

LIBRO SEXTO

EL ANÁLISIS ESPECTRAL

INTRODUCCIÓN

Hace unos cincuenta años daba el Dr. Lardner, en Inglaterra, varias conferencias científicas sobre diversas materias, á las que asistía con empeño un público numeroso y escogido. En una de ellas, que versaba sobre astronomía, eligió como asunto el sabio y popular profesor, con objeto de maravillar á sus oyentes, el problema de averiguar el peso de los planetas, en la persuasión de que sus palabras y deducciones habían de ser acogidas con marcadas muestras de incredulidad. En efecto, que el hombre pueda, desde el planeta que habita, medir la distancia que lo separa de los demás cuerpos que componen el séquito del Sol, aunque problema arduo y asombroso, casi no parece del todo imposible de realizar; pero difícilmente se encuentran personas que admitan de buen grado, y como verdad asequible, que los astrónomos hayan llegado á pesar, no sólo nuestro mundo, sino también los planetas, la Luna y aun el mismo Sol.

Mas si uno de los oyentes del ilustre profesor hubiese dicho á éste que el hombre llegaría también á determinar los componentes químicos del Sol y las estrellas, averiguando qué astro tiene hierro ó carece de él, cuál hidrógeno, sodio ó plata, ó cualesquiera otros cuerpos elementales, casi es seguro que el profesor hubiera rechazado el aserto, fundándose en que superaba los límites de su propia credulidad, puesto que así como veía claramente cómo se medían y pesaban los planetas en virtud de principios fijos y demostrados, no podía considerar la determinación de sus elementos constitutivos más que como una especulación atrevida y sin fundamento sólido.

Y sin embargo, tal cosa ha llegado á efectuar el hombre, valiéndose sencillamente de un pedazo de cristal de forma triangular; no hay que extrañarlo, pues rara vez ocurre que un descubrimiento importante permanezca aislado y estéril, y casi siempre es origen de nuevos descubrimientos. La observación de que un cuerpo magnético, suspendido libremente, se dirige según la línea Norte-Sur, ha contribuído en proporción inmensa al desarrollo del comercio y de los descubrimientos geográficos, siendo la piedra fundamental de la gran teoría del magnetismo terrestre. Del propio modo el telescopio y el microscopio han dado origen en los dominios de la astronomía, de la anatomía y de la fisiología de los seres infinitamente pequeños, á descubrimientos importantes, imposibles de realizar sin el auxilio de estos preciosos instrumentos.

En esta parte de nuestro trabajo vamos á exponer los adelantos y progresos que ha hecho la astronomía, gracias al nuevo y poderoso instrumento que llamamos espectroscopio, admirable aparato con el que, en ciertos casos, podemos reconocer á millones de leguas de distancia la naturaleza química de los cuerpos y aun su estado físico. Han sido tan inesperados é importantes los resultados obtenidos de la aplicación del análisis espectral al estudio de los astros, que bien puede decirse que este método de observación ha hecho nacer una rama nueva y distinta en la ciencia astronómica.

La *Astronomía física*, monumento imperecedero que con creciente majestad se levanta á la memoria de Newton, puede definirse diciendo que es la extensión á los cielos de las leyes de la dinámica terrestre, pues que trata de explicar el movimiento de los cuerpos celestes, en el supuesto de la universalidad de una fuerza atractiva semejante á la que vemos obrar constantemente en la superficie de la Tierra.

La nueva rama de la ciencia astronómica que podemos decir nacida del análisis espectral, tiene por objeto la extensión y ensanche de las leyes de la física terrestre y su aplicación al estudio de los cuerpos celestes, y se apoya en el hecho nuevamente establecido de que en el mundo estelar existen materias de naturaleza idéntica á las de la Tierra y sujetas á las mismas leyes.

La importancia particular que reviste para la astronomía el descubrimiento de Kirchhoff es evidente, si se considera la posición que ocupamos respecto de los cuerpos celestes. La gravitación y las leyes que rigen nuestro ser nos impiden que abandonemos la Tierra, y por consecuencia, tan sólo por el estudio de la luz podemos adquirir algunas nociones sobre el enjambre numeroso de los astros del cielo, que nos envuelven por todas partes y que majestuosos circulan por las profundidades de los espacios cósmicos. La luz del cielo estrellado es el único medio de que podemos disponer para especular acerca de las condiciones de la materia extra planetaria, y en este océano luminoso, cada punto brillante es el signo de una actividad inmensamente vasta y al propio tiempo eminentemente lejana.

Hasta hace muy poco tiempo, ayer como quien dice, la luz de las antorchas del firmamento, aun condensadas en el foco de los telescopios de mayor potencia, apenas nos habían enseñado cosa de mayor valer; difícilmente, y en pocos casos, llegábamos á saber por su medio cuál era la forma y cuáles las dimensiones y colores de los cuerpos que contemplamos. El descubrimiento admirable del análisis espectral nos coloca en situación favorable para interpretar los símbolos y las indicaciones que, latentes en la luz misma, nos suministran datos exactos sobre la condición química, y también, en cierto límite, sobre la física de los remotísimos cuerpos de donde emanó aquella luz, hace millares de años.

