

en lugar oportuno, como, por ejemplo, en la cúspide del Etna en la Sicilia, y mejor aún en el vértice del Pico de Mulhacén en la cordillera de Sierra Nevada en España. En estos parajes presenta la atmósfera una transparencia excepcional, infinitamente superior á la de las ciudades, en cuyas cercanías se obstinan los astrónomos en seguir observando, á pesar de sus condiciones desfavorables.

Los hechos que acabamos de exponer nos indican que hay una analogía grande entre el Sol y ciertas estrellas, y tenemos necesidad, por consiguiente, de reunir algunas breves ideas sobre la constitución del astro central para comprender con menos trabajo la composición de los demás soles lejanos.

Siendo el Sol, pues, una estrella más próxima que las demás y menos inaccesible á nuestras miradas, nos permite formular algunas hipótesis sobre la constitución de los astros lejanos.

Hoy día se sabe, según demostramos antes, que el Sol es una masa incandescente cuya superficie externa está dotada de grandísima movilidad, y que presenta todos los accidentes propios de una masa fluida gaseosa ó semejante á nuestras nubes. De su parte interior nada sabemos, pero la estructura externa obliga á suponer que dicho estado se extiende á gran profundidad.

La estructura del estado superficial luminoso, ó fotosfera, se asemeja á la de una masa fluida en la cual se hallaran suspendidos infinitos granos ó puntos más brillantes, por lo cual presenta un aspecto reticular; las líneas negras que se encuentran en el espectro solar, conocidas con el nombre de rayas de Fraunhofer, se producen por absorción, esto es, que los rayos que faltan en el espectro son absorbidos por los vapores constituyentes de una de las envolturas solares, invisible por lo común, pero que, sin embargo, se manifiesta en circunstancias determinadas. Sin esta envoltura presentaría el Sol un espectro continuo como los gases incandescentes bajo fuertes presiones, ó todo lo más, se hallaría surcado por líneas más brillantes; durante los eclipses solares se distingue este estrato absorbente, por lo general de poca altura, y sólo se eleva en ocasiones determinadas cuando se verifican las crisis que llamamos erupciones.

La consecuencia que naturalmente resulta de los hechos expuestos es, en primer lugar, que la naturaleza de la materia constitutiva del Sol y de muchas estrellas es en un todo idéntica. Siendo de naturaleza solar los espectros de segundo orden, se puede asegurar, pues, sin temor de equivocarse, que estas estrellas tienen, no sólo la misma composición química que el Sol, sino también igual grado aproximativo de densidad atmosférica y de temperatura.

Pero, como es muy natural, no hay que suponer que tantos y tan diversos cuerpos tengan rigurosamente la misma proporción en la calidad y densidad de las substancias; por ejemplo, gran parte de las estrellas están dotadas de una atmósfera hidrogénica más densa, al paso que en otras es más escasa y predominan otros vapores absorbentes, metálicos ó no. La mayor densidad hidrogénica se deduce del hecho de que las líneas pertenecientes á este gas aparecen dilatadas y difusas.

Plücker y Cailletet demostraron que á una presión considerable se dilatan por el borde las líneas del hidrógeno, y que si la presión es extraordinariamente poderosa, se hace el espectro continuo. De tales extremos distamos mucho en

cuanto á todas las estrellas visibles (salvo quizás *gamma* de Casiopea), de lo que se deduce que la presión no es en las estrellas muy superior á unas cuantas atmósferas, según las medimos aquí en la Tierra. Pero no todo depende de la presión, porque se ha demostrado que hasta la elevación de la temperatura ensancha las líneas, de modo que la causa pudiera ser ésta muy bien, ó mejor las dos juntas, pues aun con la temperatura crece la tensión molecular del gas, y por tanto la presión. Así, pues, las estrellas del primer tipo estarían dotadas de una atmósfera hidrogénica más densa y más cálida. Sus rayas metálicas serían más difíciles de percibir, tal vez por la resistencia que ofrece al paso de los rayos la gran extensión de dicha atmósfera hidrogénica, lo que es verdad, pues apenas se perciben.

Al observar, no obstante, que muchas de estas estrellas presentan rayas más distintas, y que ocupan un lugar intermedio entre el primero y segundo tipo, nos vemos obligados á deducir que la constitución de ambos tipos es idéntica en cuanto á la naturaleza de las materias, y que difieren sólo en el grado de mayor ó menor densidad atmosférica y elevación de temperatura.

