

luz produzca la refraccion de los rayos luminosos,» al paso que «las mismas moléculas parecen rechazadas por el cuerpo reflector, en lugar de ser atraídas por él.»

De aquí la necesidad de formular una nueva hipótesis, que por lo demás le sugirió á Newton la necesidad de explicar otros fenómenos, los de los anillos coloreados en las láminas ténues, fenómeno que en breve describiremos.

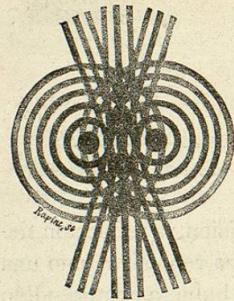


Fig. 135.—Experimento de difracción. Franjas oscuras y franjas brillantes producidas por un sistema de dos pequeñas aberturas circulares.

Esta hipótesis es la de los *accesos de fácil trasmision* y de los *accesos de fácil reflexión*, y consiste en que toda molécula luminosa se halla durante el curso de su propagacion en disposiciones alternativas y periódicas. A cada reproduccion ó renovacion de una de estas disposiciones, la molécula puede ser *fácilmente transmitida*; y en cada intervalo se encuentra por el contrario en disposicion de ser *fácilmente reflejada* (1).

Los partidarios de la teoría de la emision y áun el mismo Newton no han llegado á aclarar de una manera positiva en qué consisten estas disposiciones singulares que hacen que tan pronto sea la fuerza repulsiva como la atractiva la que actúa sobre las moléculas luminosas en el momento en que entran en la esfera de actividad de estas fuerzas opuestas. Por lo demás, no es este el lugar oportuno de exponer íntegramente una teoría que hasta mediados del siglo actual ha tenido partidarios ilustres y que ha bastado largo tiempo para explicar todos los fenómenos de la luz. La teoría de las ondulaciones ha prevalecido definitivamente, habiéndola erigido los magníficos trabajos de nuestro gran Fresnel sobre la sólida base del cálculo, cimentada á su vez en comprobaciones prácticas.

(1) Hé aquí la definicion dada por Newton en su *Tratado de óptica*: «Llamaré accesos de fácil reflexión á las renovaciones de la disposicion de un rayo cualquiera á ser reflejado, del propio modo que daré el nombre de *accesos de fácil trasmision* á las renovaciones de su aptitud para ser transmitido, y al espacio que media entre cada renovacion y la siguiente, *intervalo de los accesos*.»

III

TEORÍA DE LAS ONDULACIONES

Por lo general se hace remontar hasta Descartes el origen del sistema de las ondulaciones. Verdet, en sus *Lecciones de óptica*, combate este aserto, al que ha prestado Eulero la autoridad de su crédito, pero que sin duda es erróneo. El único punto comun entre la teoría de las ondas y la de Descartes es la hipótesis de un medio que trasmite la luz; mas para él este medio es el *lleno absoluto*. Verdad es que considera la luz como efecto de cierto movimiento vibratorio de las partículas de los cuerpos; pero este movimiento no es trasmitido por ondas sucesivas, sino que para Descartes es el origen de un impulso que se comunica á cualquier distancia sin ningun intervalo de tiempo.

Aun cuando se advierte algun indicio de la teoría de las ondulaciones en los escritos de Leonardo de Vinci, de Galileo y en una obra de Ango, en realidad le cabe á Huygens el honor de haberla fundado verdaderamente. Eulero, Tomás Young y últimamente Fresnel han completado las apreciaciones de Huygens y fundado sobre bases inquebrantables la verdadera teoría de la luz. Procuremos dar una idea de ella.

El primer principio en que se basa es la existencia en todo el espacio, lo mismo en lo que se llama el vacío interplanetario ó intersidéreo, que entre las moléculas de todos los cuerpos, de un flúido eminentemente elástico que ha recibido el nombre de *éter*. El éter está difundido con uniformidad absoluta en el vacío de toda materia ponderable, de suerte que su densidad en él es constante, y su elasticidad la misma en todos sentidos. Por el contrario, en los medios ponderables, es decir, en los cuerpos sólidos, líquidos ó gaseosos, es posible que la densidad del éter sea distinta de la que posee en el vacío; pero no por eso deja de ser constante, lo propio que su elasticidad, si dichos cuerpos son homogéneos y no cristalizados. En los cristales cuya forma primitiva no es un poliedro regular, la elasticidad varia segun la direccion.