En forma condensada, presentamos en las páginas siguientes los métodos y procedimientos usuales de la espectroscopia y los admirables resultados que se han obtenido de su aplicación á la Astronomía solar, planetaria, estelar, cometaria, etc., precedidos de ligeras consideraciones sobre los principios ópticos en que se basa el nuevo instrumento de investigación, que hagan más fácilmente comprensibles los problemas que ha resuelto este maravilloso sistema de análisis de la materia.

CAPITULO PRIMERO

LA LUZ

Analogía del sonido y la luz. — Propagación de la luz. — Refracción de la luz.
Dispersión de la luz

Aunque la teoría de la luz se conoce hoy día con tal perfección que es posible explicar satisfactoriamente los más complicados fenómenos de la óptica, sin embargo, es muy difícil contestar á esta sencilla y elemental pregunta: ¿cuál es la naturaleza de la luz? Apreciamos los procedimientos de esta fuerza natural en todos sentidos y direcciones; el Sol, verbigracia, derrama al hallarse esplendente en medio del cielo sus blancos rayos, de un solo color, sobre la Tierra, y sin embargo, cada objeto particular se ofrece á nuestra vista con un color propio: ¿qué son estos colores? ¿Cómo se desarrollan y generan de la luz blanca que emiten el Sol y otros cuerpos?

No es menester que tratemos de buscar la manera de eludir la contestación á estas preguntas, si conseguimos llegarnos á formar una idea clara de los fenómenos del análisis espectral, pues ya indicamos que el mundo de los colores es el territorio particular de este nuevo método de investigación.

Los senderos de la ciencia se encuentran á menudo obstruídos con proposiciones extrañas y en la apariencia contradictorias, que para el neófito son como los espectros que disputaban el camino á Dante y su celeste guía cuando descendieron á la mansión de los muertos; con algún valor, empero, podemos atravesar la temible vereda, apoderándonos de estas inofensivas apariciones, trabando amistad con ellas, una á una, y á medida que se nos presenten.

Según la teoría admitida hoy generalmente, el universo es un inmenso océano de materia, de una tenuidad extraordinaria, imperceptible á nuestros sentidos, en el cual se mueven los cuerpos celestes sin obstáculo aparente. Este fluido, que se llama éter, llena todo el espacio y todos los cuerpos, lo mismo los intervalos infinitos que hay entre los astros, como los poros ó intersticios que separan las moléculas de los cuerpos; las menores partículas de esta materia sutil están en movimiento vibratorio constante; cuando se comunica este movimiento á la retina del ojo, produce, si la impresión sobre los nervios es bastante fuerte, una sensación que llamamos *luz*.

Toda substancia, por lo tanto, que imprime al éter una vibración potente es luminosa; las vibraciones fuertes se perciben como luz intensa y las débiles como luz escasa, pero entrambas proceden del objeto luminoso con la extraordinaria velocidad de 75.000 leguas por segundo, disminuyendo necesariamente su fuerza en proporción que se extiende por un espacio mayor.

No es, pues, la luz una substancia distinta, sino sólo la vibración de una

substancia, que, según sus diversas formas de movimiento, genera luz, calor ó electricidad. Deja de ser sorprendente esta manera de representar la naturaleza de la luz, cuando se comparan las vibraciones del éter con las del aire atmosférico y se establece un paralelo entre la luz y el sonido, entre el ojo y el oído.

Una cuerda tirante que vibra, produce en el aire que la rodea una compresión y un enrarecimiento; en su frente se comprime y condensa el aire, y detrás se forma un vacío que ocupa en el acto el aire inmediato, rarificándose por el momento. Este movimiento periódico del aire se transmite á nuestros oídos con la velocidad de 335 metros por segundo, poco más ó menos; choca contra la membrana del tímpano, y ocasiona por su impulso en los nervios auditivos y el

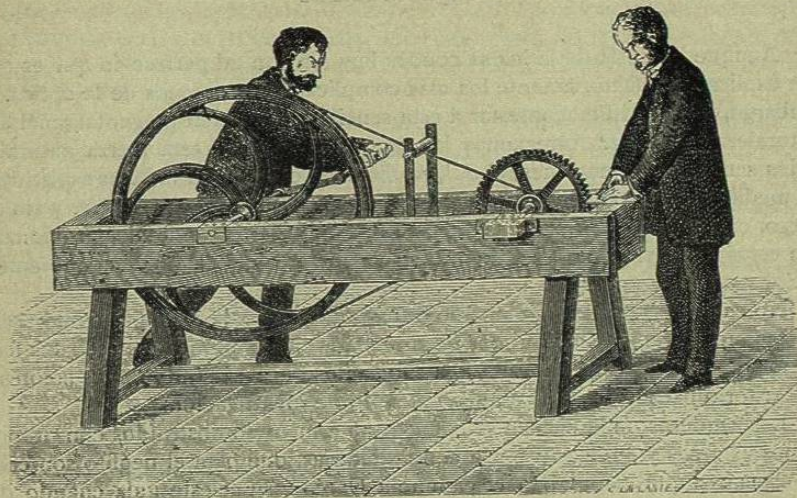


Fig. 153. - Rueda dentada de Savart; el número de vibraciones de un sonido crece con su tono

