

La explicación de los variados colores que caracterizan á las luces estelares debe depender, según Huggins, de la constitución de su espectro. La luz, en el momento de su emisión, sería blanca respecto de todas las estrellas; mas antes de difundirse por el espacio debe atravesar las atmósferas variadísimas de cada uno de estos soles. Este trayecto es el que produce la absorción de tales ó cuales rayos, según la naturaleza química de los vapores de las atmósferas solares, dando origen á las rayas oscuras de cada espectro. Como estas rayas son más ó menos oscuras y numerosas en las diversas regiones del espectro, resulta para el color de estas regiones una disminución de intensidad que permite el predominio de los otros colores, menos absorbidos. Las estrellas blancas deben ser aquellas cuyas rayas están diseminadas casi por igual en toda la longitud del espectro, por ejemplo Sirio. Las rojas ó anaranjadas son las que tienen muchas rayas en el verde y en el azul: tales son *alfa* de Orion y *beta* del Pegaso.

Merced á un estudio comparativo de los espectros de las componentes de estrellas dobles, ha podido Huggins averiguar que el color azul de la estrella menor, ó sea de la estrella satélite, es real y no producido por un efecto de contraste. Dicho astrónomo toma por ejemplo las componentes de la estrella doble *alfa* de Hércules. El espectro de la principal es notable por ciertos grupos intensos de rayas oscuras en el verde, en el azul y en el morado; en el amarillo, anaranjado y rojo sólo hay algunas muy tenues; de suerte que la disposición de las bandas de absorción concuerda con el color de esta estrella en que predomina el anaranjado. La luz del satélite es, por el contrario, azul-verdosa: su espectro está surcado de muchos grupos de líneas en el rojo y en el anaranjado, al paso que la región más refrangible adquiere mayor brillo á causa de la falta de rayas fuertes. En virtud de un análisis semejante, efectuado en las componentes de *beta* del Cisne, la una anaranjada y la otra azul, Huggins ha hecho las mismas deducciones.

El análisis espectral de la luz de las estrellas variables ó efímeras no da resultados menos interesantes que el que tiene por objeto las estrellas simples ó dobles de luz constante. Hemos visto más arriba que, según Secchi, las estrellas cuyo espectro pertenece al tercer tipo son por lo regular variables. Pero importaba comparar el estado de sus luces con las diversas fases de sus períodos. Consideremos con este astrónomo dos de las más célebres: Algol, de período corto y regular, y *omicron* ó Mira de la Ballena, estrella variable de períodos largos.

“Algol, examinada muchas veces en la época de su *mínimum* de brillo, ha presentado siempre (como en su *máximum*) el mismo tipo que *alfa* de la Lira.” La deducción que debe sacarse de esta constancia en el espectro de la estrella es, según Secchi, que la variación no dimana de un cambio real en la constitución de la misma, porque el espectro variaría si la temperatura cambiase. El astrónomo romano la atribuye á los eclipses de un cuerpo opaco que hiciera su revolución alrededor de la estrella en 2 días 21 horas. “Esta idea, ya emitida anteriormente, dice Delaunay, concuerda muy bien con la regularidad del fenómeno y con la escasa duración de la fase de disminución (algo menos de 7 horas) relativamente á la duración total de un período.”

No sucede lo propio con Mira. Su espectro es del tercer tipo, de canales cilíndricos perfectamente marcadas, con las mismas rayas negras que en el de la estrella tipo *alfa* de Hércules. “Pero á medida, dice el P. Secchi, que la estrella adquiere brillo, las rayas negras del amarillo y las primeras del verde parece disminuir de pureza y volverse menos negras, caso interesante por cuanto indicaría un foco de variabilidad diferente del de Algol.” El mismo astrónomo indica como hecho notable el de que las estrellas

variables de período regular (como *alfa* de Orion, *alfa* de Hércules, Mira, etc.) son estrellas del mismo tipo, de zonas múltiples.

“Esta constitución espectral, dice, indicio de grandes atmósferas absorbentes, induce á suponer que su variabilidad procede probablemente de crisis experimentadas por la atmósfera que las rodea.”

Vamos ahora á ver que estas crisis ocurren en las estrellas nuevas ó efímeras, en mucha mayor escala, pero sin periodicidad regular.

La aparición de la estrella nueva de la Corona boreal (mayo de 1866) dió ocasión oportuna para estos descubrimientos. Reproduzcamos lo que dicen los mismos observadores, Huggins y Miller:

“El espectro de la estrella variable de la Corona se presenta formado de dos espectros superpuestos, el primero consistente en cuatro rayas brillantes, y el segundo análogo al del Sol, resultando cada cual de la descomposición de un haz luminoso independiente de la luz que da origen al otro. El espectro continuo atravesado por grupos de

