

En suma, de 60 nebulosas cuya luz ha analizado Huggins, 41 han dado un espectro continuo, y de estas, 10 son cúmulos estelares y 15 nebulosas consideradas por los astrónomos como resolubles en estrellas. No se ha podido resolver en estrellas ninguna de las 19 nebulosas que dan un espectro formado de rayas brillantes.

IV

EL ANÁLISIS ESPECTRAL Y LOS MOVIMIENTOS REALES DE LAS ESTRELLAS

Para terminar cuanto tenemos que decir acerca de las aplicaciones del análisis espectral á la astronomía, recordaremos lo que hemos dicho en otra parte de esta obra con respecto á la influencia del movimiento en el timbre del sonido. Cuando por efecto del movimiento del observador ó del cuerpo sonoro el foco del que emanan las ondas sonoras se aleja, el sonido se torna más grave, y si el foco se acerca, parece más agudo. Ya indicamos la razón de esta modificación que consiste en que las ondas sonoras llegan al oído, durante el segundo período, en un tiempo dado, un segundo verbigracia, en mucho mayor número que si el cuerpo sonoro estuviera en reposo; el sonido parece entonces formado por mayor cantidad de vibraciones, y por lo tanto, más agudo; en cambio, durante el primer período, las vibraciones son menos numerosas y disminuye el timbre del sonido. Virtualmente, las longitudes de onda han aumentado en el primer caso y disminuido en el segundo.

Pues bien, la luz es, como el sonido, producto de las vibraciones periódicas; las ondulaciones más rápidas ó más cortas son las que corresponden á las partes más refrangibles del espectro; las más largas ó más rápidas, á las partes de refrangibilidad menor.

Por consiguiente, el movimiento de un foco luminoso, dando por supuesto que su velocidad sea comparable con la de la luz, debe influir también en la aparente refrangibilidad de los rayos ó de las ondas que lo componen, y aumentar esta refrangibilidad si el foco se acerca al observador ó disminuir si se aleja de él.

M. Doppler fué el primero en llamar la atención sobre la relación que debe existir entre los colores de las estrellas y sus movimientos. En

su concepto, todas las estrellas son blancas; pero las que se alejan parecen rojas, y las que se acercan tienen una luz que tira á verde ó azul. Pero, según lo ha hecho notar el P. Secchi, con razón á nuestro parecer, la luz blanca contiene rayos más refrangibles que la morada, y otros menos refrangibles que la roja. Así pues, el efecto del movimiento debe hacer perceptibles tanto unos como otros rayos, y siendo siempre igual la cantidad de los rayos de refrangibilidad diversa, el color no parecerá alterado.

Para que fuese posible comprobar la hipótesis de Doppler, se requeriría que la luz de cualquier estrella fuese monocromática, en lugar de estar compuesta de una multitud de ondas de longitudes y refrangibilidades distintas. El análisis espectral ha resuelto esta dificultad. Acabamos de ver que los espectros de las luces estelares están surcados, como el del Sol, de rayas ó bandas oscuras, y que ha sido posible identificar varias de ellas con las rayas espectrales de algunos cuerpos simples terrestres, por ejemplo, los metaloides, como el hidrógeno, ó metales como el magnesio, el sodio, el hierro, etc.

Supongamos pues, que el observador, estudiando el espectro de una estrella en el que una raya determinada revela la presencia del magnesio, se sirve del mismo espectro para analizar simultáneamente la luz de la estrella en cuestión y la artificial del magnesio. Si la Tierra y la estrella están en reposo relativo, dicha raya deberá coincidir perfectamente en los dos espectros superpuestos. Si por el contrario, la estrella se mueve, y se acerca ó se aleja con rapidez bastante grande, el observador notará que la raya del magnesio se desvía, ora hácia el morado ó bien hácia el rojo; la dirección y la medida de esta desviación le permitirán calcular la velocidad con que el astro se mueve, y que es relativa, toda vez que comprende la velocidad misma de nuestro planeta y la del sistema solar en el momento de la observación.