cerebro la sensación que llamamos sonido. El aire en movimiento, por su influencia en los órganos de la audición, es, pues, la causa de los ruidos; el éter en movimiento, por su influencia en los órganos de la vista, es la causa de la luz. Sin aire, ó sin algún otro medio por el cual pudieran propagarse las vibraciones de los cuerpos hasta llegar á nuestros oídos, no hay sonido posible. Así como un cuerpo sonoro no emite substancia efectiva de sonido, al modo de una flor que exhala un perfume, sino que tan sólo produce una vibración en el aire, de igual manera un cuerpo luminoso no esparce al exterior substancia alguna de luz, y únicamente da un impulso al éter y lo hace vibrar.

Un sonido musical se diferencia del simple ruido, porque se produce únicamente cuando las conmociones del aire llegan al oído con intervalos regulares; si los intervalos entre los impulsos no son suficientemente regulares, se produce un silbido, un murmullo ó un zumbido; mas para que haya sonido musical es indispensable que sea la regularidad perfecta en la sucesión de los impulsos ó vibraciones.

La altura ó tonalidad de un sonido ó nota musical depende del número de vibraciones ejecutadas por el cuerpo sonoro en un espacio de tiempo dado, por ejemplo, en un segundo; mientras mayor sea el número de vibraciones, más aguda será la nota producida; cuando las vibraciones son inferiores á 16 ó pasan de 40.000 por segundo, deja de percibir el oído sonidos musicales; en el primer caso sólo se advierte una especie de zumbido sordo; en el segundo la sensación que se experimenta es casi dolorosa. Los sonidos más graves empleados en música son los de los cañones de órgano cerrados, de unos cinco metros de largo; corresponden á 32 vibraciones por segundo. En los sonidos agudos nunca se pasa de la triple octava del *la* del diapason, que da 6.960 vibraciones por segundo.

El oído no percibe los impulsos ó vibraciones individuales cuando no pasan de 16 por segundo, pues las impresiones que producen se ligan unas á otras tan instantáneamente, que la sensación en el oído es la de una vibración continua.

La intensidad del sonido depende de la amplitud de las vibraciones, y si se esfuerza la voz, ó el aire de un instrumento, ó se pulsa con más energía la tecla de un piano, aumenta el volumen del sonido, pero el tono de la nota permanece invariable, aunque se haga más penetrante.

Savart se valió de un mecanismo sencillo para demostrar la causa del sonido, empleando una rueda dentada, con la cual era posible contar el número de vibraciones que corresponden á un sonido dado; se produce en este aparato el sonido por el choque de un naipe contra los dientes de una rueda; cuando es pequeña la velocidad de ésta, sólo se oye una serie de ruidos aislados, cuyo conjunto no llega á producir, hablando con propiedad, ningún sonido, y cuyo tono es, por consecuencia, inapreciable; pero á medida que crece la velocidad de la rueda (fig. 153) las vibraciones multiplicadas del naipe se transmiten al aire, produciendo un sonido continuo, tanto más agudo, cuanto mayor es la velocidad; á la rueda dentada se agrega un contador, que da á conocer el número de vueltas de la rueda en un segundo de tiempo; este número, multiplicado por el de los dientes, da la mitad del número total de vibraciones, pues es evidente que el naipe, doblado primero en un sentido, vuelve á recobrar su primera forma, dando dos vibraciones simples por cada diente que pasa.

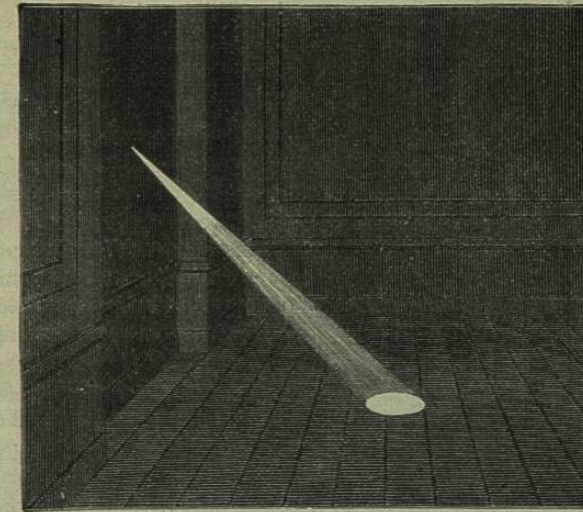


Fig. 154. - Propagación de la luz en línea recta

Savart obtuvo de una rueda de 600 dientes hasta 40 vueltas por segundo, y por consecuencia, 48.000 vibraciones en igual período de tiempo; lo que corresponde á un sonido en extremo agudo.