Aunque la dificultad de distinguir en ciertos casos el segundo tipo del tercero y el ver cómo las del primero, al cambiar de color, tienden á hacerse del tercero, indica una escala gradual de transformaciones que se derivan, no de substancias absolutamente diversas, sino del predominio de unas sobre otras. El hecho de que algunas, como Aldebarán y Arcturo, se aproximan al tipo tercero y muestran trazas de zonas cuando se ven de color rosado, adquiriendo así un espectro análogo al de las manchas solares, demuestra que aun en esas estrellas se presentan erupciones periódicas semejantes á las de nuestro Sol, y siendo en este caso su tipo análogo al que se halla en medio de los núcleos de las manchas, prueba que esas estrellas están dotadas de densas atmósferas de vapores metálicos con erupciones y emisiones variables con el tiempo. En ellas domina el sodio, el hierro, el calcio, y otras materias absorbentes, y quizás tengan también una temperatura más baja, como sucede con las manchas solares. Así, pues, las variaciones de estas estrellas se reproducirían por una sencilla modificación en la fuerza absorbente, que sería mayor unas veces y otras menor.

Hemos dado cuenta ya de que la estrella *omicrón* de la Ballena se compone durante su mínimo de simples rayas destacadas, debidas quizás á las poderosas contracciones y dilataciones de sus zonas de absorción; es probable que las estrellas del cuarto tipo, y otras, aparezcan pequeñas tan sólo por la absorción que experimenta su luz.

No obstante, los espectros de las estrellas de los tipos tercero y cuarto parecen indicar una constitución algo distinta, y en particular un exceso de ciertos elementos que faltan, ó son escasísimos, en los dos tipos precedentes. Como ya dijimos, no pueden estos espectros considerarse como simples realmente, pues están compuestos de dos, uno formado de rayas de absorción metálica, el otro de zonas continuas y difusas, y entrambos presentan una depresión como la que se observa en el espectro de ciertas substancias químicas; estas estrellas exhiben zonas difusas que en realidad no se descomponen en líneas; los espectros de esta clase se encuentran rara vez en los elementos terrestres y queda aún por hallar á qué substancias pueden pertenecer.

El P. Secchi llegó á obtener uno bastante parecido á los de algunas estrellas rojas, como la 152 de Schjellerup y otras varias de tres zonas, por medio de la chispa eléctrica descargada en vapores de bencina mezclados con aire atmosférico; el aparato empleado consistía en un globo con cuatro tubos colocados en las extremidades de dos diámetros perpendiculares; en dos de ellos se introducen unos reóforos de platino; otro de los tubos se coloca inmediato al espejito del espectroscopio, y el restante se deja libre para que circule el aire y para evitar las explosiones que pudieran ocurrir; un poco de bencina que se evapora en el globo produce la atmósfera que se ilumina con el paso de la descarga. El espectro que se obtiene presenta unas zonas complementarias que corresponden perfectamente con las del espectro estelar; con medios muy poderosos parecen lineales las zonas estelares, pero estas líneas son simples variaciones de intensidad, semejantes á las estrías del nitrógeno en el espectro de primer orden, y no líneas aguzadas, según comprobó Secchi examinando con el prisma objetivo las zonas de la estrella 152 de Schjellerup.

Este espectro, en su base, corresponde indudablemente al carbono; la posición de las rayas medidas con el micrómetro se lo había indicado ya á Secchi y la superposición de la bencina se lo confirmó; pero como no veía las estrías conocidas del espectro carbonoso que se obtiene en la base de la llama y en los tubos de Geissler, quiso asegurarse del hecho mediante la cinta luminosa que aparece entre los carbones de una potente pila. Para efectuar esta observación de un modo decisivo, proyectó el arco luminoso que separa los carbones (con la linterna eléctrica que sirve para la proyección de los carbones) sobre un cartón agujereado en el centro, detrás del cual se colocaba la ranura de un espectroscopio muy poderoso; haciendo caer entonces la parte central del arco eléctrico sobre la ranura, de modo que apareciesen bastante lejos las imágenes de ambos carbones, se veía en el campo un espectro hermosísimo que se debía al carbono y á su óxido. El espectro se hallaba formado por zonas continuas difusas y rayas luminosas brillantes de intensidad gradual; las zonas son indiscomponibles en líneas distintas en el espectro de este arco.