Investigación sobremedida difícil es esta, porque aún cuando la velocidad de la estrella sea considerable, la desviación que se ha de medir es muy pequeña. Los primeros astrónomos que aplicaron este método al estudio de los movimientos estelares, como Huggins y

Miller, Maxwell y Secchi, no lograron buen éxito al principio, pero el perfeccionamiento de los métodos de observación ha dado por fin resultados satisfactorios. En 1868 Huggins consiguió notar un ligerísimo cambio de refrangibilidad en una línea del espectro de Sirio, y dedujo de sus medidas que la estrella y la Tierra se apartaban entonces con una velocidad comprendida entre 42 y 58 kilómetros por segundo. Era preciso deducir la componente, en la dirección de Sirio, de la velocidad propia de la Tierra en su órbita (velocidad que se conoce siempre en la época de la observación) para

averiguar la verdadera de la estrella. Hechas las correcciones necesarias, Huggins pudo asegurar que Sirio se alejaba de nosotros en dicha época recorriendo de 29 á 35 kilómetros en el sentido del rayo visual.

El mismo observador por una parte, y M. Cristie, astrónomo del Observatorio de Greenwich por otra, estudiaron y midieron posteriormente los movimientos de cierto número de estrellas, y sus resultados concordantes atestiguan en favor de esta nueva y curiosa aplicación del análisis espectral á las cuestiones astronómicas.

CAPITULO IX

LAS RADIACIONES SOLARES LUMINOSAS CALORIFICAS Y QUIMICAS

I

COEXISTENCIA DE LAS PROPIEDADES LUMINOSA, CALORIFICA Y QUÍMICA DEL ESPECTRO

De los experimentos descritos en el capítulo VII se desprende que todo haz de luz blanca se compone de una porción de radiaciones que difieren por su grado de refrangibilidad y por su color. Si la luz descompuesta por el prisma pertenece á un sólido ó á un líquido incandescente, por ejemplo á un baño de platino fundido (al blanco brillante), el espectro es continuo; contiene radiaciones cuya refrangibilidad va creciendo por grados insensibles, desde el rojo oscuro hasta el extremo morado. Si la luz procede de un gas, el espectro está, por el contrario, formado de cierto número de rayas brillantes separadas por espacios oscuros más ó menos anchos. Si finalmente, la luz emana de un foco que por sí solo daría un espectro continuo, y atraviesa además un medio absorbente, una atmósfera gaseosa más ó menos compleja, entonces el espectro presentará mayor ó menor número de rayas negras: su continuidad quedará interrumpida por estas líneas, que corresponden precisamente á las rayas brillantes que darían las sustancias de la atmósfera absorbente, si se analizara su luz aisladamente con el prisma: tal es el espectro de la luz del Sol.

Como se ve, dos caracteres distinguen á las varias radiaciones, la *refrangibilidad* y el *color*; propiedades ambas indisolublemente unidas entre sí, de suerte que á un rayo luminoso de refrangibilidad determinada corresponde siempre el mismo color ó el mismo matiz.

Sabemos ya (y en breve volveremos á ocuparnos de este asunto al exponer la teoría de la luz) que la causa de los fenómenos luminosos procede de un movimiento vibratorio de los focos, movimiento que se propaga por el éter en forma de ondulaciones sumamente rápidas y cortas, contándose por billones el número de vibraciones efectuadas en un segundo por una molécula de éter, y midiéndose por millonésimas de milímetro la longitud de onda ó el camino recorrido por la ondulación en el mismo espacio de tiempo. Este fenómeno es análogo al de las ondas sonoras, excepto en lo que respecta al número y á la medida y también al modo de propagación.

Hemos visto que los sonidos difieren de *timbre* y que este elemento depende del número de vibraciones en la unidad de tiempo del foco sonoro, al paso que la fuerza ó intensidad del sonido está íntimamente unida con la amplitud de las ondas. En los fenómenos luminosos, el número de vibraciones ó la longitud de onda es lo que diferencia las radiaciones en cuanto

á la refrangibilidad ó al color; de suerte que el color de la luz viene á equivaler al timbre del sonido, y la intensidad luminosa podría medirse tambien por la amplitud de las ondulaciones etéreas.