Después de estas explicaciones, nos será más fácil comprender el movimiento del éter y su modo de obrar sobre el órgano de la vista; el éter, de igual manera que el aire, puede sufrir vibraciones regulares, y hasta tal extremo, que sus fases de condensación y rarificación se repitan en intervalos periódicos. La diferencia entre las vibraciones del aire y las del éter se debe á la extremada delicadeza y elasticidad del último, que no sólo permite una rapidez mayor en la propagación del movimiento de la que es posible obtener con las bastas y pesadas partículas del aire, sino que también hace que el número de vibraciones por segundo sea inmensamente mayor, por lo cual es necesario contarlas por billones.

Los colores son para los ojos lo que las notas musicales para el oído; cierto número de vibraciones del éter por segundo es indispensable para herir la retina; si el número de estas ondas pasa de cierto límite ó no llega á él, deja el ojo de poseer sensibilidad para percibirlos.

La primera sensación de estas vibraciones en el ojo empieza por unos 450 billones de impulsos en un segundo, y deja de percibirlos cuando llegan al doble casi de este número, ó sean 800 billones; en el primer caso, la impresión producida es la del color rojo muy obscuro ó más bien de un negro rojizo, y en el último de violeta obscuro.

Mientras mayor es el número de vibraciones en un tiempo dado, con más rapidez se suceden; podemos deducir, por lo tanto, que los diferentes colores se producen únicamente por los distintos grados de rapidez de que están animadas las vibraciones del éter, de igual manera que las

notas musicales dependen de la rapidez de sucesión de las vibraciones del aire; las vibraciones más lentas, esto es, las que importan á lo menos 450 billones por segundo, producen la sensación del rojo; las que siguen en rapidez dan el amarillo, y si se aumenta su número de un modo sucesivo, cambia la sensación en

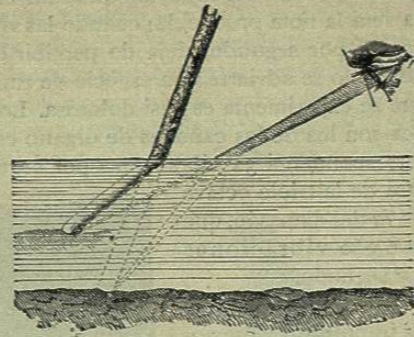


Fig. 155. — Apariencia que presenta un palo metido en el agua

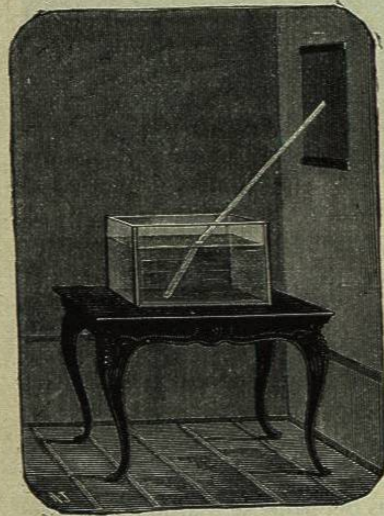


Fig. 156. — Refracción de un rayo luminoso

verde, azul y violeta, color que sirve de límite á la sensibilidad del ojo humano, sin que este límite sea el de las vibraciones del éter, que se extienden todavía mucho más.

La gradación de los colores del rojo al amarillo, verde, azul y violeta, es para el órgano de la vista lo que la gama ó escala musical es para el oído, y no sin razón, por tanto, hablamos del tono y armonía de los colores; para el físico, las palabras color y tono no son más que distintos modos de expresar fenómenos semejantes y estrechamente enlazados, esto es, la percepción de movimientos regulares que se verifican en períodos iguales de tiempo, y que en el éter producen los colores y en el aire los sonidos musicales; en el primer caso por medio del órgano de la vista, y en el segundo por el del oído, se nos hacen perceptibles los rapidísimos movimientos del éter y los más moderados del aire.

Pero, se preguntará, ¿qué se hace de esas vibraciones que se encuentran más allá de los límites superior ó inferior de sensibilidad que tiene el ojo humano para apreciar la luz y el color? ¿Vagan por el espacio sin objeto ni aplicación y completamente inadvertidas? Nada de eso; se demuestra de un modo que no deja lugar á duda la existencia de ciertas fuerzas en los rayos del Sol y otros potentes cuerpos luminosos, que dejan de ser percibidas por el ojo. Las vibra-

