

misma distancia de la lente, distancia que es doble de la focal principal. Tendremos, pues, esta última midiendo el intervalo comprendido entre el objeto y su imagen y tomando la cuarta parte.

Si se trata de una lente divergente, se cubre su superficie con un pedazo de papel negro ó con negro de humo, y se hacen dos agujeritos en un mismo círculo máximo de

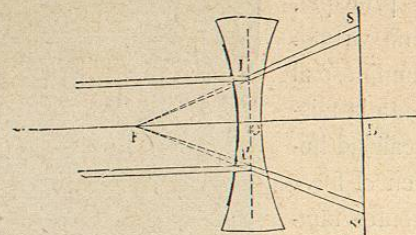


Fig. 498.—Determinación experimental de la distancia focal de una lente divergente

la superficie y á igual distancia del eje (fig. 498). Dirigiendo entonces los rayos solares sobre la lente, se busca con una pantalla la posición en la cual los dos haces divergentes IS, I'S', que pasan por los agujeros, dejan huellas S y S' cuya distancia es el doble de la de los agujeros. El intervalo OB comprendido entre la pantalla y el centro óptico de la lente es sensiblemente igual á la distancia focal buscada.

CAPITULO VII

DISPERSIÓN DE LA LUZ

I

DESCOMPOSICIÓN DE LA LUZ SOLAR POR LA REFRACCIÓN

El paso de un haz luminoso de un medio refringente á otro medio, no tan sólo produce, cuando la incidencia es oblicua á la superficie de separación, el fenómeno de desviación que acabamos de estudiar con el nombre de *refracción simple*, sino que por lo regular va acompañado de modificaciones que influyen en el color de la luz transmitida. Fácil es comprobar estas modificaciones, observando las imágenes de los objetos tal como se las ve al través de un prisma ó de una lente ordinaria. Ya hemos indicado que casi siempre están rodeadas de vivos colores que reproducen los matices del arco iris.

La coloración de las imágenes por la refracción es lo que se llama *dispersión de la luz*, y dimana de que la del Sol y las de los diferentes focos luminosos, directos ó secundarios, no son por lo común luces simples ú homogéneas, sino que en realidad se componen de una multitud de rayos, cada uno de los cuales tiene un grado particular de refrangibilidad: al pasar á través de un medio refringente se descomponen; los rayos desigualmente refrangibles se dispersan, y cada uno de ellos aparece entonces con su color propio. De aquí resulta el fenómeno que vamos á estudiar y que se conocía hacía mucho tiempo por varios de sus efectos, cuando Newton descubrió su causa y formuló su ley.

Diariamente se ofrece á nuestra vista la dispersión de la luz blanca por refracción mediante un gran número de fenómenos que los antiguos conocieron sin duda como nosotros (1), pero sin sospechar su causa. Las piedras preciosas, los diamantes lanzan destellos de varios colores, no siendo una de las menores bellezas de tan preciosas sustancias la que procede de la descomposición de los rayos luminosos á través de sus facetas. El arco iris es un fenómeno debido á igual causa, como lo demostraremos al describir los meteoros. Lo propio sucede con esos variados colores de que aparecen teñidas las nubes y las capas atmosféricas en los crepúsculos matutinos y vespertinos. Por último, en los vasos de cristal que contienen líquidos transparentes, en los colgantes de las arañas, se ven franjas irisadas en todas direcciones, las cuales presentan los colores más vivos en toda su pureza.

Si en el interior de la cámara oscura se recibe directamente la luz solar sobre una pantalla de papel blanco, después de haber hecho pasar un rayo del astro por un agujero abierto en la ventana, la imagen del Sol en el papel será, como ya sabemos, una mancha redonda y blanca. Pero esta luz blanca no es simple, sino un compuesto de multitud de colores ó matices que son á su vez otros tantos colores simples ó compuestos, resultado que se ha puesto fuera de duda en virtud de una serie de experimentos que se han variado hasta lo sumo, y en su mayoría efectuados por Newton. Indiquemos los más concluyentes.

Se coloca en el camino de los rayos solares, después de su paso por el agujerito de la ventana de la cámara oscura, un prisma triangular de flint-glass, por ejemplo, de modo que sus aristas estén en dirección horizontal y que el haz luminoso penetre oblicuamente por una de sus caras. Entonces se ve en la pantalla, en vez de la imagen redonda y blanca del Sol y á cierta distancia sobre el punto en que se formaba antes de la interposición del prisma, una faja prolongada (2) luminosa, compuesta de una serie de colores en extremo brillantes: esta faja es lo que se llama el *espectro solar*.

