

colores del espectro es simple y que su grado de refrangibilidad crece del rojo al violeta. Este 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, forma una imagen roja en un punto que se señala cuidadosamente. Si en vez de recibirlo directamente sobre esta pantalla, se interpone un segundo prisma, recibe el rayo luminoso una nueva desviación y su imagen va á formarse en un punto más elevado que la imagen directa (fig. 164); pero la nueva imagen es roja como la primera y de la misma forma, si se ha situado el prisma de un modo conveniente.

La luz roja del espectro no puede, por tanto, descomponerse.

Ahora bien, repitiendo el mismo experimento con los colores sucesivos, se obtienen resultados análogos, luego todos los colores del espectro solar son elementales ó simples.

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 del segundo prisma, son tanto mayores, cuanto más se aproxima el color á la extremidad violeta del espectro.

## CAPITULO II

### ESPECTROMETRÍA TERRESTRE

El espectro solar y las rayas de Fraunhofer. — Espectroscopio simple. — Espectroscopio químico. — Diversas clases de espectros. — Inversión del espectro. — Líneas telúricas del espectro solar.

En el experimento que acabamos de referir aparecen los colores en la pantalla con cierta confusión; pero si en vez del agujerito circular hecho en el tablero de la ventana, empleamos una rendija ó ranura, obtendremos un espectro extraordinariamente puro; el rojo, el anaranjado, el amarillo, el violeta, en vez de superponerse y destruir la belleza de la cinta espectral, aparecen separados y como colores simples. El sencillo cambio del agujero oblongo por la ranura, indica cuán delicados son los procedimientos del análisis espectral; pues no bien había examinado el doctor Wollaston la luz del Sol con este nuevo sistema, de igual manera que Newton ciento y tantos años antes con la primera disposición, cuando halló el error en que había caído el gran matemático, quien sostenía que la luz del Sol era continua, esto es, que en su espectro no había solución de continuidad y que la luz se extendía sin interrupción desde el rojo hasta el violeta; al ensayar Wollaston la ranura, vió, por el contrario, que el espectro, en vez de ser una cinta con los colores del iris sin interrupción, presentaba una porción de cortes marcados por líneas negras finas y numerosas.

En 1814, Fraunhofer, óptico alemán, sin tener conocimiento del descubrimiento de Wollaston, se ocupó del estudio del espectro solar, marcando la posición de sus líneas principales con las letras A, B, C, etc., que desde entonces se conocen con el nombre de líneas de Fraunhofer; llegó á descubrir hasta 576 rayas negras, dibujándolas y señalando sus posiciones con el mayor esmero, valiéndose en sus trabajos de un prisma de flint colocado delante del objetivo del anteojo de un teodolito.

La fig. 165 representa el espectro según la descripción y los dibujos de Fraunhofer, pero muy reducido, pues es imposible indicar en esa escala todas las líneas. En la raya A casi termina el rojo y en la I el violeta, sin que se puedan fijar con exactitud los límites de estos colores en ninguna de las extremidades del espectro, si bien la parte del rojo se columbra con más facilidad que la del violeta. Después de A se ve un grupo de líneas en *a*, que forman una banda más oscura que las porciones adyacentes. La línea B es de otro carácter, y de grueso considerable; de C á D se pueden contar nueve líneas muy delicadas y finas. La C es ancha y negra lo mismo que D; entre C y D se encuentran cerca de treinta rayas finas que, exceptuando dos de ellas, sólo pueden percibirse con