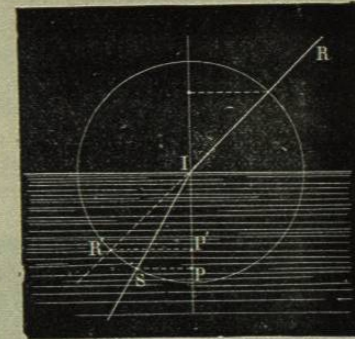


Fig. 157. — Ley de refracción

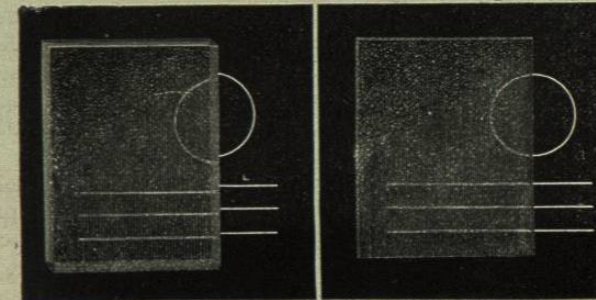


Fig. 158. — Refracción á través de una lámina de caras paralelas

ciones más lentas, que aun contadas por billones no pasan de 450 de estas unidades por segundo, parecen destinadas á producir la sensación del calor, que también resulta de un movimiento ondulatorio, propagándose el llamado radiante, como la luz, sin auxilio de ningún cuerpo extraño. Por otra parte, las vibraciones de velocidad superior á las que producen el color violeta, punto en que cesa la susceptibilidad de la vista, se revelan por su poderosa potencia química.

La luz se propaga á través del vacío y á través de algunos cuerpos ó medios,

sólidos, líquidos y gaseosos. Al decir *vacío*, entendemos, según los físicos, no el vacío absoluto, sino un espacio por completo desprovisto de toda substancia tangible, como los interplanetarios, la cámara barométrica ó la campana de la máquina neumática, después de haber extraído el aire. La luz que recibimos del Sol y de las estrellas, y la que atraviesa los recipientes vacíos de nuestros laboratorios, nos demuestra que este movimiento no necesita para propagarse un medio ponderable, como exige el sonido. En cuanto á la propagación de la luz á través del aire y los gases, del agua y de los cuerpos sólidos como el vidrio, el talco, etc., apenas hay necesidad de demostrarla con experimentos, por ser cosa que vemos diariamente.

Sabemos también que los cuerpos luminosos por sí propios, no son los únicos que producen en nuestros sentidos la sensación de la luz, y que sirven asimismo para iluminar otros cuerpos, haciéndolos visibles. Los cuerpos iluminados de esta suerte, se convierten en focos luminosos secundarios, de los que emana la luz para propagarse en los medios que hemos indicado, de igual manera que la luz directa.

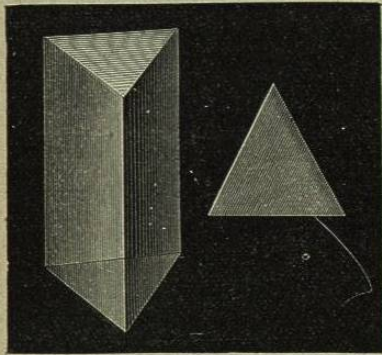


Fig. 159. - Forma geométrica del prisma

Cuando la luz emitida por un foco luminoso ó por un cuerpo iluminado llega á nuestro ojo, tiene que atravesar medios diáfanos ó translúcidos. ¿Qué camino sigue en su propagación y qué ocurre si en su trayecto encuentra un cuerpo de tal ó cual opacidad? Son éstos problemas bien sencillos cuya solución puede obtenerse con sólo interrogar la naturaleza. El caso menos complicado es aquel en que la luz atraviesa un medio transparente perfectamente homogéneo, es decir, que tenga la misma densidad é igual composición en todas sus partes, y llega directamente al ojo. Varios experimentos demuestran que en este caso se propaga en línea recta.

Si entre la llama de una bujía y el ojo interponemos unas pantallas opacas, perforadas con un agujero pequeñito, habremos de reconocer que para percibir la luz es preciso que todos los agujeros estén en línea recta; tampoco podemos ver la luz del día á través de un largo tubo, como éste no sea recto, ó cuando menos, si su curvatura no es bastante pronunciada como para que una línea recta no lo atraviese de un extremo á otro sin tocar en sus paredes. Si nos encerramos en un cuarto oscuro y dejamos que sólo penetre la luz del Sol por un orificio practicado en la ventana, percibiremos un cono luminoso en el aire, que indica el curso de la luz, curso rectilíneo como los lados del cono. En este caso no es el aire el que se ve, sino los corpúsculos flotantes que tiene en suspensión, iluminados al pasar la luz.

También se puede demostrar la propagación de la luz en línea recta cuando, ocultado el Sol por un grupo de nubes, lanza sus rayos á través de los intersticios de las mismas masas de vapores; se ve entonces cómo se proyectan en la atmós-

fera rastros más ó menos luminosos, que afectan, á no dudar, una dirección rectilínea.

Cuando sumergimos un palo recto en el agua transparente, parece que la parte vista á través del líquido no es continuación en línea recta de la porción que queda fuera del agua; se diría que el palo se quiebra en la superficie del líquido, y también que el pedazo sumergido es más corto de lo que debiera. Si colocamos el palo verticalmente, ó si el ojo recibe los rayos visuales en una dirección que lo haga aparecer como si estuviera vertical, entonces no se ve quebrado el palo, sino sencillamente más corto. Este experimento puede hacerse con toda facilidad sumergiendo un lápiz en un vaso de agua clara.