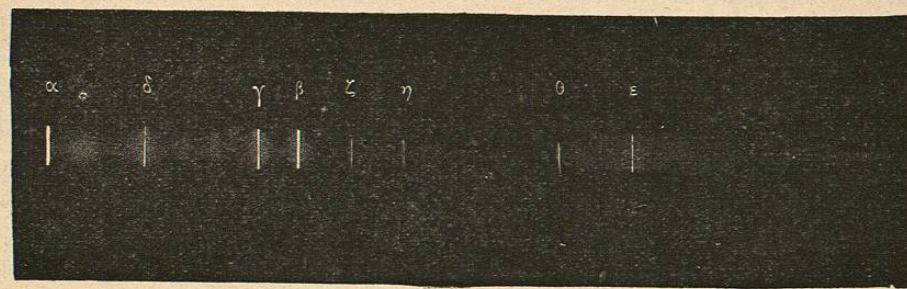


Fig. 522.—Espectro de la estrella efímera del Cisne

rayas oscuras indica la presencia de una foto-esfera de materia incandescente, probablemente sólida ó líquida, rodeada de una atmósfera de vapores más fríos, que producen por absorción los grupos de rayas oscuras. Hasta aquí la constitución de este astro es análoga á la del Sol, pero ofrece un espectro adicional compuesto de rayas brillantes, que denota la presencia de una segunda fuente de luz, que debe ser un *gas en extremo luminoso*. Además, las dos rayas brillantes principales de este espectro nos prueban que este gas se componía principalmente de hidrógeno, y su gran brillo demuestra que la temperatura del gas luminoso ha sido más elevada que la de la foto-esfera. Estas circunstancias, agregadas á la repentina explosión de la luz en la estrella, á su inmediata y no menos rápida disminución de brillo, y á su tránsito en doce días de la segunda á la octava magnitud, nos inducen á suponer que el astro ha quedado bruscamente rodeado de llamas de hidrógeno en combustión. Podría suceder que hubiese sobrevenido en él alguna gran convulsión con un enorme desprendimiento de gas puesto en libertad. Una gran parte de este gas era hidrógeno que ardía en la superficie de la estrella combinándose con algún otro elemento. Este gas inflamado emitía la luz caracterizada por el espectro de las rayas brillantes. El espectro de otra porción de la luz estelar podía indicar que tan terrible deflagración gaseosa había caldeado y dado una vivísima incandescencia á la materia sólida de la foto-esfera. Cuando el hidrógeno libre se hubo agotado, la llama disminuyó gradualmente, la foto-esfera perdió gran parte de su luz, y la estrella volvió á su primitivo estado.”

“No debemos olvidar, añade Huggins, que la luz, á pesar de su rapidez, necesita cierto tiempo para llegar desde la estrella hasta nosotros. Por consiguiente, esta gran

convulsión física, nueva para nosotros, era ya un suceso añejo relativamente á la estrella misma. En 1866, hacía ya muchos años que se hallaba en las nuevas condiciones que le ha creado tan violenta catástrofe.,,

Esta última observación es aplicable, según hemos dicho más arriba, á todos los fenómenos celestes del mundo sidéreo. Los rayos de luz emanados de las estrellas van llegando continuamente á la Tierra después de efectuar viajes cuya duración se cuenta por años y probablemente por siglos.

No cabe duda de que las estrellas nuevas de 1672 y de 1504, y la estrella efímera tan extraordinariamente variable *eta* de Argos, son soles que, como la estrella de la Corona, han sido teatro de inmensas conflagraciones, en que el hidrógeno ha debido de entrar por mucho.

Otro tanto ha sucedido probablemente con la nueva estrella que apareció en la constelación del Cisne á fines de 1876. Vista por primera vez en Atenas por M. Schmidt, el 24 de noviembre (cerca de la estrella *zeta* de la misma constelación), la estrella nueva, muy amarilla, era entonces de tercera magnitud, más intensa que *eta* del Pegaso. M. Pablo Henry la observó en París á fines de noviembre, habiéndole parecido de quinta magnitud y de color verdoso casi azul. En diciembre, M. Cornu hizo el siguiente análisis de la luz de la nueva estrella:

Vió que su espectro se componía "de cierto número de rayas brillantes, que se destacaban sobre una especie de fondo luminoso, casi enteramente interrumpido entre el verde y el añil, de suerte que á primera vista le pareció formado de dos partes separadas.,,

Cornu designó las ocho rayas brillantes, con relación á su brillo, con las ocho letras del alfabeto griego *alfa*, *beta*, *gamma*, *delta*, *epsilon*, *eta*, *zeta*, *theta*: *alfa*, *eta* y *epsilon* corresponden casi idénticamente á tres líneas del hidrógeno (C, F y 434); *delta* es la raya del sodio ó más bien la D³ (helio) de la cromoesfera solar; *beta* corresponde á la triple raya *c* del magnesio; pero lo más interesante es la coincidencia probable de las rayas *gamma* y *theta* con otras dos rayas, una de las cuales (1474 de Kirchhoff) es una de las rayas características de la cromoesfera y de la Corona, y la segunda se ve también en la cromoesfera. "En resumen, la luz de la estrella posee, al parecer exactamente, dice M. Cornu, la misma composición que la envolvente del Sol llamada cromoesfera.,,