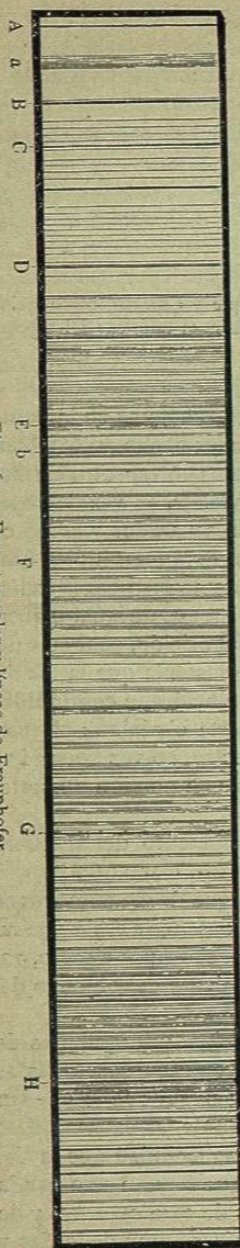


Fig. 165. - Espectro solar y líneas de Fraunhofer

gran poder amplificador y con varios prismas muy dispersivos; todas presentan bordes detallados.

Otro tanto ocurre con las líneas situadas entre B y C. La D consta de dos rayas gruesas separadas por un fino espacio brillante. Entre D y E se cuentan ochenta y cuatro líneas de diversos tamaños, y así seguía Fraunhofer enumerando, en su Memoria presentada á la Academia de Munich, todas las líneas del espectro hasta el número de 574, y terminaba diciendo: «Por diversos experimentos y modificaciones que he realizado, creo hallarme en estado de afirmar que esas rayas deben su origen á la naturaleza de la luz del Sol, sin que sea posible atribuirles á ilusiones ópticas, como de aberración ó alguna otra perturbación secundaria.»

Treinta años después de los experimentos é investigaciones de Fraunhofer, Zantedeschi, profesor de Física de la Universidad de Padua, se dedicó al estudio especial de las líneas negras del espectro solar. En vez de limitarse á observar, según el método de su predecesor, colocó el prisma entre dos lentes condensadoras; en el foco de una de ellas se disponía la ranura, sirviendo la otra para proyectar el espectro sobre una pantalla. Con estos medios construyó un aparato que en sus órganos esenciales poco difiere del espectroscopio que ahora se emplea.

La importancia que había de llegar á adquirir el análisis espectral no escapó á la penetración de Zantedeschi, pues en su obra publicada en Venecia en 1846, y que lleva por título *Investigaciones físico-químico-fisiológicas sobre la luz*, se expresa del modo siguiente al hablar de la significación del espectro:

«El espectro solar es el fotoscopio más perfecto que pudiera imaginarse, en el estado actual de la ciencia; la luz se exhibe por sí misma, y con maravillosa escrupulosidad, registra los cambios que ocurren en la constitución de un cuerpo luminoso ó en el medio á cuyo través pasa. Recomiendo, por lo tanto, á los investigadores científicos la cámara oscura dispuesta especialmente para esta clase de observaciones fotográficas. Tengo el convencimiento más profundo de que estas investigaciones serán en extremo provechosas, no sólo para el estudio de la luz, sino también para el de la meteorología y astronomía. La luz, que

en nuestros días se considera como el pintor de la Naturaleza, puede llegar á ser también su propio dibujante, puesto que á cada paso nos revela nuevas maravi-

llas, relativas á los misterios de su constitución y á los cambios que experimenta, no sólo en nuestro sistema planetario, sino también en todo el universo.»

Todo aparato espectroscópico, ó espectroscopio, independientemente de la fuente de luz, se compone de una ranura de ajuste, una lente llamada colimadora y cuyo oficio es dar paralelismo á los rayos que salen de la ranura, y un prisma; además, como el espectro, al salir de aquél, presenta una longitud escasamente

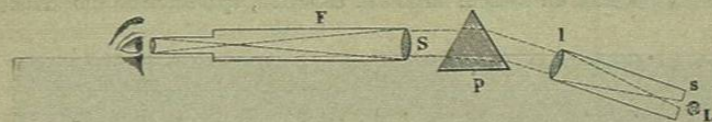


Fig. 166. - Espectroscopio simple

mayor que el ancho de la ranura y sólo adquiere alguna mayor dimensión á medida que crece la distancia del prisma, se introduce una lente amplificadora con objeto de que el ojo, aun cuando colocado á corta distancia de la pieza de dispersión, vea el espectro de largo suficiente; de modo que, en vez de observar á la simple vista, se hace uso de un antejo de poder moderado. Este anteojito no sirve exclusivamente para agrandar el espectro, sino también para que el ojo reciba la totalidad de la luz que pasa de la lente colimadora á través del prisma; sin el antejo, tan sólo penetraría en el órgano visual el haz de rayos que tuviera por base la abertura de la pupila.