Los manantiales luminosos son cuerpos cuyas moléculas se hallan animadas (en condiciones especiales, como cierto grado de temperatura,

combinaciones químicas, etc.) de movimientos vibratorios periódicos de excesiva rapidez. Estas vibraciones se comunican al éter y se propagan por él en forma de ondas que son esféricas en el vacío ó en los medios homogéneos no cristalizados, pero que pueden tener otras formas, ser verbigracia elipsoidales, en los medios en que la elasticidad del éter varia con la direccion, como en ciertos cristales.

Miéntas una molécula de éter efectúa una oscilacion completa correspondiente á la vibracion de origen, su movimiento oscilatorio se comunica sucesivamente á una fila de moléculas semejantes situadas en la direccion de un radio de la esfera. El tiempo necesario para la ida y la vuelta de la molécula etérea es la *duracion de la vibracion*, y la distancia á que se ha propagado durante este tiempo, es decir, la distancia entre dos moléculas animadas de la misma velocidad de oscilacion y en la misma fase oscilatoria es lo que se llama longitud de oscilacion ó *longitud de onda*. Por último, la *superficie de la onda* es el conjunto de los puntos en que ocurre en un mismo instante la conmocion luminosa; superficie que es esférica cuando el éter tiene igual elasticidad en todos sentidos en el medio en que la luz se propaga; á gran distancia del foco, claro está que la superficie de la onda se puede considerar como plana.

Las ondas luminosas y las ondas sonoras presentan, bajo ciertos puntos de vista, analogías que se adivinan fácilmente una vez conocidas las definiciones anteriores; unas y otras son efecto de las vibraciones de las moléculas de los orígenes de la conmocion, y como estas vibraciones son isócronas, las ondas lo son tambien cuando proceden de un sonido ó de una luz simple. La onda sonora se propaga uniformemente, como las luminosas. Las vibraciones sonoras más ó menos rápidas producen sonidos cuyo timbre musical crece á la par del número de ondas que llegan al oido en un mismo intervalo de un segundo. Así tambien, hay ondas luminosas cuyo período difiere en duracion; las más largas ó más lentas corresponden á la parte menos refrangible del espectro ó á los rayos rojos, y cuando cobran mayor rapidez, ó se van acortando, el color de la luz producida cambia, pasa del rojo al amarillo, al verde, al azul y al morado, pasando por todos

los matices de la faja coloreada que da el análisis prismático de la luz blanca. Así pues, los colores sucesivos vienen á ser los *tonos* de la luz.

Pero si son muchas las analogías que existen

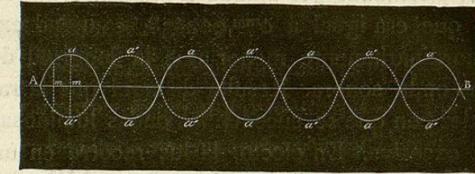


Fig. 136.—Interferencia de las ondas luminosas

entre el sonido y la luz, entre las ondas sonoras y las luminosas, no por eso dejan de ser bastante grandes las diferencias y algunas de ellas de capitalísima importancia teóricamente consideradas.

En primer lugar, el medio en que se propaga el sonido, debe ser siempre un medio ponderable, gaseoso, sólido ó líquido. Las ondas de la luz, por el contrario, nacen y se propagan por el vacío de toda materia ponderable, y cuando penetran en los cuerpos, siempre es el mismo medio elástico más ó menos condensado, el éter, el que las constituye con las oscilaciones periódicas de sus moléculas.

La velocidad de propagacion, uniforme y constante, con la cual se trasmite una conmocion por un medio elástico depende, como lo prueba la teoría, de la relacion que existe entre la elasticidad del medio y su densidad. En el aire se propagan las ondas sonoras con una velocidad de unos 340 metros por segundo. En el éter del vacío hemos visto que las ondas luminosas recorren, en el mismo espacio de tiempo, 300 millones de metros, distancia casi 900,000 veces tan grande como la primera. De donde resulta que la elasticidad del éter es extraordinaria y su densidad sumamente escasa, ó tambien que uno y otro elemento son á la vez, el primero considerable y el segundo muy débil.

