

tremidad del espectro, la segunda en medio de dicho color y la tercera á poca distancia del anaranjado: la línea doble D forma casi el límite del anaranjado hácia la parte del verde; E está en medio de este último color; F en medio del azul; G y la doble raya H están la una al final del añil hácia el azul y la otra al final

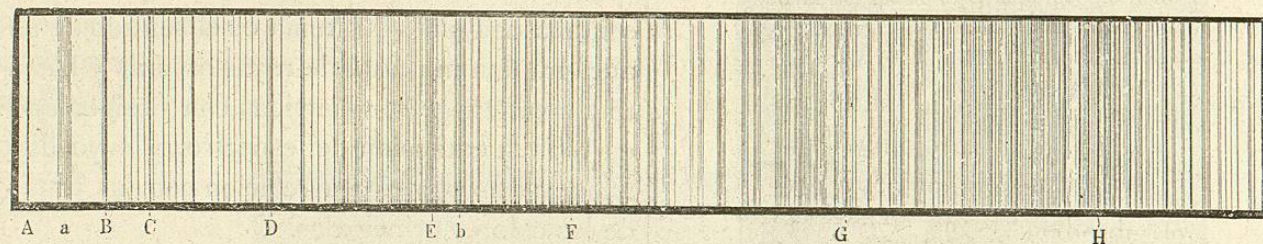


Fig. 96.—Espectro solar y líneas de Fraunhofer

aquellas cuya posición se había determinado. Hoy se ha duplicado esta cifra; M. Thollon, aplicando al análisis de la luz solar un espectroscopio de visión directa de su invención (1), ha obtenido un espectro de 10 metros de largo entre las rayas A y H, en cuya extensión ha podido dibujar 4,000 rayas. El espectro obtenido por Angstrom contenía 1,600 rayas en una longitud de 3 metros.

Brewster, uno de los físicos que más se han ocupado de estas investigaciones, además de las precauciones para obtener un espectro bien claro y puro, aumentaba la sensibilidad de su vista mediante el gas amoníaco, cuya acción disolvente destruye el velo flúido que cubre la superficie del ojo.

Fraunhofer no se limitó á estudiar las líneas que rompen la continuidad de la luz en el espectro solar, sino que aplicó sus interesantes métodos de observación á los espectros de otros focos luminosos. Como podía presumirlo, encontró al principio las mismas rayas en los focos que envían por reflexión la luz del Sol, verbigracia, la luz de las nubes ó del cielo puro, la de la Luna y de los planetas: verdad es que las rayas son en ellos de menor intensidad. Observando las estrellas más brillantes, por ejemplo, el espectro de Sirio, vió que este espectro estaba también estriado de rayas oscuras; pero que, siendo ménos numerosas, no están distribuidas como en el espectro solar; por

(1) El espectroscopio de M. Thollon tiene un poder dispersivo enorme que equivale, según dice, al de 16 prismas de sulfuro de carbono de 60° ó al de 31 prismas de flint.

del morado. Se ha designado con las letras *a* y *b* otros dos grupos de rayas, uno en el rojo y otro en el verde.

Desde 1817, época en que Fraunhofer descubrió las líneas que llevan su nombre, se han descubierto nuevas rayas, y hace algunos años se calculaba en más de 2,000 el número de

otra parte, cambian también de una estrella á otra. Finalmente, aplicó el mismo método á la luz eléctrica, y en lugar de rayas oscuras, vió en el espectro de esta luz líneas luminosas.

Tales son los célebres experimentos que han servido de punto de partida para una serie de brillantes descubrimientos, cuyo conjunto constituye hoy una de las ramas más importantes de la óptica, y el método de análisis más ingenioso y delicado de que dispone la química. Procuremos ahora dar una idea de este método, conocido con el nombre de *análisis espectral*.

#### IV

##### ANÁLISIS ESPECTRAL.—MÉTODO, INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS DE OBSERVACION

El espectro solar y los estelares están, según acabamos de ver, surcados de rayas oscuras que indican interrupciones en la emisión de la luz y prueban, contra lo que se había creído en un principio, que en estos focos no hay rayos que posean todos los grados posibles de refrangibilidad. Lo contrario sucede con los espectros de los cuerpos incandescentes en estado sólido ó líquido, pues los espectros de sus luces son continuos.

Otros focos luminosos dan distintos resultados. Cuando se introducen en una llama artificial, por ejemplo, en la de un mechero de gas ó una lámpara de alcohol, ciertas sustancias metálicas que la elevada temperatura del foco reduce al estado de vapores, no se observan ya espectros continuos, sino algunas rayas brillan-

tes separadas por espacios oscuros. Así lo había notado ya Fraunhofer.