Dijimos que los rayos coloreados que componen el espectro forman un ángulo con los rayos incidentes que entran en el prisma. Es necesario, por lo tanto, al observar el espectro, que el tubo del antejo dirigido á la cara externa del prisma se coloque en distinta dirección que el tubo que contiene la ranura y la lente colimadora. Un espectroscopio de esta clase es el que representa la figura esquemática 166; la luz emitida por

L, después de pasar por la ranura *s* y la lente colimadora *L*, llega al prisma *p* en rayos paralelos; en éste se refringe y descompone á un mismo tiempo, y forma, por tanto, el espectro *S*, que se ve en el antejo *F*, en una dirección muy diferente de la del tubo *s L*.

Para poder determinar la posición de las rayas del espectro, lleva el aparato un tercer tubo *S'* que con los demás va fijo al pie del instrumento (fig. 167), pudiendo girar en un plano horizontal; en el extremo de este tubo se adapta una escala dividida en milímetros *m*, fotografiada en una lámina de cristal; el tubo

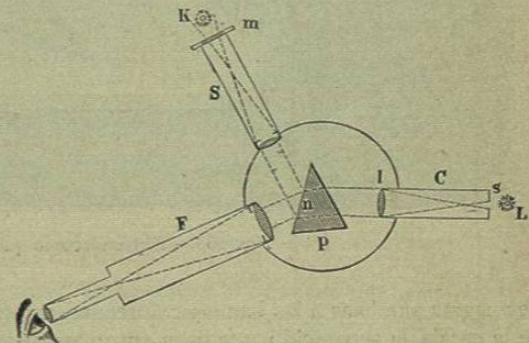


Fig. 167. - Escala graduada del espectroscopio

S' está inclinado de tal manera respecto de la superficie del prisma  $n$  á la cual se dirige el anteojo, que sus ejes forman un mismo ángulo con la superficie del prisma; en consecuencia, la escala  $m$ , siguiendo las leyes de la reflexión de la luz, se refleja en la cara externa y pulimentada del prisma, en la dirección del eje del anteojo F, donde aparece su imagen ampliada, al mismo tiempo que el espectro; la escala  $m$  se ilumina con una bujía  $k$ , de modo que su imagen se vea con perfecta claridad en todo el largo del espectro, apareciendo sus divisi-