Véase en qué orden se suceden los colores cuando el prisma presenta su base vuelta hacia arriba, orden que sería inverso si dicha base estuviese vuelta hacia el piso de la cámara oscura:

En el extremo inferior del espectro aparece un rojo vivo, brillante y despejado, al cual sucede una tinta anaranjada, y por gradaciones insensibles un amarillo de paja magnífico: viene luego un verde de pureza é intensidad notables, después una tinta azul verdosa, y en seguida un color azul oscuro hasta llegar al añil, terminando el espectro en el tono lívido del morado. En la figura 1 de la lámina adjunta se puede ver

(1) Séneca se esfuerza por buscar una explicación del arco iris y de sus colores en el primer libro de sus *Cuestiones naturales*. A vueltas de una disertación un tanto larga y difusa enumera algunos hechos de observación que prueban que en la época en que escribía el filósofo romano se conocían muchos efectos de la reflexión, de la refracción y de la dispersión de la luz, los espejos cóncavos, las lentes, etc. "El agua que brota de un tubo roto, dice, ¿no presenta algo parecido á los colores del arco iris?". Y en otra parte: "Se fabrican barritas de vidrio acanaladas ó con muchos ángulos salientes, que si reciben transversalmente los rayos del Sol, presentan las tintas del arco iris."

(2) Conviene advertir que la imagen del Sol, primitivamente redonda, resulta dilatada en dirección perpendicular á la arista del prisma interpuesto: lateralmente, la faja es de anchura igual al diámetro de la imagen redonda. Si se varía la inclinación del prisma ó la incidencia del haz, la faja luminosa y coloreada cambia de longitud; pero hay una posición, la de la desviación mínima, en la cual la dilatación de la imagen solar debería ser nula, si todos los rayos que componen el haz tuviesen la misma refrangibilidad. Pues bien, Newton ha observado perfectamente que, en semejante posición del prisma, la prolongación de la imagen persiste lo propio que la coloración de sus diferentes partes.

la serie de colores que presenta el espectro después de la descomposición por el prisma de la luz blanca del Sol.

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 de un color en el inmediato se efectúa de un modo insensible, sin que de uno á otro haya cambios bruscos ó solución de continuidad (1).

Otro experimento prueba á la vez que un rayo de cada uno de los colores del espectro es simple y que su grado de refrangibilidad crece del rojo al morado. Este

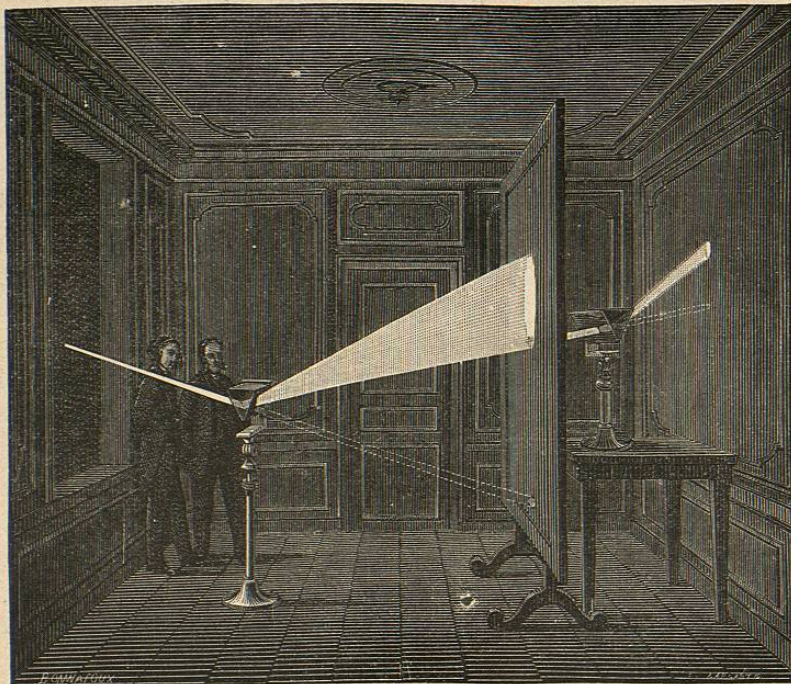


Fig. 499.—Descomposición de la luz por el prisma. Desigual refrangibilidad de los colores del espectro

experimento consiste en dejar pasar por un pequeño agujero practicado en la pantalla, en el punto en que se forma el rojo, por ejemplo, un rayo de este color. Recibido sobre una segunda pantalla (fig. 499) forma una imagen roja en un punto que se marca cuidadosamente. Si en vez de recibirlo directamente sobre esta pantalla, se interpone otro prisma, sufre el rayo luminoso una nueva desviación, y su imagen se forma en un punto más elevado que la imagen directa; pero la nueva imagen es roja como la primera y de la misma forma si se ha situado el prisma de un modo conveniente. Por lo tanto la luz roja del espectro no puede descomponerse.

