

hemos visto, del espesor de la lámina, y varían cuando este espesor varía también. Pero cuando el espesor es el mismo la tinta es uniforme, porque todos los rayos que componen el haz son paralelos, y por lo tanto recorren el mismo espacio por el interior de la lámina.

Si en lugar de un haz, se recibe en la lámina polarizada un pincel cónico de luz, de modo que el eje del cono sea perpendicular á la superficie de aquella, claro está que los rayos recorrerán por el interior del cristal caminos tanto más largos cuanto más disten del eje, y ya no será uniforme la tinta que tome la lámina observada con un analizador. Entonces se ven sistema de anillos coloreados cuyas tintas y formas varían según que el cristal sea de uno ó dos ejes ópticos y según

Fig. 166.—Pinzas de turmalina

la posición del polariscopio con relación al plano de polarización. Véase cómo se procede para que resulten tan agradables fenómenos.

Cójese una pinza de turmalina, instrumento que consiste en dos anillos metálicos aplicados uno contra otro por un muelle en forma de pinzas y en cada uno de los cuales hay engastada una placa de turmalina; cada una de estas puede girar en su respectivo anillo de suerte que es fácil dar todas las posiciones angulares posibles á los ejes de los dos cristales birefringentes. Entre los dos anillos se interpone la lámina tenue cristalizada, de espato de Islandia por ejemplo, fija en el centro de un disco de corcho mantenido por la presión de los anillos entre las turmalinas. Basta mirar entonces la luz del cielo al través de las tres láminas para ver los anillos de colores. La placa de turmalina, vuelta hacia el cielo, polariza la luz difusa que, después de atravesar esta primera placa converge hacia el ojo, pasando por la lámina de espato y la segunda turmalina.

Supongamos que se hayan colocado de antemano las dos turmalinas de manera que sus ejes sean perpendiculares; el plano primitivo de polarización será entonces paralelo á la sección principal de la turmalina que sirve de polaris-

copio, y se verá una serie de anillos concéntricos irizados, atravesados por una cruz negra. Si en este momento se hace girar  $90^\circ$  el polariscopio, los ejes de las turmalinas serán paralelos, y la sección principal de este formará un ángulo recto con el plano de polarización, siendo sustituida la cruz negra por otra blanca, y presentando los anillos irizados, á iguales distancias del centro, colores complementarios de los que presentaban en el primer experimento. En las posiciones intermedias de los ejes de las turmalinas se pasa gradualmente del primer aspecto al segundo.

Tales son los fenómenos que resultan cuando el observador se vale de la luz blanca. Si se valiera de luz homogénea, de la amarilla por ejemplo, obtendría anillos alternativamente brillantes y oscuros, atravesados por cruces análogas á las que hemos mencionado en los anteriores experimentos, siendo los brillantes de color amarillo. Si se emplearan los diferentes colores del espectro, los anillos de un mismo orden serían tanto mayores como más refrangibles dichos colores. Hé aquí por qué los anillos son irizados con la luz blanca, y por qué ocupa el morado, en este caso, el borde exterior del anillo en la primera posición del polariscopio.

Brewster descubrió en 1813 los anillos coloreados producidos por la luz polarizada cuando atraviesa, convergiendo, láminas tenues de cristales birefringentes; los vió primeramente en el rubí, en la esmeralda, en el topacio, en el cristal y en el nitro, y más adelante los observó el doctor Wollaston en el espato de Islandia. Estudiando Brewster estos fenómenos en las diferentes sustancias cristalizadas, pudo distinguir los cristales birefringentes en dos clases, los de uno y los de dos ejes, y hé aquí cómo: mientras que en el rubí, en la esmeralda y en el espato por ejemplo, no vió más que un simple sistema de anillos de colores, en el nitro y en el topacio, tallados en cierta dirección y observados con las pinzas de turmalina, etc., notó dos sistemas de anillos alternativamente oscuros y brillantes si la luz polarizada que los atraviesa es homogénea, é irizados si esta luz es blanca. Este fenómeno fué el que hizo descubrir á Brewster los cristales birefringentes de dos ejes.

Para observar los anillos á que aludimos, se talla una lámina de nitro perpendicularmente á

la línea media de los dos ejes y se la interpone entre los anillos de las pinzas de turmalina.

## IV

DIRECCION TRASVERSAL DE LAS VIBRACIONES LUMINOSAS

No pasaremos adelante en la descripción de los fenómenos que produce la luz polarizada,

fenómenos de los más interesantes y cuya sola enumeración exigiría muchas páginas. Confesamos que el objeto que nos hemos propuesto al abordar esta parte de óptica, consiste mucho más en excitar la curiosidad del lector y en inducirle á profundizar este estudio, que en darle una idea clara de las causas de estos fenómenos, es decir, mostrarle qué explicación se les