III

ANÁLISIS ESPECTRAL DE LA LUZ DE LAS NEBULOSAS

El estudio telescópico de las nebulosas, de esa especie de nubes diseminadas en tan crecido número por las regiones sidéreas, había dejado á los astrónomos en la incertidumbre de si todas ellas eran ó no irresolubles, es decir, de si podían descomponerse en estrellas, y si además de los cúmulos estelares había masas verdaderamente nebulosas, compuestas de una materia difusa que brillara con una luz *sui generis* probablemente incandescente. Podía, pues, suponerse que las nebulosas no resueltas por los telescopios más poderosos eran, como las demás, cúmulos de estrellas, pero demasiado lejanos para que fuese posible su descomposición. Al análisis espectral le estaba reservada la solución de tan interesante problema de astronomía física.

Indiquemos sucintamente los resultados alcanzados.

Corresponde á Huggins el honor de haber aplicado por primera vez el espectroscopio al estudio de la luz de las nebulosas, empezando por analizar en 1864 una de la constelación del Dragón. Su espectro le pareció formado únicamente de tres rayas brillantes aisladas; por consiguiente no era el de un cúmulo de estrellas distintas, sino el de una verdadera nebulosidad, de una aglomeración de materia gaseosa, luminosa é incandescente. La más brillante de las rayas observadas coincidía con la más marcada de las que son propias del nitrógeno; la más tenue con la raya verde del hidrógeno, y por fin la raya intermedia distaba poco de la del bario, pero no coincidía con ella. Las tres rayas brillantes se destacaban sobre una banda coloreada, formando un espectro continuo sumamente débil, casi sin anchura, como si proviniese de un punto luminoso situado en el centro de la nebulosidad. La nebulosa en cuestión, clasificada antes entre las planetarias, tiene en efecto un núcleo pequeño, pero muy brillante. Huggins dedujo de esto que la materia que formaba dicho núcleo no se halla probablemente en estado de gas, como la que lo rodea, y que más bien es una niebla de partículas sólidas ó líquidas incandescentes.

Huggins ha estudiado hasta setenta nebulosas, habiendo presentado la tercera parte de ellas una constitución análoga á la del Dragón, y reduciéndose sus espectros á una ó muchas bandas; las demás han dado, por el contrario, espectros continuos. Esta proporción de 1 á 2 entre las nébulas gaseosas y las estelares es quizás mayor de lo que daría el examen espectroscópico de la totalidad de las nebulosas. Y en efecto, Huggins ha elegido más especialmente para sus estudios aquellas cuyos caracteres (forma y color) debían presentar en su concepto una constitución gaseosa.

Entre las nebulosas de constitución gaseosa y cuyo espectro se compone de tres rayas brillantes citaremos una de Acuario, que aparecía en el telescopio de lord Rosse en forma de globo cortado por un anillo visto de canto, del propio modo que se ve á Saturno en una de sus fases, y además otra nebulosa de estructura parecida, pero cuyo anillo, visto de frente, rodea al globo luminoso. Una nebulosa espiral ha dado cuatro rayas brillantes. La nebulosa espiral de la Lira, así como Dumb-bell, la célebre nebulosa de la Zorra, tienen espectros de una sola raya brillante, que es la más viva de las tres rayas de la nebulosa del Dragón.

Finalmente, la gran nebulosa de *theta* Orion, que se parece á las anteriores por su color azul-verdoso, ha dado también un espectro compuesto de cuatro rayas brillantes, bien definidas con sus intervalos enteramente oscuros: la más brillante y menos refrangible coincide con una de las componentes de la doble raya del nitrógeno; la segunda es quizás una línea del hierro y las otras dos coinciden exactamente con las líneas F y G del hidrógeno. La nébula de Orion es, pues, otra nebulosidad gaseosa.

La constitución de la de Andrómeda es muy distinta. Su espectro no consta ya de rayas brillantes, sino de una banda continua, pero aparece incompleto por faltar el rojo y parte del anaranjado. Ahora bien, los verdaderos cúmulos estelares, las nebulosas resueltas por el telescopio en puntos brillantes-distintos tienen asimismo un espectro continuo, como por ejemplo el cúmulo de Hércules; resultado que concuerda perfectamente con las observaciones de Bond, que ha descompuesto en parte la nebulosa de Andrómeda contando en ella hasta 1,500 estrellas diferentes.

En suma, de 60 nebulosas cuya luz ha analizado Huggins, 41 han dado un espectro continuo, y de éstas, 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 disminuído en el segundo.

Pues bien, la luz es, como el sonido, producto de vibraciones periódicas; las ondulaciones más rápidas ó más cortas son las que corresponden á las partes más refrangibles del espectro; las más largas ó menos 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 espectroscopio 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 hacia el morado ó bien hacia 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 sobre manera difícil es esta, porque aun 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. Christie, 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 CALORÍFICAS Y QUÍMICAS

I

COEXISTENCIA DE LAS PROPIEDADES LUMINOSA, CALORÍFICA 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 substancias 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