Ahora bien, el nuevo experimento, repetido con los colores sucesivos, da resultados análogos; luego todos los colores del espectro solar son elementales ó simples, esto es, no pueden descomponerse. Pero su refrangibilidad es creciente, pues se observa que las distancias entre las imágenes directas de los colores en la pantalla y la imagen obtenida por la refracción en el segundo prisma son tanto mayores cuanto más se aproxima el color á la extremidad morada del espectro. De aquí se sigue que, cuando se da el

(1) Excepción hecha de las finísimas rayas negras de que hablaremos más adelante.

índice de refracción de una substancia refringente, es menester indicar á qué parte del espectro corresponde este índice; por ejemplo, el del flint pesado, que es 1,78 para el rojo del espectro, es 1,86 para el morado.

Si en lugar de un prisma de flint se emplea otro de distinta substancia refringente, sólida ó líquida, se obtienen espectros más ó menos brillantes y prolongados; si los prismas son incoloros, los espectros se componen de los mismos colores, colocados en el mismo orden. Pero su proporción y los espacios ocupados por cada uno de ellos varían con la naturaleza de la substancia, mientras que el orden de los colores sigue siendo el mismo. El flint-glass es de todos los cuerpos sólidos el que da un espectro de mayor extensión, sobre todo en el morado, y el sulfuro de carbono tiene más especialmente esta propiedad entre todos los líquidos.

El ángulo del prisma influye también en la extensión del espectro producido, la cual es tanto mayor cuanto más abierto el ángulo, y así se comprueba fácilmente por medio de prismas de ángulos variables.

Por consiguiente, la luz blanca se descompone por la refracción en rayos de diversos colores, correspondiendo el de cada uno de los rayos á un grado de refrangibilidad particular.

II

RECOMPOSICIÓN Ó SÍNTESIS DE LA LUZ

Si tal es en efecto la composición de la luz, debe resultar de ello que, reuniendo en proporción conveniente todos los colores del espectro, forme la mezcla de los rayos coloreados un haz de luz blanca. Varios experimentos confirman plenamente esta consecuencia del análisis de la luz, debiéndose la mayor parte de ellos á Newton, quien los describe en su *Optica*, y no haciéndose casi otra cosa sino reproducirlos con ligeras modificaciones en las cátedras de física.

El más sencillo de todos estos experimentos consiste en recibir en una lente convergente el espectro solar producido por un prisma. Los rayos diversamente refrangibles que componen el espectro convergen en focos distintos, pero próximos. Colocando una pantalla de papel blanco en el foco donde se reúnen los diferentes rayos de color (que es el foco conjugado del punto de emergencia de los rayos del prisma), se ve una imagen blanca del Sol (fig. 500). Acercando la pantalla á la lente, los rayos coloreados, que aún no se han reunido, reaparecen con tanta mayor viveza cuanto más diste la pantalla de este foco. Por el contrario, si la pantalla está muy apartada de la lente, á partir del punto de convergencia, reaparecen también los colores, de modo que el rojo, que antes se encontraba en la parte inferior, se encuentra ahora arriba, y el morado, que al principio estaba arriba, se halla ahora situado abajo.

Valiéndose de dos prismas de la misma substancia y de igual ángulo, pero colocados en posiciones opuestas, como indica la figura 501, el haz de luz blanca que cae sobre el primer prisma se divide en rayos divergentes de distintos colores, pero la refracción los vuelve á hacer paralelos al salir del segundo prisma, y entonces en lugar de un espectro se obtiene un haz de luz blanca compuesto de la reunión de los rayos de diversos colores; sólo que el borde superior de la imagen recibida en la pantalla es rojo y el inferior morado, lo cual consiste en que, de todos los rayos de luz blanca que forman el haz, únicamente los centrales producen espectros cuyos colores se reúnen en

seguida, al paso que los rayos extremos del espectro no se sobrepone a ningún otro color, y la recomposición no puede efectuarse en estos puntos.