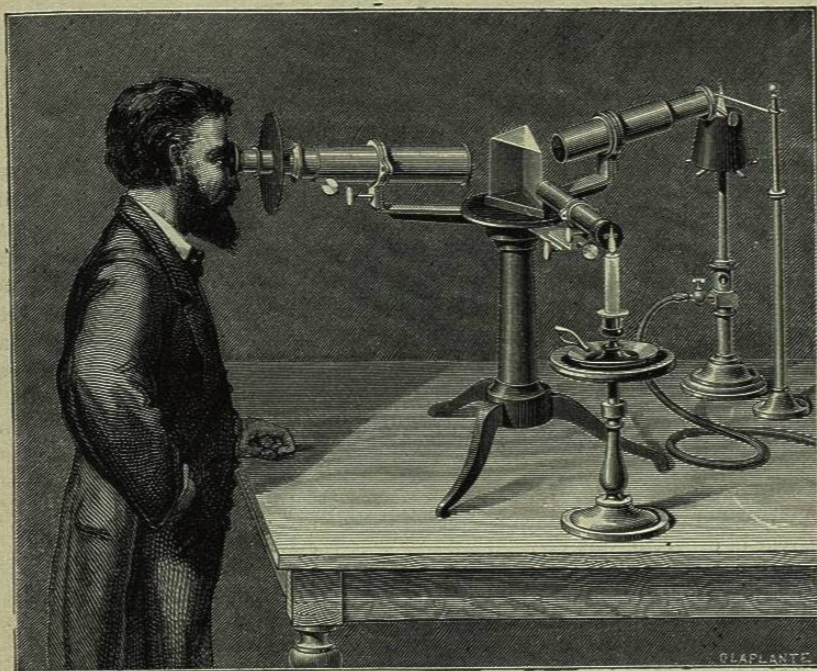


Fig. 168. - Espectroscopio químico

nes negras paralelas á las bandas coloreadas, así que es muy fácil leer en partes de la escala la separación que haya entre los matices del espectro. La fig. 168 representa en perspectiva y completo el espectroscopio que acabamos de describir, que también se llama químico por la gran aplicación que tiene en los laboratorios.

El espectroscopio simple tiene el inconveniente de que, al efectuar un trabajo de análisis espectral, no se mira exactamente en la dirección de la luz, y por consiguiente, no se encuentra el espectro sino después de buscarlo por algún tiempo, para lo cual hay que variar las posiciones relativas del colimador y del analizador. Mucho más cómodo resulta un espectroscopio que tenga en línea recta la ranura, las lentes, el prisma y el anteojo, pues con tal disposición sólo

se necesita mirar directamente al foco luminoso que se quiera examinar, para distinguir el espectro.

Amici, famoso óptico italiano, fué el primero que construyó un espectroscopio de esta clase, combinando dos prismas de crown con un tercero de flint interpuesto. En este sistema los rayos de refrangibilidad media no sufren divergencia, así que el espectro de un objeto luminoso puede verse en dirección rectilínea, porque la dispersión producida por el prisma de flint en un sentido, es mayor que la ocasionada por los dos prismas de crown en la dirección opuesta.

El óptico de París Hofmann, utilizando el principio de Amici, construyó un espectroscopio de visión directa, que así se llaman estos instrumentos, de múltiples aplicaciones. Su aspecto es el de un pequeño anteojo común (figura 169), y puede tenerse á la mano para observar, ó colocarlo sobre un pie giratorio, si se desea mayor estabilidad; el dibujo muestra las diversas piezas que componen el aparato en sus posiciones respectivas. En la extremidad que se dirige hacia la luz que ha de examinarse, se encuentra la ranura S, formada por dos láminas de acero que pueden separarse ó unirse por, medio del tornillo V y de un muelle antagonista. En L va la lente colimadora L, cuyo oficio es