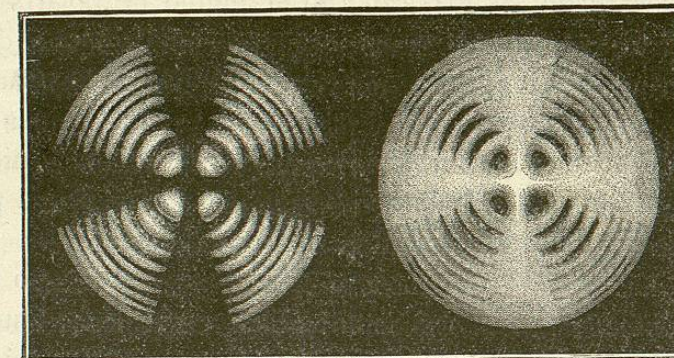


Fig. 167.—Anillos coloreados de espato

da en la teoría de las ondulaciones. Sin embargo, no podemos dispensarnos de resumir en breves frases los importantes progresos hechos por la teoría á impulso de los descubrimientos que tan rápidamente se han seguido desde principios del siglo actual.

En uno de los anteriores capítulos hemos visto que los fenómenos luminosos dimanaban del movimiento vibratorio del medio elástico llamado éter. Los fenómenos de interferencia, inexplicables en el sistema de la emisión, tienen por el contrario, en la hipótesis de las ondulaciones una explicación sencillísima y satisfactoria; pero no nos enseñan nada en lo que respecta al sentido en que se efectúan las vibraciones del éter. Podía suponerse con no menor verosimilitud que las oscilaciones de una molécula tienen efecto, ora en el sentido de la propagación de la luz, ora en dirección paralela á la superficie de las ondas, ó perpendicular al rayo luminoso, ó ya en fin en una dirección cualquiera oblicua á este rayo.

Mas al adoptar la primera hipótesis, la que asimila, por decirlo así, las ondas luminosas á las sonoras, era imposible dar perfecta cuenta de la transformación que sufre un rayo luminoso cuando atraviesa un medio birefringente, ó se refleja bajo cierto ángulo en la superficie de un cuerpo pulimentado. Si las vibraciones son

longitudinales, ¿por qué ha de tener el rayo polarizado, propiedades particulares en ciertos planos? ¿Por qué pertenecerán exclusivamente estas propiedades á ciertos lados del rayo? Estas objeciones eran un grave ataque á la teoría de las ondulaciones, cuando se le ocurrió á Fresnel sustituir á la hipótesis de las vibraciones longitudinales la de las vibraciones transversales perpendiculares á la dirección de la propagación luminosa. En este caso, un rayo de luz natural es aquel en que se efectúan sucesivamente los movimientos vibratorios en todos sentidos en la superficie de la onda, debiendo por lo tanto ser sus propiedades las mismas en todos sus lados. Pero si este rayo llega á atravesar un polariscopio, al salir del medio birefringente, en lugar de efectuarse en todos sentidos las vibraciones de que se compone, serán paralelas, sin que por eso dejen de verificarse siempre en planos perpendiculares al rayo. El polarizador ha tamizado, por decirlo así, las vibraciones del rayo de luz natural, deteniendo ó destruyendo las unas para no dar paso sino á las que se hallan en el plano de la sección principal. Expresándonos con más precisión diremos que toda vibración paralela á la sección principal pasa sin alteración al cristal; toda vibración perpendicular queda destruida, y las oblicuas á las dos primeras se descomponen en

otras dos, una paralela á la seccion principal del polarizador y que pasa; otra perpendicular, que queda detenida. De aquí resultan las propiedades de la *luz polarizada*, que dejamos descritas.

Las consecuencias de la teoría de las ondas, modificada de este modo, son muy numerosas; hasta el presente, todas han sido comprobadas por la experiencia, ó si se quiere, los fenómenos descubiertos por la observacion se explican como los deducidos de la teoría, con un rigor que es la sancion más brillante de los principios que constituyen el sistema de las ondas.

Agreguemos ahora unas cuantas líneas acerca de las aplicaciones que se han hecho de la polarizacion de la luz al estudio de las ciencias físicas y naturales.

Arago se valió de la polarizacion por doble refraccion para construir un aparato fotométrico, basado en la intensidad relativa de las dos imágenes, intensidad cuya ley ha formulado Malus. El mismo sabio ha indicado un medio para distinguir en el mar los escollos ocultos bajo el agua y disimulados por el brillo de la luz reflejada en la superficie. Mirando con un prisma de Nicol, despues de colocar verticalmente la seccion principal, los rayos reflejados se disipan, y los refractados, únicos que llegan al ojo, revelan la presencia de las rocas sumergidas.

La polarizacion por reflexion permite tambien reconocer si la luz que procede de un cuerpo ha sido reflejada en su superficie. Así es como se ha comprobado la naturaleza de la luz de los astros, que, como la Luna y los planetas, se limitan sencillamente á enviarnos los rayos del Sol, y cómo se ha reconocido que la luz de los núcleos cometarios es en parte la misma del astro solar, puesto que varios observadores han visto indicios de polarizacion en un plano que pasaba por el Sol y por el núcleo.