Posteriormente se ha estudiado el mismo hecho en todas sus fases y por diferentes métodos, habiéndose reconocido que las rayas brillantes de los vapores metálicos varían en

número y posición según la naturaleza del metal, y que su intensidad cambia también con la temperatura; pero, lo propio que las rayas negras del espectro solar, ocupan siempre las mismas posiciones relativas, cuya concordancia con algunas de aquellas se ha determinado.

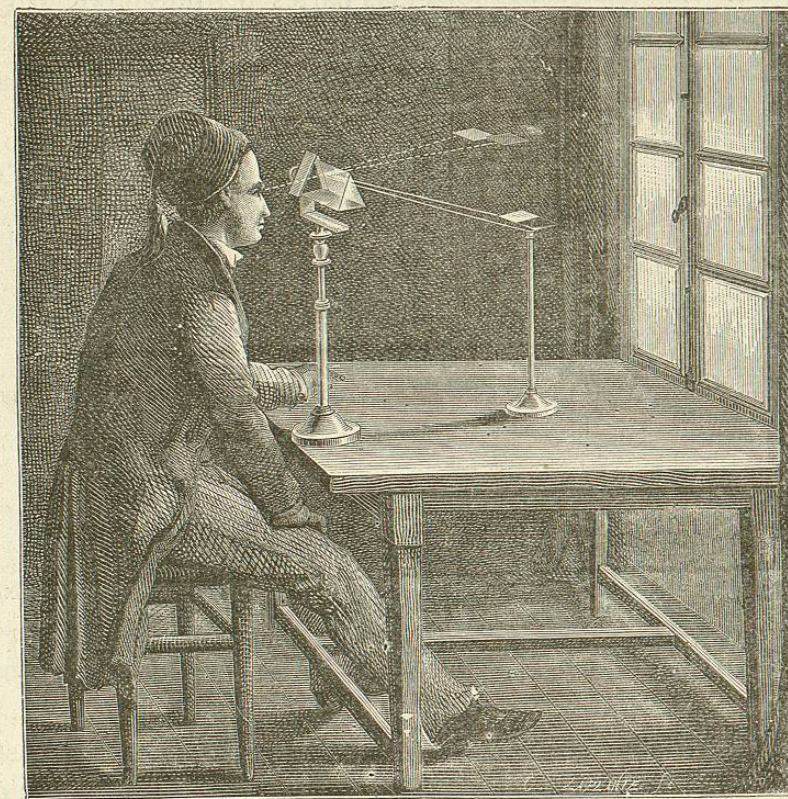


Fig. 97.—Refrangibilidades desiguales de varios colores

Dase el nombre de *espectroscopios* á los instrumentos que sirven para analizar los focos de luz, es decir, para estudiar la composición de los espectros que producen estas luces, cuando son refractadas por uno ó muchos prismas.

Pero, ántes de describir los caracteres que presentan las luces emanadas de focos diferentes cuando se comparan sus espectros, cúmplesnos entrar en algunos detalles sobre los procedimientos de observación y describir los aparatos más comunmente empleados.

Las figuras 98, 100 y 101 representan un espectroscopio de un solo prisma, que es el más usado para los experimentos ordinarios. En el centro de una plataforma circular horizontal sustentada por un pié está situado verticalmente el prisma P, que por lo regular es de flint muy puro y su ángulo de 60°. Hay además dos cuerpos de anteojo C y B colocados simétricamente con relación á las caras laterales del prisma y en la posición de la desviación míni-

mo respecto de los haces que los atraviesan y que son refractados por el prisma. El anteojo C lleva en su extremidad más apartada del prisma y en el sitio del ocular una placa metálica con una ranura que se puede ensanchar ó reducir como se quiera. Delante de esta placa A se pone el foco luminoso que se ha de analizar. Los rayos luminosos que atraviesan la ranura pasan paralelamente por un sistema de dos lentes, de suerte que es un haz vertical el que penetra en el prisma, se refracta en él, y al salir va á dar en el objetivo del anteojo B. Aplicando el ojo al ocular de este segundo anteojo puede estudiar el observador el espectro producido por la dispersión.

En E, y delante de un tercer anteojo, D, va adaptada una lámina de cristal en la cual está trazada una escala micrométrica de divisiones equidistantes muy finas: esta escala se halla colocada horizontalmente y alumbrada por una vela. Se orienta el tubo D de modo que la imá-

gen del micrómetro se reproduzca en la cara lateral del prisma de donde emerge el haz luminoso del foco, y se refleje precisamente en la dirección del eje del anteojo B.