Finalmente, hay otra analogía entre el sonido y la luz. Así como la escala de los sonidos perceptibles bajo el punto de vista del timbre está comprendida entre dos límites, uno inferior y otro superior, así tambien las radiaciones luminosas lo están entre dos extremos, que son los límites del espectro visible. La luz solar, que es el más poderoso de todos los focos conocidos, está formada de radiaciones que se extienden un poco más allá de la raya A de Fraunhofer hacia el lado del rojo y algo más allá de la raya H en el morado.

Sin embargo, estos límites sólo son relativos en cuanto á las radiaciones capaces de producir alguna impresion en la retina y de determinar en nosotros la sensacion de la luz. Pues bien, esta propiedad que tienen las radiaciones solares de ser percibidas por el ojo es puramente subjetiva, es decir, depende únicamente de la conformacion de nuestro órgano visual y de nuestra sensibilidad, que es una aptitud puramente fisiológica. En realidad, dichas radiaciones poseen además otras dos propiedades; una de ellas consiste en calentar los cuerpos, la otra en modificar en diferentes grados ciertas sustancias, produciendo combinaciones ó descomposiciones químicas. En una palabra, las radiaciones solares no son *luminosas* solamente, sino que al propio tiempo son *caloríficas* y *químicas*.

No era posible estudiar con provecho estas propiedades, que coexisten en un mismo haz de luz solar, sino sometiéndolas al análisis prismático, como se hizo con los rayos de diferentes refrangibilidades. Pues bien; del estudio de los tres espectros, luminoso, calorífico y químico, ha resultado una consecuencia de grandísimo interés; á saber, que el espectro comprendido entre las rayas A y H de Fraunhofer no representa ni con mucho la verdadera extension del espectro solar completo, ó si se quiere, que más allá de las radiaciones luminosas las hay caloríficas y tambien químicas. Antes de describir los experimentos merced á los cuales se ha averiguado así, entremos en al-

gunos detalles acerca de las intensidades relativas de las varias partes que componen el espectro luminoso, ó lo que es lo mismo, acerca del brillo de los diferentes colores del espectro solar.

Cuando se comparan en un mismo espectro las intensidades luminosas de los siete colores primitivos, se reconoce al punto que la parte más brillante está en el amarillo. Desde este color el brillo va disminuyendo, tanto hácia la parte del extremo rojo como hácia la del morado. Además, se ve que se puede dividir naturalmente los colores en dos clases, comprendiendo en la primera los *luminosos*, como el rojo, el verde y el amarillo; y en la segunda los *oscuros*, azul, añil y morado, á los cuales pueden agregarse los rayos del extremo rojo. Mediante un sencillo experimento se puede juzgar, ya que no medir, la diferencia que existe entre el poder lumínico de varios colores: ábrase un libro cualquiera, y recibiendo el espectro en la parte impresa de sus páginas, se verá que los caracteres serán perfectamente legibles en el anaranjado, amarillo y verde, al paso que costará trabajo discernir los que reciben los otros colores. Procediendo de este modo, y averiguando cuál era la mayor distancia á que podía leer en las diferentes regiones del espectro, vió Herschel que la principal intensidad luminosa estaba en el amarillo y en el verde.

Segun Fraunhofer, que ha estudiado fotométricamente las intensidades luminosas de los colores del espectro, el máximo de brillo se halla entre las rayas D y E, en el límite del amarillo; pero este punto está más inmediato á D, y su distancia á esta última línea viene á ser la décima parte del intervalo total DE. Otros métodos más precisos han permitido apreciar numéricamente los poderes lumínicos del espectro en los puntos en que lo cortan las ocho rayas principales de Fraunhofer. Fijando en 1000 el brillo máximo, las intensidades luminosas á que nos referimos son las siguientes:

Colores.	Intensidades luminosas.	Rayas.
Extremo rojo.	insensible	A
Rojo.	32	B
Anaranjado.	94	C
Amarillo.	640	D
Verde.	1000	E
Azul.	480	F
Añil.	170	G
Extremo morado.	31	H
	6	

Cuando tratemos de los procedimientos que constituyen la fotometría, que tiene por objeto la comparacion de las intensidades luminosas, diremos cómo han podido efectuarse estas medidas. Mientras tanto haremos observar que no pueden ser muy exactas, porque dicha comparacion no es rigurosamente posible sino entre luces del mismo tono ó matiz, lo cual no sucede con las regiones del espectro, cuyos colores son tan desemejantes.