La luz del arco-iris se polariza en un plano vertical al arco y que pasa por el ojo del observador; y en efecto, más adelante tendremos ocasion de ver que el arco está formado de luz reflejada por las gotitas esféricas de la lluvia. Arago se valió de la polarizacion por reflexion para averiguar la naturaleza de ciertas piedras preciosas, y habiendo hecho tallar una pequeña faceta en la superficie de una de ellas, determinó el ángulo de polarizacion y reconoció que era exactamente el del diamante. La polarizacion cromática es de gran auxilio para el estudio de los cristales, pues merced á ella se puede reconocer si cualquier cristal tiene uno ó dos ejes de simetría, la posicion de estos ejes en el cristal, etc.

Por último, el cuarzo y gran número de líquidos, como el agua azucarada, las soluciones de ácido tártrico, la albúmina, gozan de cierta propiedad que los físicos han caracterizado con el nombre de *poder rotatorio*: una placa de cuarzo, tallada perpendicularmente al eje, desvía cierto ángulo el plano de polarizacion de los rayos que la atraviesan, desviacion que es diferente para los rayos de los colores simples. Si la luz polarizada que ha atravesado el cuarzo es luz blanca, los colores que la componen se disiparán en proporciones diferentes, resultando cierta tinta procedente de la mezcla de los rayos que no se han disipado. Este es el fenómeno de la *polarizacion rotatoria*, descubierto por Arago en 1811 y cuyas leyes ha estudiado Biot experimentalmente.

Estas leyes han proporcionado á la industria un precioso método, la *sacarimetría*, mediante el cual se puede reconocer la cantidad de azúcar puro que contiene una disolucion azucarada.

Véase por esto que los fenómenos que al pronto parece que no han tener nada de interesante sino su teoría, pueden venir á parar en aplicaciones prácticas de gran importancia.

## CAPÍTULO XV

## COLORES DE LOS CUERPOS

## I

COLORES DE LOS SÓLIDOS Y DE LOS LÍQUIDOS  
INCANDESCENTES

El análisis espectral de los focos luminosos nos ha hecho ver que en la composicion de la luz hay tantos colores ó matices de colores simples como radiaciones contienen dichos focos. Las ondas luminosas producen así en nuestra retina impresiones que pasan á nuestro cerebro produciendo en él la sensacion del color, del propio modo que las vibraciones sonoras, más ó menos rápidas determinan en nosotros la sensacion de los sonidos sucesivos, graves con respecto á las ondas cuya propagacion es más lenta, agudos relativamente á las que se propagan con mayor rapidez. La serie de vibraciones luminosas perceptibles por nuestros ojos está comprendida entre el rojo más oscuro del espectro solar y el morado extremo; ántes ó despues de estos colores hay, segun hemos visto, vibraciones más lentas como tambien vibraciones más rápidas; pero ni las unas ni las otras causan en nosotros sensacion de color. Así tambien, no percibe nuestro oído las vibraciones capaces de engendrar el sonido tan luégo como su rapidez no llega á cierto límite ó traspasa otro límite superior. Pero las dos escalas limitadas de los sonidos y de los colores se parecen además, en que son continuas, pasando de un extremo á otro por gradaciones insensibles.

Con todo, se ha hecho notar con razon una diferencia entre los sonidos y los colores, la cual consiste en lo siguiente: Nuestro oído distingue perfectamente cada una de las sensaciones que corresponden á sonidos simultáneos: el conjunto de estos, áun en el caso de que entre ellos existan las relaciones necesarias para que formen acordes armónicos, no produce una sola sensacion, y los oídos menos ejercitados reconocen que hay, no un sonido único, sino simulta-

neidad de varios. En cambio, cuando la reunion de muchos colores ó sea de las radiaciones de varias longitudes de onda llega á herir á la vez nuestra retina, no producen en ella sino un solo color. Por ejemplo, el conjunto de todas las radiaciones que constituyen la luz solar, la union de todos los colores del espectro de matices infinitos, produce en nosotros la sensacion del color ó de la luz blanca, sin que nada nos haga sospechar que haya simultaneidad y multiplicidad de radiaciones.

Consideremos varios focos de luz, ya sean artificiales ó ya naturales, y comparemos la sensacion que en nosotros excitan en cuanto al color respecta con la que nos produce la luz blanca del sol, ó con los matices del espectro ó con sus asociaciones: esta comparacion nos inducirá á clasificar estos focos en varias categorías, en luces blancas y de colores, en luces compuestas y simples ú homogéneas. Por otra parte, el análisis espectral de dichos focos nos da á conocer la razon de su coloracion particular, fundada en el predominio de tales ó cuales radiaciones, de estas ó de las otras rayas brillantes en el espectro de su luz.

Ciertas luces tienen un parecido más ó menos perfecto con la del sol, como por ejemplo la del magnesio, la del arco voltaico y la de los metales en fusion. Ya se comprenderá que al decir esto nos referimos á su parecido general y no á las particularidades que indica el análisis, como las rayas oscuras que surcan el espectro de la luz solar. Pues bien, el carácter comun á todas las luces blancas es el de tener por origen la reunion de ondas de todos los grados posibles de refrangibilidad entre los límites de las longitudes de onda que pertenecen á la parte luminosa del espectro; por lo ménos no presentan sino algunos espacios vacíos sumamente apiñados.

El color de un sólido incandescente depende de la temperatura, y así lo hemos comprobado