Dos espectros obtenidos por medio de dos prismas diferentes y proyectados en sentido inverso sobre una misma pantalla, dan el color blanco en el lugar en que se sobrepone los colores.

Observando el espectro dado por un prisma á través de otro prisma, se encuentra una posición en la que la imagen aparece redonda y blanca.

Todos estos experimentos y otros muchos los describe Newton con claridad y sencillez admirables. "Hasta ahora, dice, he producido blanco, mezclando los colores de los prismas. Para mezclar los colores de los cuerpos naturales, nos valdremos de agua de jabón concentrada y la batiremos hasta que haga espuma. Cuando ésta se haya reposado algo, bastará mirarla con atención, y veremos entonces diferentes colo-

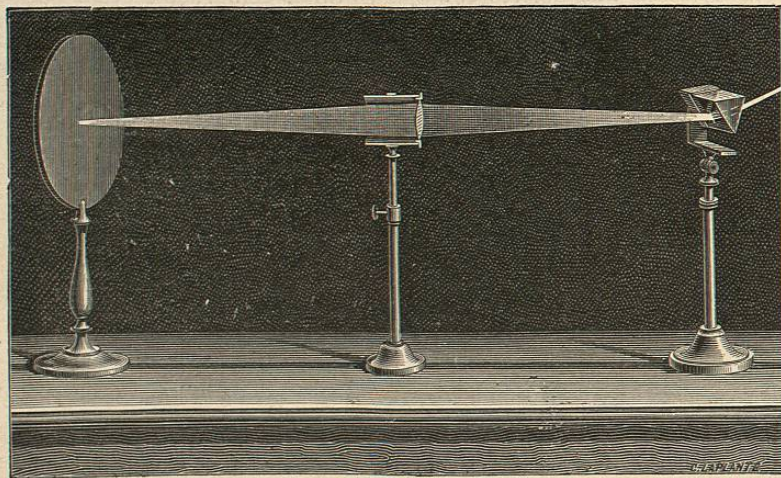


Fig. 500.—Recomposición de la luz por una lente

res en la superficie de cada una de las burbujas de que dicha espuma se compone. Pero si nos apartamos hasta el punto de no poder distinguir los colores entre sí, toda la espuma nos parecerá de blancura perfecta.,, (*Optica*, lib. I.)

También procuró obtener el color blanco mezclando en varias proporciones ciertos polvos de colores. El oropimente (sulfuro de arsénico de color amarillo anaranjado), mezclado con púrpura, cardenillo y azul, le dió un compuesto de color gris ceniciento que, puesto al sol y comparado con un pedazo de papel blanco del mismo tamaño puesto á su lado y á la sombra, pareció de un blanco deslumbrador. Newton explica el color gris de esta clase de mezclas por la absorción de la luz de los elementos, y para evitar esta disminución de brillo juzgó oportuno iluminar fuertemente por los rayos solares aquel compuesto.

Por último, si se hace girar rápidamente un círculo dividido en sectores pintados con los colores principales del espectro, alrededor de un eje que pase por su centro (figura 502), á medida que es más rápida la rotación los colores desaparecen de la vista: el disco tomará un tinte tanto más blanco cuanto más cuidadosamente se haya hecho la proporción de los colores. Se comprende que, en este caso, las impresiones sucesivas de los distintos colores en la retina se confundan, gracias á la rapidez del movimiento, y como los rayos producen una impresión simultánea, la sensación que resulta es el color blanco.

Cuantas luces emanan del Sol, como las de las nubes, de la atmósfera, de la Luna y de los planetas, presentan iguales fenómenos de descomposición y recomposición. Analizadas por medio del prisma, producen espectros de brillo muy variable, pero cuya composición en rayos coloreados es precisamente la del espectro solar.

Las luces que proceden de otros focos, como las de las estrellas, de las llamas arti-

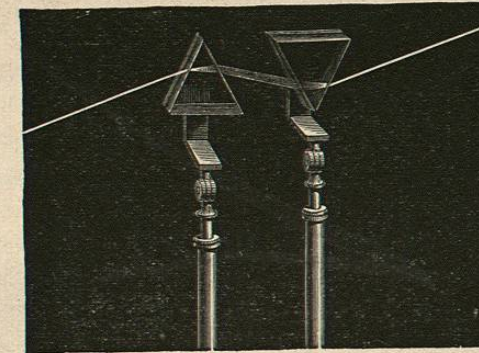


Fig. 501.—Recomposición de la luz por los prismas

ficiales, del desprendimiento de electricidad, ya sea en los aparatos de física ó ya en las tormentas, dan espectros cuyos colores guardan el mismo orden que los del espectro solar. Pero, en general, el fenómeno no es tan brillante, y según veremos en breve, sucede que faltan estos ó los otros colores, y entonces los reemplazan fajas oscuras.

