el pensamiento en la rareza de un hecho en el cual se confunden á la vez, sin contradicción para la razón, los tiempos y las distancias!»

Es tal la importancia filosófica de un caso que parece tan nuevo cuando se piensa en él por vez primera, que para terminar este artículo, citaremos las discretas líneas que Humboldt ha dedicado en su *Cosmos* á la misma idea.

Al hablar de los fenómenos de las estrellas efímeras, dicho autor añade:

«Todos estos hechos corresponden en realidad á épocas anteriores á aquellas en que los fenómenos de la luz los anunciaron á los habitantes de la Tierra; son como voces de lo pasado que llegan hasta nosotros. Háse dicho con verdad que, gracias á nuestros poderosos telescopios, podemos penetrar á la vez en el tiempo y en el espacio. Y en efecto, medimos el uno por el otro: una hora de camino equivale para la luz á un trayecto de 110 millones de miriámetros. Al paso que Hesiodo se valía en su *Teogonía*

de la caída de los cuerpos para representar las dimensiones del universo («nueve días y nueve noches tardó en caer el yunque de bronce desde el cielo á la tierra»), Herschel estimaba que la luz emitida por las últimas nebulosas visibles todavía en su telescopio de 40 piés debia invertir cerca de dos millones de años en llegar hasta nosotros. Así es que muchos fenómenos deben haber desaparecido largo tiempo ántes de que hayamos podido percibirlos; y há ya mucho tiempo que habrán ocurrido cambios que no vemos todavía. Los fenómenos celestes no son simultáneos sino en apariencia, y áun cuando se quisiera colocar más cerca de nosotros las tenues manchas de nebulosas ó los cúmulos de estrellas, áun cuando se redujera á menor número el número de años que miden y marcan sus distancias, no por eso dejaría de ser la luz que han emitido y que llega hoy á nuestra vista, en virtud de las leyes de propagación, el testimonio más antiguo de la existencia de la materia. Así es como la ciencia conduce al espíritu desde las más sencillas premisas á las ideas más elevadas, abriéndole esos campos surcados por la luz en «que germinan millones de mundos como la yerba de la noche.»

## CAPÍTULO IV

### REFLEXION DE LA LUZ

#### I

##### CONDICIONES DE VISIBILIDAD DE LOS CUERPOS—FOCOS LUMINOSOS DIRECTOS

¿Cuáles son las condiciones exteriores de visibilidad de los cuerpos?

Consideremos ante todo un foco luminoso propiamente dicho. Si el medio interpuesto entre este foco y la vista es trasparente y además homogéneo, puede decirse que la visibilidad es directa; y en efecto, el haz luminoso emanado de cada punto del foco sigue en este caso una línea recta. Esto resulta de la propagación rectilínea de la luz, en la hipótesis de

que el medio atravesado por ella sea homogéneo. Reconstruyendo geoméricamente las líneas rectas divergentes que constituyen los varios haces, se volvería á encontrar en su punto de convergencia el punto luminoso mismo.

Pero en breve veremos que no sucede lo propio cuando el espacio comprendido entre el ojo y el foco de luz está ocupado por uno ó muchos medios diferentes, aunque separadamente homogéneos. El camino seguido por cada haz es siempre rectilíneo en cada medio, mas por lo general sufre cierta desviación al pasar de uno á otro: el curso total, compuesto de una serie de líneas rectas, es entonces una línea mixta, cuyo

último elemento marcará la dirección en que el ojo verá el punto luminoso. La imagen del foco resulta pues situada de distinto modo que cuando sólo hay un medio trasparente; habrá sufrido una desviación, y á este fenómeno es al que se da el nombre de *refracción de la luz*.

Aquí suponemos que los medios atravesados por la luz están dotados de transparencia absoluta, en cuya hipótesis únicamente es visible el foco, pues el ojo no percibe la materia ó sustancia de que se compone el medio, y ni esta es siquiera visible.