II

RADIACIONES CALORÍFICAS DEL ESPECTRO. — ESPECTRO ULTRA-ROJO

¿El calor de los rayos solares se distribuye con igualdad por toda la extension del espectro, ó por el contrario, tienen los diferentes rayos de colores, además de distinta intensidad luminosa, poderes caloríficos desiguales? A esta cuestion, há largo tiempo planteada, no respondieron en un principio los físicos sino con una hipótesis que parecia bastante natural; que la intensidad de la radiacion calorífica era proporcional en el espectro á la intensidad de la luminosa, hipótesis que pareció confirmada por los experimentos de Rochon y Sennebie. Segun estos, los rayos más luminosos eran tambien los más calientes, de suerte que creyeron situado el máximo de calor en el amarillo, pero muy luégo aseguraron otros físicos que este máximo estaba en el rojo, ó en el extremo de este color.

En 1800 ocupóse prácticamente sir W. Herschel de este interesante asunto: fué pasando la bola de un termómetro por las regiones sucesivas de un espectro formado con un prisma de flint, y vió que la temperatura iba creciendo desde el morado hasta el rojo. Ocurriósele en vista de esto la idea de llevar más adelante el experimento, y observó con sorpresa que el máximo de calor estaba más allá del extremo rojo, en un punto en que la vista no percibia el menor asomo de luz, de lo cual dedujo la consecuencia de que en la luz solar hay radiaciones invisibles que producen calor y cuyo grado de refrangibilidad es menor que el de los rayos rojos del espectro luminoso. Herschel no pudo determinar el límite de esta parte del espectro calorífico; contentóse, dice Brewster, con cerciorarse de que hasta en un punto dis-

tante pulgada y media (38 milímetros) del extremo rojo, los rayos invisibles tenían un calor considerable, aun estando el termómetro á 52 pulgadas (1^m,32) del prisma.»

Acabamos de ver que se halló el máximo de calor en diferentes puntos del espectro, ora en el amarillo (Rochon y Sennebie), ora en el rojo ó precisamente en el extremo rojo (Béard), ó bien más allá del rojo (Herschel). Segun Seebeck (1828), todas estas opiniones son ciertas, porque resultando el calor transmitido por los rayos de colores absorbido con desigualdad segun la naturaleza del prisma, de la sustancia de éste debe depender la posicion del máximo calorífico. Y en efecto, este físico hizo ver que los rayos caloríficos más intensos son los del amarillo, del anaranjado, del rojo ó del extremo rojo, segun que se haya dispersado la luz solar con prismas formados con agua ó alcohol, ácido sulfúrico concentrado, vidrio ordinario, ó crown-glass ó flint-glass inglés.

Los experimentos de Melloni demostraron que los resultados obtenidos de tal suerte relativamente á la posicion del máximo de temperatura en el espectro, no son contradictorios. Consisten en que hay una absorcion de rayos caloríficos que depende á la vez de su refrangibilidad y de la sustancia del prisma. Como la sal gema absorbe poco ó nada el calor, ya sea este oscuro ó luminoso, ningun prisma es más á propósito que el de dicha sal para comparar los poderes caloríficos de los varios rayos coloreados. Haciendo uso de él, Melloni ha demostrado que la temperatura de estos rayos va creciendo del morado al rojo, hallándose el máximo mas allá del rojo, en la prolongacion del espectro, á una distancia del límite extremo del rojo igual á la que media entre este límite y el azul-verde. Más allá el calor disminuye, pero todavia se nota cuando se llega á una distancia del rojo igual á toda la extension del espectro luminoso. Muller y Franz han reproducido los experimentos de Melloni.

Segun este último físico, «el máximo de temperatura en el espectro calorífico normal del Sol no se halla siempre en la misma posicion, sino unas veces más próximo y otras más remoto del límite rojo, áun cuando la atmósfera presente en apariencia la misma limpidez en