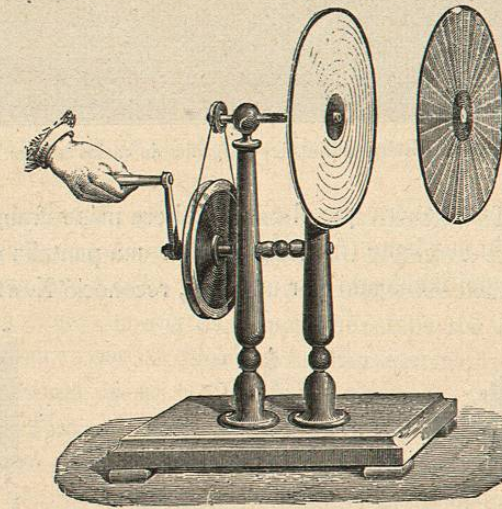


Fig. 502.—Recomposición de la luz por un disco giratorio

Los experimentos que sirven para demostrar que los distintos colores del espectro dan luz blanca cuando están reunidos, son tan concluyentes cuando se emplean los rayos coloreados del espectro como cuando se hace uso de los colores de los cuerpos iluminados. Esta sola circunstancia bastaría para probar que estos últimos colores son desigualmente refrangibles como los de los focos luminosos. Pero Newton ha hecho experimentos directos con motivo de esta diferencia. Examinó con un prisma un pedazo de papel pintado por mitad de rojo y azul, y poniendo ambos objetos delante de una ventana, como indica la figura 503, notó que las dos mitades del papel parecían des-

igualmente desviadas: la porción azul resultaba transportada algo más arriba que la roja, de suerte que el pedazo de papel parecía dividido en dos partes, una de las cuales era prolongación de la otra. Lo contrario sucedía si el ángulo del prisma se colocaba

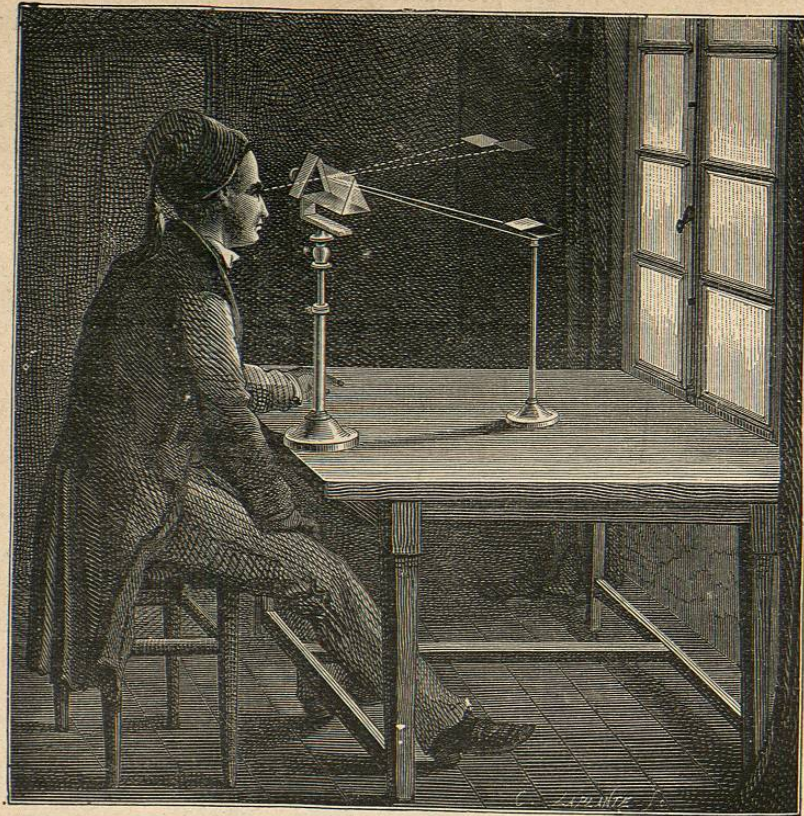


Fig. 503.—Refrangibilidades desiguales de varios colores

ba en sentido inverso, por manera que el color azul era más refrangible que el rojo.