Si en una habitación á oscuras dejamos penetrar por un pequeño orificio un rayo de Sol, haciendo que caiga oblicuamente sobre la superficie del agua contenida en una artesa de paredes de cristal, observaremos que dentro del agua se quiebra, como se quebraba el palo, y que la segunda porción no es continuación en línea recta, de la primera.

En ambos casos la superficie del agua es el plano en que tanto el palo, como el rayo de luz solar, cambian de dirección, y este cambio ó desviación de la línea recta es lo que se llama refracción. Para que haya refracción es menester que el rayo luminoso pase de un medio homogéneo transparente á otro de distinta densidad, como del aire al agua, de un gas á otro.

El rayo que se propaga por el primer medio se llama incidente; al llegar á la superficie del segundo medio, forma con la línea perpendicular el plano de separación un ángulo, que se llama de incidencia; al continuar su camino en línea recta por el segundo medio, forma con la normal otro ángulo, que se llama de refracción, y que, por lo común, no es igual al de incidencia. La misma marcha, pero en sentido inverso, sigue el rayo si pasa del segundo medio al primero; sólo que el rayo incidente viene á ser el refringido, y recíprocamente. Por ejemplo, si el punto luminoso está en el agua, en S, el rayo que cae en el punto I de la superficie se desviará de la perpendicular según la dirección I R; la dirección S I R será la misma en sentido inverso si el rayo incidente hubiera sido R I, por manera que los ángulos de incidencia y de refracción tienen los senos inversos, pero su relación permanece siempre constante.

Cuando se examina un objeto á través de una lámina transparente, verbi-gracia, de vidrio, cuyas dos caras sean paralelas, si el ojo y el objeto están en una misma línea perpendicular á la citada lámina, se ve el punto luminoso en la dirección exacta en que se observaría sin interposición de ningún medio refringen-

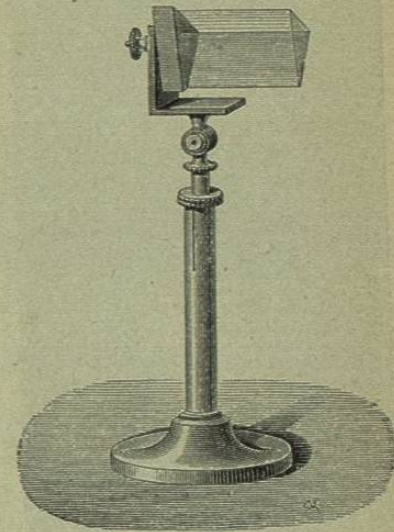


Fig. 160. - Prisma montado sobre un pie

te (fig. 158); lo cual consiste en que no hay refracción para los rayos normales.

Pero no puede decirse lo mismo de la incidencia oblicua, pues en este caso se desvía el punto luminoso. Nada más fácil que demostrar experimentalmente esta desviación; para ello se toma una lámina de vidrio y se coloca sobre un papel en el que de antemano se trazan varias líneas rectas y curvas, de tal modo

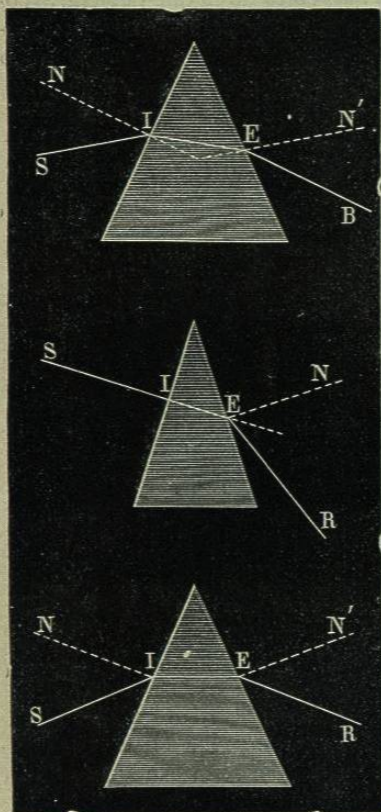


Fig. 161. — Desviación de los rayos luminosos á través de los prismas

de la base; basta examinar la fig. 161, que da la marcha de los rayos incidentes y refringidos, para hacer evidente este fenómeno; el rayo incidente S I, después de sufrir una primera refracción, recorre en el prisma el curso I E, se refringe de nuevo al salir del prisma y por fin emerge en la dirección E R, lo cual se confirma por la observación; en las tres figuras las líneas de puntos I N y E N' son perpendiculares á las caras de los vidrios; el rayo es desviado en el medio más denso, que es el prisma, hacia esta perpendicular, al paso que se dobla en sentido contrario en el medio menos denso, ó sea el aire; así que el ángulo que forma con la perpendicular es siempre mayor en el aire que en el vidrio.

que la lámina sólo las cubra parcialmente. Mirando en dirección perpendicular, se observa que las líneas vistas por transparencia son continuación de las líneas vistas directamente. Si se mira en dirección oblicua, se nota una desviación, una solución de continuidad, más marcada cuanto más oblicua sea la incidencia de los rayos luminosos. Esta desviación se debe á la refracción y crece también con el grueso de la lámina transparente.