Mas este espectro toma una apariencia diversa en los varios casos prácticos según las combinaciones del carbono; en los tubos ordinarios de Geissler, y en la llama de una bujía en la base del pábilo, donde se ve una zona azul luminosa, aparecen acanaladas, esto es, surcadas por zonas menores. Lo mismo ocurre con las diversas combinaciones del oxígeno y del hidrógeno con el carbono, como verbigracia el acetileno, y también por la simple impureza de los tubos empleados, de manera que los espectros del carbono que dan varios autores son muy diferentes. Probablemente, las distintas rayas luminosas que vemos en estos espectros son las mismas líneas vivas metálicas que se observan en el espectro del arco eléctrico, pero que se hacen difusas por la falta de temperatura suficiente para dar las líneas de carbono puras y separadas por completo de las de su óxido. Parece, por tanto, que las tres zonas principales de las estrellas del cuarto tipo han de ser las *a b c* del espectro del carbono. Las últimas serían invisibles á causa de su debilidad.

En cuanto á la naturaleza de estos espectros diremos que el de columnas irresolubles parece debido á los óxidos y el de líneas finas á la substancia ele-

mental; además, estas mismas líneas son distintas según la temperatura del cuerpo y el modo de emitir la luz, y según el componente que se asocia al carbono de los gases en cuya composición entra. Si, pues, en el arco eléctrico se dirige el espectroscopio, no sobre la parte central gaseosa, sino sobre los carbones que siempre son impuros y están por lo tanto mezclados con vapores de polvos metálicos, se tienen también, en este caso, los espectros superpuestos de zonas y de rayas de diversos metales, además de los del carbono.

Los recientes estudios químicos de Lockyer han demostrado que era verdad la sospecha indicada de que los espectros de zonas acanaladas se deben á los óxidos, y las líneas á los cuerpos elementales. Los óxidos pueden subsistir cuando la temperatura no es muy elevada, de donde es dado admitir que las estrellas que presentan estas zonas han de tener una temperatura menos alta que las que dan únicamente rayas metálicas lineales. Diremos aquí, incidentalmente, que en la fusión del platino en los crisoles de cal se obtienen las líneas del óxido de calcio difusas, pero en el Sol se tienen lineales las del metal, de lo que se deduce que el Sol y ciertas estrellas tienen temperaturas superiores al platino fundente.

El espectro del tipo cuarto parece, pues, del carbono en cualquiera de sus múltiples formas; no hay que ocultar que no siempre se ha hallado la coincidencia exacta de las rayas estelares con las del gas, como sería menester para establecer semejante identidad con los espectros terrestres; pero no hay que dar á este punto más importancia de la que realmente tiene.

Primeramente, las líneas están bastante próximas y dentro de los límites que aprecian las medidas; segundo, esta substancia tiene un espectro muy variable según los elementos con que se halla asociada. Por otra parte, las distancias de estas zonas siguen la misma proporción en las estrellas que en el gas, al menos para ciertos componentes, de modo que se hace difícil negar la intensidad de su origen por una pequeña diferencia cualquiera en los límites, lo cual puede explicarse de otra suerte. No debe sorprender, pues, que este elemento se encuentre con bastante profusión en las estrellas, después de haberse visto que se halla en abundancia en ciertos aerolitos y después que los cometas nos han demostrado el espectro directo de esta substancia combinada con el oxígeno y el hidrógeno. Se ha averiguado que los meteoros carbonosos no contienen realmente sino una dosis muy corta de carbono, y que en el resto no difieren mucho de los demás, y lo propio pudiera suceder con estas estrellas. Una pequeña adición de carbono á los elementos químicos comunes pudiera producir una variedad inmensa en la naturaleza proteiforme de estos elementos.

Da el carbono un espectro tan diverso para cualquiera cantidad que se le mezcle, por pequeña que ésta sea, que es difícil de establecer en qué condiciones se halle, y de esto nacen, probablemente, todas las divergencias que se han encontrado. Así, por ejemplo, el óxido de carbono y el hidrógeno carburado tienen las mismas zonas, pero en uno la parte media es la más viva, y en el otro, por el contrario, es la más débil.