Conociendo la velocidad del sonido y el número de vibraciones de un sonido dado en un segundo, fácilmente se deduce la longitud de la onda sonora correspondiente; es poco más ó menos 0m,4 para el *la* del diapason. Ya veremos que se ha procedido de distinto modo con respecto á las ondas luminosas. Como son demasiado rápidas para que se pueda contar su

número y no hay medio alguno de poder inscribirlas, se ha determinado su longitud. Fresnel ha hecho experimentos que le han permitido calcular la longitud de ondulacion de la luz roja homogénea que atraviesa un cristal de color, y tomando por unidad el milímetro, ha visto que era igual á 0^{mm},000638, cantidad extraordinariamente menor que la longitud de una onda sonora. Resulta de aquí que la rapidez con que se suceden las ondas luminosas es excesiva. En efecto, la luz recorre en un segundo 300 millones de metros; por consiguiente la luz roja de que acabamos de hablar era producto de vibraciones que se sucedían en un segundo tantas veces como el número 0^{mm},000638 está contenido en 300 millones, ó sea 470 billones.

Hemos dicho que las longitudes de onda varían con el color ó con la refrangibilidad de la luz. Lo propio sucede con los números de vibraciones correspondientes, efectuadas por las moléculas de los focos luminosos ó por las del éter. El cuadro siguiente se refiere á los colores principales del espectro de la luz solar:

COLORES PRINCIPALES	Longitudes de onda en millonésimas de milímetro.	Número de vibraciones en billones.
Morado extremo.	406	739
Morado.	423	709
Morado añil.	439	683
Añil.	449	668
Añil azul.	459	654
Azul.	475	631
Azul verde.	492	610
Verde.	512	586
Verde amarillo.	532	564
Amarillo.	551	544
Amarillo anaranjado.	571	525
Anaranjado.	583	514
Anaranjado rojo.	596	504
Rojo.	620	484
Rojo extremo.	645	465

El valor medio de la longitud de una onda luminosa apenas excede de la mitad de un milésimo de milímetro, de suerte que en el espacio de un metro hay por lo ménos dos millones de ondulaciones. En cuanto á formarse una idea del número prodigioso de ondas que se suceden en un sólo segundo, número que asciende á 600,000 billones, es cosa superior al alcance de nuestra imaginacion. Pero no debemos olvidar que todas las magnitudes y dimensiones con las que estamos familiarizados, distancias, velocidades, tiempos, son puramente relativas; en el dominio de lo real, es también fácil concebir de este modo lo que nos parece infinitamente grande. Tanto en la teoría de las ondulaciones como en la de la emision, las cifras que sirven para medir los elementos constitutivos de la luz, son igualmente considerables. Lo que ha permitido decidir entre ambas teorías, es que todas las dificultades que resultan de la adopcion de una ú otra se han allanado respecto de la primera, al paso que los partidarios de la emision tenían forzosamente que ir acumulando hipótesis para explicar los hechos nuevos á medida que se presentaban. Estas hipótesis, muy ingeniosas con frecuencia, han sido insuficientes en ciertos casos, y hasta han tropezado con contradicciones formales de la experiencia. Por el contrario, la teoría de las ondulaciones ha resultado bastante fecunda para proporcionar de antemano indicaciones de nuevas verdades, consecuencias necesarias de los principios que la observacion ha confirmado en seguida. Citaremos algunos ejemplos de varias pruebas de esta clase.

CAPÍTULO XII

FENOMENOS DE DIFRACCION

I

INTERFERENCIA DE LAS ONDAS LUMINOSAS. — FENÓMENOS DE DIFRACCION

El P. Grimaldi publicó en Bolonia en 1665 un curioso libro titulado *Physico-mathesis de lumine*, en el cual describió por vez primera ciertos fenómenos á los cuales dió el nombre, que

áun conservan, de fenómenos de *difraccion*. Véase en qué consisten estos hechos nuevos, ó por lo ménos nuevamente observados, que los físicos han estudiado y multiplicado despues hasta el punto de constituir con ellos una rama importante de la óptica.