Si, estando todo dispuesto de esta suerte, se aplica el ojo al ocular de B, se percibe con gran claridad, por una parte el espectro del foco que se estudia, con todos sus colores y rayas, y por otra la imagen del micrómetro que, so-

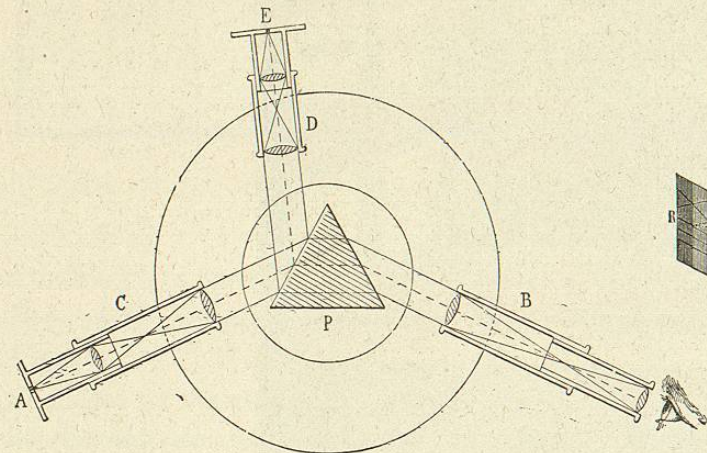


Fig. 98.—Espectroscopio horizontal. Marcha del haz luminoso

mador C un pequeño prisma de cristal de reflexión total, que recibe lateralmente los rayos del segundo foco y los envía al eje de la lente: el haz se dispersa como el del foco colocado delante de la ranura. Entonces, aplicando el observador el ojo al ocular convenientemente graduado, ve los dos espectros dispuestos horizontalmente uno sobre otro, posición que permite reconocer las rayas comunes ó medir la diferencia de refrangibilidad de las rayas vecinas.

Cuando se observa, se tiene cuidado de cubrir el prisma con un tambor ennegrecido interiormente, para impedir el acceso ó influencia de cualquiera otra luz: este tambor tiene tres orificios circulares que corresponden á los tres tubos del espectroscopio.

Para obtener mayor dispersión y por lo tanto espectros más extensos, merced á los cuales se pueda hacer un estudio más completo de las rayas y de sus subdivisiones, se usan espectroscopios de muchos prismas. La fig. 102 representa uno de estos aparatos en que la luz pasa á través de nueve prismas. Compréndese que el empleo de esta clase de espectroscopios se limite al análisis de luces de gran intensidad, pues al atravesar tan considerable

breponiéndose á dicho espectro, lo divide por consiguiente en partes equidistantes y numeradas. Así pues, se puede anotar la posición exacta ocupada por tal ó cual color, ó por una raya determinada del espectro observado.

Asimismo es posible comparar directamente las partes de refrangibilidad igual de los espectros de dos focos diferentes. Para esto se fija en la parte superior de la ranura del col-

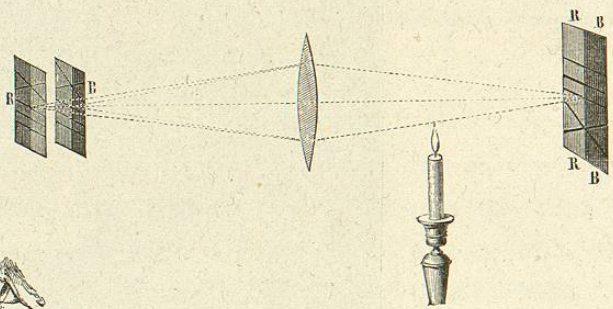


Fig. 99.—Refrangibilidades desiguales de los colores simples. Experimento de Newton

espesor de sustancias refringentes, el haz se va debilitando á cada refracción. Con ellos se obtiene sin duda un espectro bastante más extenso, pero también mucho más débil.

En los espectroscopios que acabamos de describir, los haces incidentes y emergentes forman cierto ángulo entre sí, de suerte que el observador no mira directamente el foco de luz que analiza. Pero también se construyen para hacer con mayor comodidad las observaciones, y principalmente las astronómicas, *espectroscopios de visión directa*, en los que un mismo tubo contiene á la vez la ranura por donde penetra la luz, el aparato dispersivo y la lente á la que va adaptado el ocular.

Entremos ahora en algunos detalles sobre los diferentes procedimientos de observación que se emplean según la naturaleza de los focos luminosos que se trata de analizar.