Recibiendo detrás de una lente (fig. 504) y sobre una pantalla de papel blanco las imágenes del mismo papel iluminado por una vela, reconoció Newton que era preciso

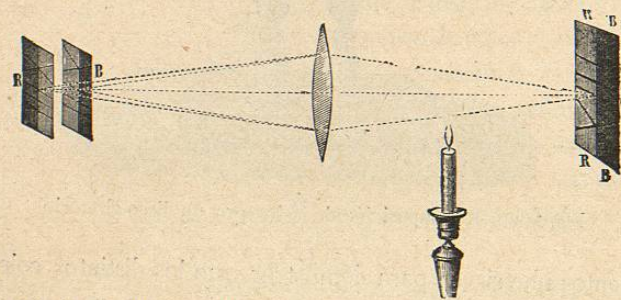


Fig. 504.—Refrangibilidades desiguales de los colores simples.
Experimento de Newton

colocar la pantalla á diferentes distancias para obtener imágenes claras de la mitad roja y de la mitad azul: una hebra de seda muy negra que daba varias vueltas al papel permitía juzgar con mayor facilidad el sitio en que se formaba con pureza la imagen de cada color, pues en los demás puntos aparecían las rayas negras mal terminadas y con-

fusas. Para la mitad azul, la distancia de la imagen á la lente era más corta que para la mitad roja, lo cual demuestra también que el azul es más refrangible que el rojo. Estos dos experimentos son los primeros que Newton describe en su *Optica*.

III

LAS RAYAS DEL ESPECTRO SOLAR. — ANÁLISIS ESPECTRAL

José Fraunhofer, nacido en 1787 en Straubing, pequeña ciudad de Baviera, era hijo de un pobre vidriero. Al principio se dedicó á tallar el cristal, mas á fuerza de trabajo y perseverancia consiguió merecer la fama de ser el óptico más entendido y hábil de nuestro siglo. No se limitó á construir los instrumentos de óptica con una perfección hasta entonces desconocida, sino que, á fuer de observador consumado, se valió de los mismos aparatos que fabricaba para hacer varios descubrimientos, entre otros el que vamos á describir y que sin disputa es uno de los más curiosos y más fecundos en consecuencias.

Al estudiar Newton las distintas partes del espectro solar, no había podido distinguir nada que sirviera de límite preciso para sus colores, los cuales parecían fundirse unos en otros de un modo insensible y sin interrupción aparente. Persuadido por sus experimentos de que los rayos coloreados de la luz blanca poseen, desde el extremo rojo al extremo morado, todos los grados posibles de refrangibilidad, consideraba cada uno de estos rayos como simple y homogéneo, y pensaba que la luz descompuesta por el prisma se ostentaba de un modo continuo por toda la extensión del espectro.

Procurando medir los índices de refracción de los rayos coloreados, y esforzándose por encontrar en el espectro puntos singulares á propósito para servirle de referencia, fué como Fraunhofer descubrió el hecho capital de que la luz del espectro solar no es continua, sino que está surcada de rayas finas y oscuras (1), que forman otras tantas interrupciones bruscas en la faja luminosa.

Para hacer este experimento, que requiere las precauciones más delicadas, se valió de un prisma de flint-glass de gran pureza, exento de estrías, en el cual caía el haz solar después de pasar por una rendija paralela á la arista del prisma. Observado el espectro obtenido de este modo con una lente que aumentaba sus dimensiones, vió que en vez de una faja continua en que los colores se fundían sin interrupción, presentaba una cinta que tenía en el sentido de su anchura una multitud de rayas oscuras y hasta totalmente negras, repartidas con desigualdad en toda la extensión del espectro, y cuya distribución no parecía en relación con las tintas de los colores principales.

Fraunhofer varió de todos los modos posibles su experimento; pero mientras el foco luminoso de que se valió fué la luz del Sol, ora directa ó bien reflejada, aparecieron siempre las mismas líneas oscuras, conservando entre sí iguales relaciones de orden é intensidad.

Si en lugar de un prisma de flint-glass se hace uso de otro de una substancia sólida ó líquida, únicamente las distancias de las rayas varían, pero ocupando siempre las mismas posiciones con respecto á los colores del espectro.

(1) Wollaston había reconocido en 1802 la existencia de dos líneas oscuras fijas en el espectro que forma un prisma de flint-glass; una de estas líneas estaba en el azul y la otra en el verde. Pero, según lo observa Bréwster en su *Tratado de óptica*, "este descubrimiento no llamó entonces la atención de nadie, y su sabio autor desistió de su estudio."