Si se introduce un rayo de luz en la cámara oscura al través de un pequeñísimo orificio, se

ve que la sombra de los cuerpos opacos estrechos, expuestos á esta luz, son mucho más extensas de lo que deberian serlo con arreglo á la marcha rectilínea de los rayos luminosos. Además dichas sombras aparecen rodeadas de franjas de colores, paralelas entre sí y á los bordes de los cuerpos opacos. El fenómeno des-

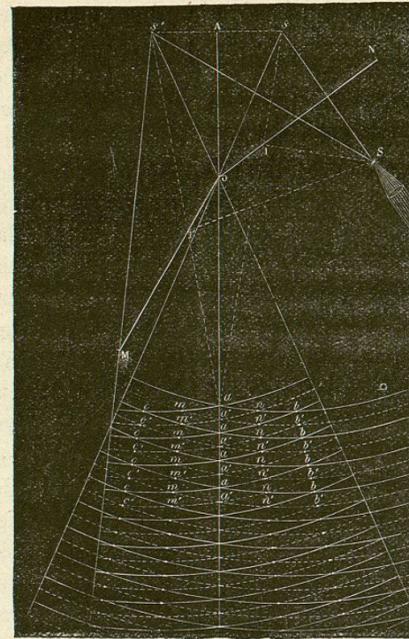


Fig. 137.—Experimento de los dos espejos de Fresnel; demostración práctica del principio de las interferencias

aparece si en lugar de penetrar el haz de luz por un pequeño orificio, pasa por un agujero ancho.

Reemplazando el cuerpo opaco por un pequeñísimo orificio practicado en una lámina metálica, por ejemplo, y recibiendo la luz en una pantalla, se obtienen anillos concéntricos de franjas de colores, situadas unas en la imagen geométrica del orificio, y otras fuera, es decir, dentro de la sombra de la lámina. Por último, si hay dos aberturas muy contiguas, resultan dos series de anillos que se superponen en parte, y además se ven tres series de franjas rectilíneas, que desaparecen tan luego como se tapa una de las aberturas (fig. 135). Este experimento causó profundo asombro entre los físicos porque trastornaba todas las ideas que hasta entonces se habian formado sobre la naturaleza del agente luminoso. Y en efecto, hacia patente el re-

sultado singular de que la *luz agregada á la luz produce en ciertos casos oscuridad*.

Newton estudió los fenómenos de difraccion revelados por el físico boloñés; agregó nuevas observaciones y procuró explicar la difraccion diciendo que es una desviacion que los bordes de los cuerpos opacos causan á los rayos de luz. Fraunhofer, Young y últimamente Fresnel acabaron de descubrir sus leyes, y el tercero las fundó con feliz éxito en la teoría de las ondulaciones.

Antes de proseguir la descripcion de los fenómenos, demos una idea de lo que Young ha llamado *principio de las interferencias*, cuya teoría ha expuesto en el sistema de las ondulaciones y que Fresnel demostró más adelante por medio del famoso experimento de los dos espejos.

Supongamos que dos rayos de luz siguen la direccion AB, (fig. 136), que su intensidad es igual y que lo son también las longitudes de onda de cada uno (1), en cuyo caso los movimientos de vibracion del éter tendrán la misma amplitud en las mismas fases. Si las ondas del primer rayo coinciden con las del segundo, claro está que sus intensidades deberán agregarse, y que á causa de esta mutua agregacion aumentará la cantidad de luz. Pero si uno de ellos se retrasa un tanto, y este retraso es precisamente igual á una semilongitud de onda, las moléculas de éter situadas á lo largo de la línea AB serán atraídas, de un lado por fuerzas cuya intensidad y direccion estarán representadas por la curva *aaa*, y de otro lado por fuerzas iguales y contrarias representadas por la curva *a'a'a'*. Por consiguiente, toda molécula como *m* permanecerá en reposo bajo la accion de estas fuerzas opuestas; el movimiento vibratorio cesará y la oscuridad sucederá á la luz. Entonces se dice que las ondas ó los rayos luminosos

(1) El raciocinio anterior no es aplicable sino á sistemas compuestos de ondas de igual longitud, porque si las del uno fuesen mayores que las del otro, por pequeña que fuese la diferencia sucedería que la posicion relativa de las ondas no seria la misma en toda la extension de los dos grupos, y al paso que las primeras ondas se contrariarian casi completamente, las siguientes no estarian ya en total discordancia, y hasta acabarían por concordar un poco más lejos; de lo cual resultaría una sucesion de vibraciones débiles y fuertes análogas á las pulsaciones que produce la consonancia de dos notas poco distintas; pero sucediéndose con rapidez prodigiosa estas alternativas de luz fuerte y débil, sólo producirían en el ojo una sensacion continua. (A. Fresnel, *De la luz*, etc.)