Hemos visto que la luz solar, directa ó reflejada, da un espectro de colores vivos, surcada de un número considerable de rayas oscuras más ó menos vivas, al paso que el espectro de un líquido ó de un sólido incandescente (por ejemplo, de un baño de metal en fusión ó de un hierro hecho ascua) es absolutamente continuo. En cuanto á los gases incandescentes, el

espectro de su luz es discontinuo, y lo constituye un número ilimitado de rayas brillantes ó de fajas luminosas, separadas por anchos intervalos oscuros. Pero esto supone que la llama del gas analizado no contiene en suspensión

ninguna partícula sólida ó líquida; si no se llena esta condición, si como sucede con las llamas iluminadoras de una bujía ó de un mechero de gas común, hay partículas sólidas de carbono en el foco luminoso, entonces el espectro es

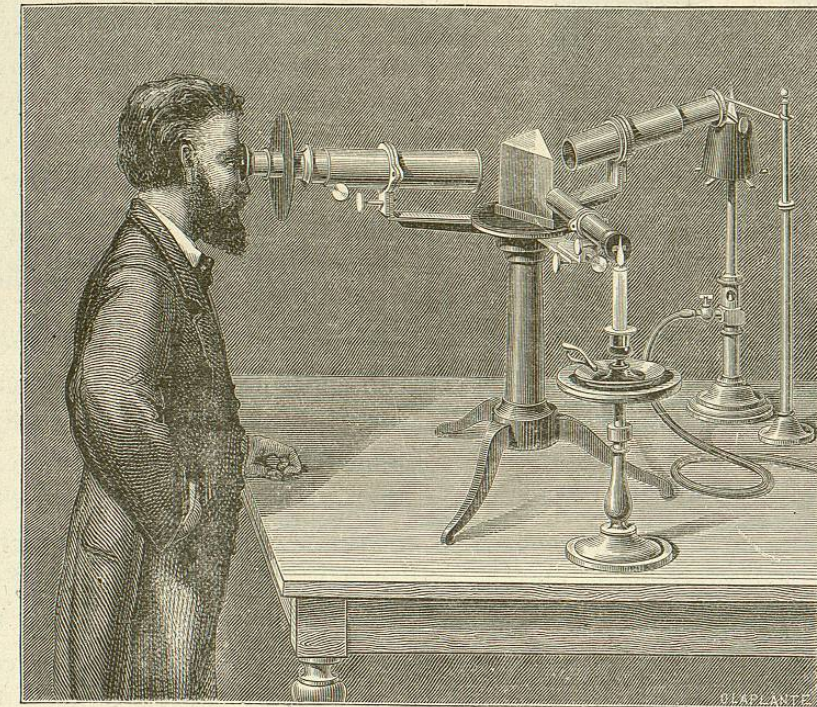


Fig. 100.—Observación espectroscópica de un sólido metálico

continuo como en los sólidos y líquidos incandescentes (1). Parece, sin embargo, que esta ley tiene excepciones: por ejemplo, la llama de un mechero de gas al cual se hace llegar una corriente de aire da un espectro continuo, cuando en rigor debería estar formado de rayas brillantes. A decir verdad estas rayas existen, pero la escasa intensidad del espectro que las hace imperceptibles, es lo que induce á creer en la continuidad. Sin embargo, precisamente esta circunstancia permite valerse de un mechero de Bunsen para la observación espectroscópica de los cuerpos sólidos cuando estos son fácilmente evaporables, como sucede con los metales alcalinos ó térreos.

(1) Hay otros casos en que el espectro del gas no es discontinuo: si se quema en el oxígeno uno de los gases siguientes: hidrógeno, óxido de carbono, hidrógeno sulfurado, sulfuro de carbono, el espectro de sus llamas no contiene ninguna raya ni faja, brillante ú oscura. Verdad es que aquí no se trata de gases simples. Debe observarse también que no todo sólido incandescente da un espectro continuo. Los señores Bahr y Bunsen han reconocido que la erbina calcinada á la llama de un soplete de gas no se funde, sino que esparce una luz verde que, analizada con el prisma, da un espectro de rayas brillantes, es decir, discontinuo. El mismo fenómeno se observa con el didimo.

Para estudiar los espectros de estos cuerpos simples, se introduce en la llama un hilo de platino impregnado de una solución salina de

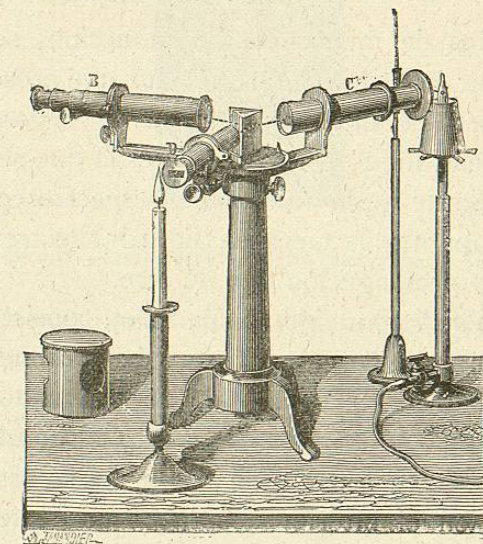


Fig. 101.—Espectroscopio horizontal

cualquiera de ellos. El agua empieza por evaporarse, la sal en disolución se evapora á su vez, y se ve aparecer en el espectro las rayas características del metal.

Cuando el cuerpo se volatiliza con dificultad,