Examinemos ahora los fenómenos que dependen de la refracción de la luz cuando atraviesa un medio refringente cuyas caras planas no son paralelas, esto es, en los prismas. La fig. 159 representa en perspectiva y en corte la forma geométrica del prisma tal y como se usa en óptica; para efectuar los experimentos con mayor comodidad se le suele montar sobre un pie (fig. 160) de manera que pueda girar alrededor de su eje; la pieza de metal que sujeta el prisma es móvil alrededor de un eje vertical, y además se halla provista de un gozne, de tal suerte que el instrumento puede colocarse en todas las posiciones imaginables respecto de los planos vertical y horizontal.

El efecto de un prisma sobre un rayo luminoso que penetra por una de sus caras, lo atraviesa y sale por la otra cara, consiste en desviar el rayo hacia la parte

En la figura, el rayo incidente S I pasa sin refringirse á través del prisma en la dirección I E, porque S I es perpendicular á la cara del prisma. En la figura tercera el rayo incidente S I y el emergente E R forman un mismo ángulo con las superficies del prisma, en cuya posición tiene lugar la divergencia más pequeña del rayo incidente I S, por lo cual esta posición se llama de desviación mínima.

Hasta aquí no hemos fijado nuestra atención en la naturaleza del rayo de

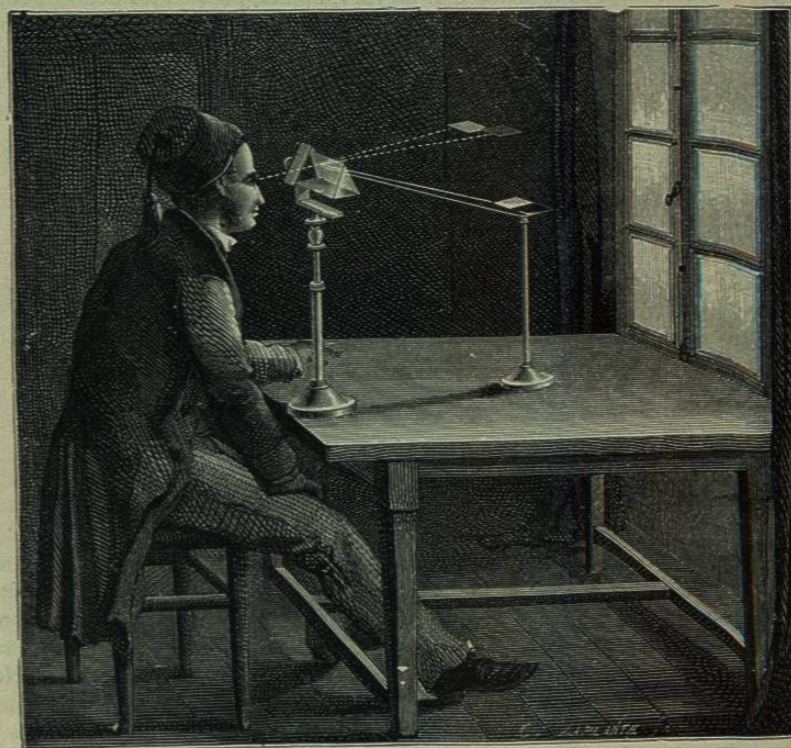


Fig. 162. — Desigual refrangibilidad de los diversos colores

luz, y tan sólo nos hemos ocupado de los fenómenos de refracción comunes á toda clase de rayos. Veamos ahora la marcha que siguen los diferentes rayos de diversos colores en su paso á través de un prisma.

Con un instrumento de esta clase examinó Newton un pedazo de papel pintado por mitad de rojo y azul, y disponiéndolo delante de una ventana como indica la fig. 162, notó que las dos mitades del papel parecían desigualmente desviadas; la porción azul se encontraba transportada algo más abajo que la parte roja de manera que el pedazo de papel parecía dividido en dos secciones, siendo la una prolongación de la otra; lo contrario sucedía si el ángulo del pris-

ma se colocaba en inverso sentido, resultando que el azul era más refrangible que el rojo.

Recibiendo detrás de una lente y sobre una pantalla de papel blanco las imágenes del mismo papel iluminado por una bujía, reconoció Newton que era necesario colocar la pantalla á distintas distancias para obtener imágenes detalladas de la mitad roja y de la mitad azul; un hilo de seda muy negro, que daba varias vueltas al papel, permitía que con facilidad se hallase el lugar en que la imagen de cada color se formaba con mayor limpieza, pues en los demás puntos aparecían las rayas negras mal terminadas y confusas. Para la mitad azul, la distancia de la imagen á la lente era más pequeña que para la mitad roja, lo que demuestra otra vez que el azul está dotado de mayor refrangibilidad que el rojo. Estos dos experimentos son los primeros que describe el gran físico y astrónomo inglés en su tratado de óptica.