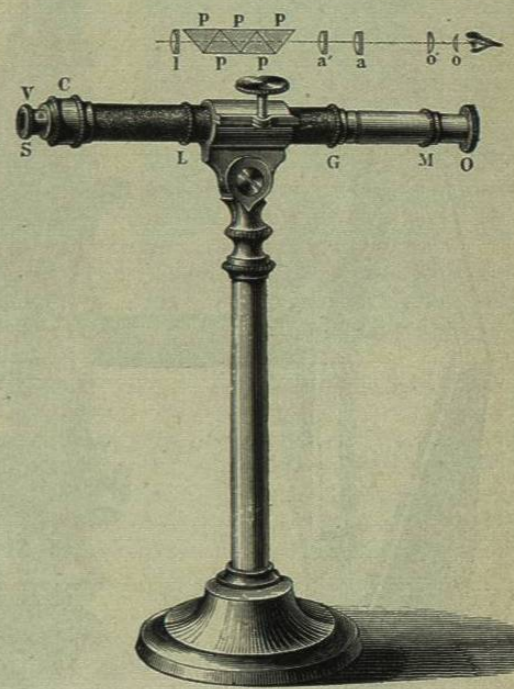


Fig. 169. - Espectroscopio de visión directa

hacer paralelos los rayos divergentes de la ranura S antes de que penetren en el sistema de cinco prismas  $p$ , tres de flint y dos de crown, de tal modo tallados y combinados, que los rayos coloreados centrales emergentes son precisamente prolongación del haz incidente, y por lo tanto, pasa en línea recta por el tubo L, G, M, O, en el cual ocupan los prismas el espacio comprendido entre L y G. Las lentes  $a'$  y  $a$ , detrás de S, forman el objetivo y las  $o'$   $o$  el ocular del anteojo que sirve para observar el espectro formado; estas últimas lentes van insertas en un tubo de corredera para que pueda enfocarse el anteojo, según la vista del observador, y según también la región del espectro que se examine.

Los prismas de crown que se emplean para corregir la desviación de los rayos, absorben luz, y por consiguiente, debilitan el espectro; por eso cuando se quiere obtener una dispersión considerable, empleando numerosos prismas, se

acude al primer sistema del espectroscopio simple. Así se han construido espectroscopios de cuatro, seis y hasta once prismas, no sólo de flint, sino también de sulfuro de carbono.

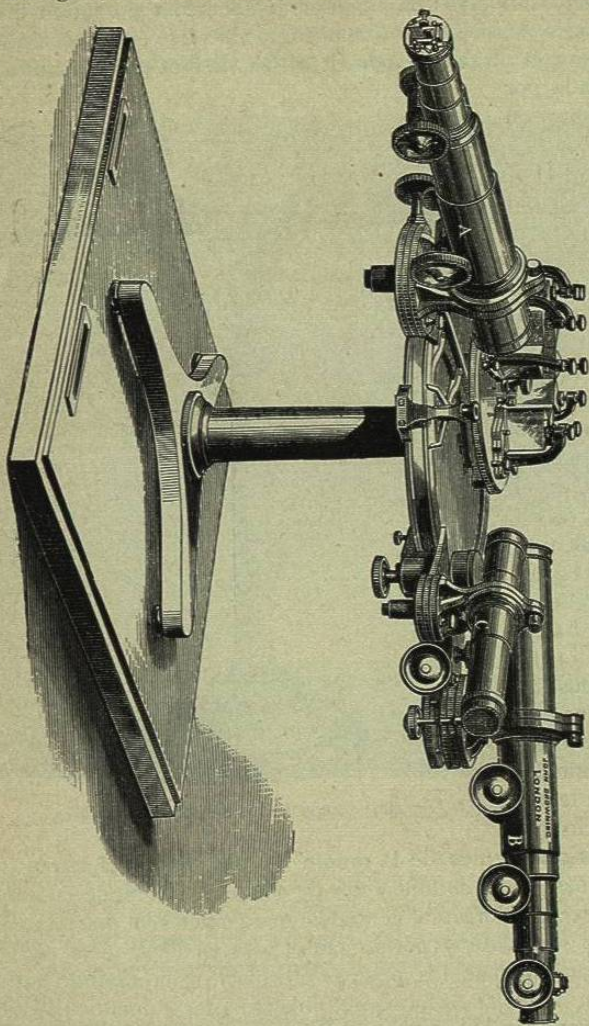
La fig. 170 representa uno de los grandes espectroscopios construidos en Inglaterra y destinado

á estudios físicos y químicos, que posee el Observatorio de Kew, y en la figura 171 se representa la marcha que siguen los rayos de luz que, procedentes de la ranura, salen del colimador A, atraviesan la batería de nueve prismas, describiendo una circunferencia completa, y entran en el antejo analizador B.