Mas en realidad, y según dejamos dicho, la transparencia absoluta no existe en la naturaleza, ó á lo sumo se la puede suponer en los espacios interplanetarios que no son inmediatamente accesibles á la observación. Los medios que conocemos, sólidos, líquidos y gaseosos, como el cristal, el agua y el aire, tienen tan sólo una transparencia relativa: absorben en parte la luz que los atraviesa, de lo cual resulta para ellos una iluminación más ó menos intensa, que crece con su espesor, y á menudo también cierto tono ó coloración, que siendo perceptible para nuestra vista, nos los hace visibles. La luz recibida de esta suerte, y que debemos distinguir de la que hace visible al foco, se llama luz transmitida. El medio percibido es visible por transparencia: de los que se hallan dotados de esta condición en mayor grado se pasa á los traslúcidos y luego á los cuerpos ó medios opacos, por grados insensibles, por decirlo así. La luz de un foco se difunde así cada vez más por el interior del medio, de suerte que aquel acaba por no ser ya visible, al paso que los diferentes puntos del medio penetrados por su luz son, por el contrario, los únicos que la vista percibe. Por tal manera se llega á la opacidad tan luego como la absorción es completa, ó por lo menos desde que la intensidad de la luz transmitida es bastante débil para no causar impresión apreciable en el ojo.

Tales son las condiciones de visibilidad de un foco luminoso, es decir, de un cuerpo que es luminoso por sí mismo, ó bien por incandescencia ó de otro modo cualquiera. Veamos ahora lo que son respecto de los cuerpos que no son focos propiamente dichos.

En este caso, los cuerpos no son visibles sino cuando están iluminados, es decir, cuando su

superficie recibe cierta cantidad de luz de cualquier foco. La observación demuestra entonces que según la naturaleza del cuerpo y el estado de su superficie, una parte mayor ó menor de la luz recibida vuelve al medio del que emana, después de sufrir cierta desviación en su dirección primitiva. Esta variación de curso, este retroceso de los rayos luminosos sobre sí mismos ó siguiendo direcciones inmediatas, pero en el mismo medio del que habían partido, es lo que constituye el fenómeno de la *reflexión de la luz*.

Presentemos un ejemplo familiar. Pongamos una hoja de papel blanco y mate á la luz del día, ó á la de una lámpara ó una bujía, y veremos desde luego todos los puntos de la superficie del papel, cada uno de los cuales resultará iluminado, ó en otros términos, hará para nuestra vista las veces de un foco luminoso; si la masa de aire ó el medio diáfano que separa el papel del ojo es homogéneo, la marcha de los rayos luminosos que emanan del punto será rectilínea, lo propio que la seguida por el haz que, desde el foco, ha venido á dar en dicho punto. Apartando un poco la vista, se sigue viendo el punto de la misma manera; luego irradia en todos sentidos, y la única diferencia que se advierte es un cambio de intensidad que depende de la inclinación de la superficie con respecto á la línea recta que sigue la luz enviada al ojo.

Sustituyamos ahora la hoja de papel por cualquier otro objeto, pero de superficie mate también, es decir, que no sea brillante ni tersa. Este objeto será visible del propio modo. El color, la intensidad de la luz podrán variar considerablemente, pero con la circunstancia característica de que la luz estará siempre reflejada por cada punto en el medio diáfano circundante, y esto en todas las direcciones posibles. El ojo, situado en cualquier posición, seguirá viendo cada punto de la superficie del cuerpo, con tal de que no se interponga ningún obstáculo opaco en el trayecto rectilíneo de los rayos reflejados.

La luz reflejada de esta suerte por los cuerpos mates, rugosos, de superficie irregular, adquiere más particularmente el nombre de *luz difusa*.

Pero las cosas sucederán de distinto modo si ponemos delante del foco de luz, no ya una superficie mate, sino otra bruñida, una placa metálica, ó si se quiere la superficie de