Estamos ahora en disposición de anunciar de antemano lo que ocurrirá si

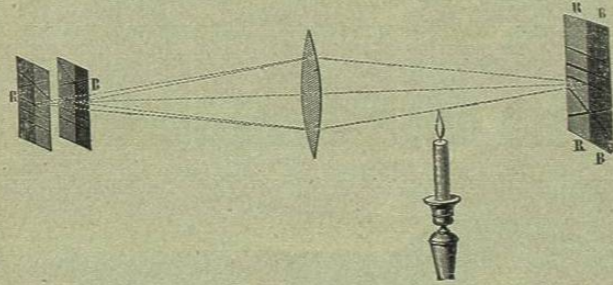


Fig. 163. - Desigual refrangibilidad de los colores simples: experimento de Newton

un rayo de luz compuesto de varios colores pasa á través de un prisma: se separarán los colores componentes por la primera refracción que sufren al entrar en el prisma, y se dispersarán mucho más al salir. El rayo incidente se descompondrá en tantos colores como hayan entrado en su formación, y cada color seguirá su marcha particular desde la primera entrada de la luz en el prisma. Hagamos el experimento con la luz blanca del Sol, y veamos si es ó no homogénea ó monocromática.

Para ello, en el interior de una cámara oscura se recibe directamente sobre una pantalla de papel blanco la luz solar, después que haya pasado por un agujerito de la ventana, y aparecerá en el papel una imagen del Sol blanca y redonda.

Se coloca en el curso de los rayos solares un prisma triangular de flint, por ejemplo, de tal modo que sus aristas estén en dirección horizontal y que el haz luminoso penetre oblicuamente por una de sus caras. Entonces se percibe en la pantalla, en vez de la imagen redonda y blanca del Sol y á cierta distancia sobre el punto en que antes se formaba, una faja prolongada luminosa, compuesta de una serie de colores en extremo brillantes; esta faja es lo que se llama el *espectro solar*.

Veamos en qué orden se suceden los colores cuando el prisma presenta su

base hacia arriba: en el extremo inferior del espectro aparece un rojo brillante y despejado, al cual sucede una tinta anaranjada, y por gradaciones insensibles, un amarillo paja magnífico; viene luego un verde de una pureza é intensidad notables, y en seguida un tono azul verdoso, después azul oscuro hasta llegar al añil, terminando el espectro en el tono lívido del violeta. Si invertimos la posición del prisma, cambia también la disposición de los colores. Así, pues, un rayo de luz blanca se compone de la reunión de una serie de rayos coloreados, de los que solamente hemos nombrado los principales; pues la degradación

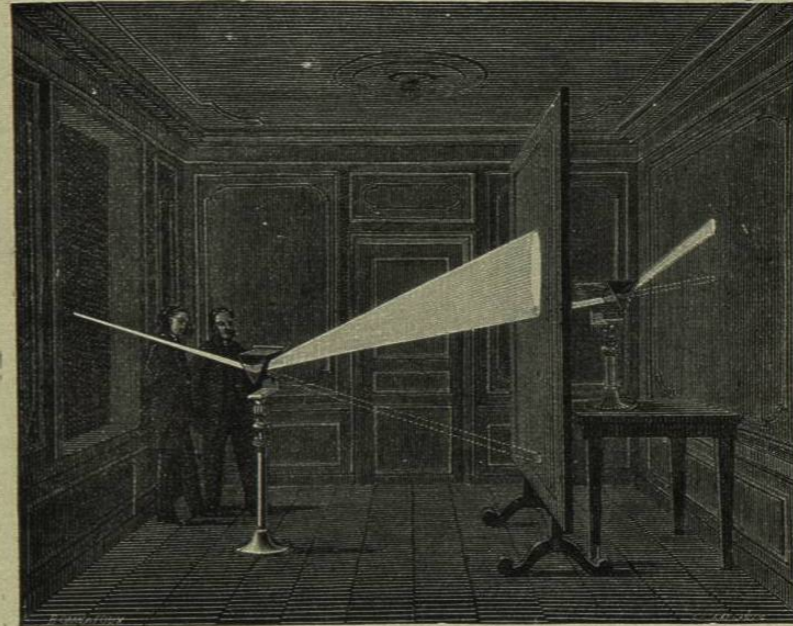


Fig. 164. - Descomposición de la luz por el prisma: espectro solar

de un color en el inmediato se efectúa de un modo insensible, sin que se perciba de uno á otro cambio brusco, ni solución de continuidad.

Tal es el fenómeno de la descomposición ó análisis de la luz, que también se llama *dispersión* de los rayos coloreados.

Este experimento nos demuestra que los rayos luminosos de diversos colores poseen distintos grados de refrangibilidad; la luz roja no sufre tanta desviación de la línea recta, á causa de la refracción, como la luz violeta; la primera, por lo tanto, es menos refrangible que la última. Esta diferencia entre la marcha de los rayos rojos y la de los azules se demuestra con toda evidencia por la teoría ondulatoria de la luz, y es una consecuencia necesaria de la desigual rapidez de las vibraciones del éter, que es la causa de los diversos colores.

Un segundo experimento prueba á la vez que un rayo de cada uno de los