En estos grandes instrumentos no basta, para medir las rayas del espectro, la escala permanente que describimos al hablar del espectroscopio simple; hay otro sistema preferible, que consiste en una marca ó señal fija de tal ó cual clase, como, por ejemplo, un alambre muy fino, una cruz filar, ó también una línea brillante, que en una armadura pueda correr á lo largo

del espectro por la parte interna del antejo analizador; este aparato se llama micrómetro, y se compone, esencialmente, de la pieza de corredera *a* (fig. 172) que lleva una hendidura con un hilo muy delgado, un bastidor *bb* y un tornillo de paso finísimo *d*, cuya cabeza *c* está dividida como un círculo graduado y pasa muy cerca de una reglita *n*, con la cual pueden medirse partes de una re-

Fig. 170 - Gran espectroscopio de Kew



volución, mientras que el número de revoluciones completas se registra por medio del indicador de la corredera *a* al pasar por las divisiones del bastidor *bb*. Con este micrómetro se aprecian centésimas de milímetro.

Todos los cuerpos sólidos ó líquidos cuya temperatura se eleva lo bastante para hacerlos incandescentes y que emitan luz, examinados con el espectroscopio, presentan un espectro continuo, esto es, un espectro con los colores del iris, empezando en el rojo y concluyendo en el violeta, pero sin rayas negras, como el espectro solar. Se parecen tanto unos á otros, que sólo se les puede diferenciar en muy determinados casos; la luz oxhídrica, la de un alambre de platino puesto incandescente por el paso de la corriente eléctrica, la de magnesio ó la llama de gas del alumbrado, analizadas con el prisma, ofrecen siempre un espectro continuo, con la única diferencia de que los colores no se hallan constantemente distribuidos en igual proporción en cada espectro particular, y, por consiguiente, según la clase de cuerpo empleado, predomina el rojo unas veces, y otras el amarillo ó el violeta. Únicamente en algunos casos muy especiales, emiten los cuerpos sólidos con algún predominio rayos coloreados y particulares, como ocurre con el *erbio*, substancia rarísima. Es posible, pues, establecer como regla general que todo espectro continuo en el que no se observen líneas brillantes ni negras, ni bandas oscuras, y que contenga todos los matices del iris, está producido por un cuerpo sólido ó líquido incandescente.

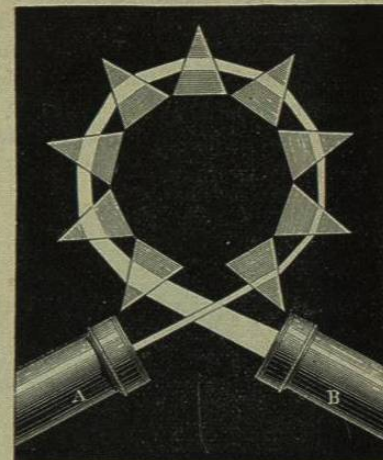


Fig. 171. - Curso de los rayos luminosos á través de nueve prismas

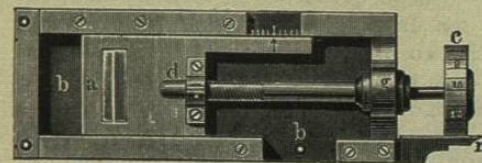


Fig. 172. - Micrómetro para medir las distancias de las líneas del espectro

Por el contrario, los espectros de los gases luminosos son muy diversos, y en vez de la continua y no interrumpida sucesión de colores, se distinguen en la banda prismática líneas brillantes coloreadas, separadas unas de otras por espacios oscuros. Como la mayor parte de los cuerpos de la naturaleza son sólidos ó líquidos, la primera operación que tenemos que efectuar para analizarlos espectroscópicamente es la de reducirlos al estado gaseoso.

La temperatura á que se volatilizan los cuerpos es muy variable; para algunos basta el calor de una lámpara común de alcohol, como por ejemplo, para el potasio, el sodio, etc.; mas para los metales pesados especialmente y sus compuestos, es indispensable la poderosa temperatura de la chispa eléctrica. En mu-