Es muy importante la confrontación de los dos tipos tercero y cuarto, los que, á primera vista, parecen análogos, pero no lo son en realidad. Tomaremos como base del tercer tipo la estrella *alfa* de Hércules, y para el cuarto la estre-

lla 152 del catálogo de Schjellerup, por ser la más hermosa de esta especie ( $A R = 12^h 39^m D = +46^\circ 9'$ ), que por esto mismo fué llamada *la Soberbia*. He aquí cómo describe el P. Secchi el aspecto de este astro en el momento en que lo encontró: «Magnífico objeto del cuarto tipo; es verdaderamente singular por su viveza; su color es rojo de sangre. El espectro se compone de tres zonas bastante luminosas y anchas; una amarilla, otra verde y la tercera azul; el color rojo, que es de por sí más oscuro y débil, también se encuentra, pero brilla poco. Todas las zonas son bastante luminosas, bien limitadas hacia el violeta y difusas en la parte que cae hacia el rojo. El contorno de las zonas está reforzado por rayas vivas en el extremo, y en el amarillo parecen dos hilos de oro, de igual modo que en el azul y en el verde, por más que no sean tan vivas. Es digno de observarse que mientras que las curvas de la luz y las estrías de este tipo cuarto se inclinan al violeta, en el tipo tercero se dirigen al rojo; las líneas divisorias del resto no coinciden todas en ambos tipos, pero sí algunas, y también dos á dos. Alguna semejanza hay entre este espectro y el de los cometas.»

Esta estrella lleva el núm. 4.287 del catálogo de la Asociación Británica; de as numerosas comparaciones efectuadas se obtuvieron también los resultados siguientes, confrontándola primero con Arcturo y luego con *alfa* de Hércules.

1.º La D del sodio no corresponde con la primera línea oscura de la estrella 152 Sch., pero sí con una zona más débil, si bien la *b* de Arcturo concuerda con la negra de 152 Sch. situada en el verde. Ahora bien, *b* en Arcturo corresponde al magnesio, y aunque dista muy poco del carbono, no prueba la coincidencia que también la raya de la 152 sea del magnesio, y muy bien pudiera ser del carbono.

Esta conclusión se obtuvo primero con el espectroscopio simple y fué confirmada luego con el mismo carbono, usando el espectroscopio de ranura. En Arcturo corresponde la D á la zona débil de la estrella 152, que es del carbono; pero ésta no es una verdadera línea, sino una sencilla expansión oscura; el 15 de mayo de 1869 se confrontaron entre sí las rayas del carbono, del sodio y del magnesio. Por la noche se midieron las mismas distancias de las líneas metálicas respecto de las líneas de la estrella, y se halló una coincidencia perfecta en todas las líneas principales del carbono que se pudieron medir; y sólo se notó una dislocación debida, probablemente, al cambio de espectroscopio.

2.º El espectro de la estrella es inverso del correspondiente á la bencina; su inversión es perfecta en las dos zonas primeras, y menos satisfactoria en la tercera; faltan en la estrella, además, las líneas brillantes del hidrógeno C, que se hallan en la bencina, y otra *c* en el amarillo, del aire tal vez, ó directa del carbono puro. También tiene una ráfaga de rojo brillante que no se pudo medir. Se efectuaron comparaciones directas entre la estrella y la bencina, y se vió con toda certidumbre la coincidencia de las zonas, llevando en cuenta, sin embargo, su inversión; pero eran bastante difíciles, porque el espectro de la estrella conserva la iluminación, y el de la bencina se transforma en un espectro lineal á cada alteración eventual de temperatura y á cada oscilación del aire; en las extremidades de las partes claras hay sobre la estrella líneas más vivas, pero examinadas con el prisma objetivo se vió que no eran verdaderas líneas metálicas, sino sólo zonas difusas más brillantes.

En la estrella del tercer tipo, y principalmente en *alfa* de Hércules, la raya negra del verde no coincide precisamente con el magnesio, sino que se encuentra un poco hacia el rojo, pero no mucho más de lo que dista el carbono del magnesio, conservándose D en su puesto; ya sabemos que aun en la 152 se encuentra en este sitio una difusión débil y oscura, de modo que la substancia parece ser, en este caso, también carbono; en *alfa* Hércules la zona ancha única estaba dividida profundamente en el punto en que ya se percibe una pequeña depresión aún en el carbono, en el punto inmediato á D. Hasta la luz viva que se ve en el espectro de la bencina cerca de *c*, coincide con una línea negra de *alfa* de Hércules y produce divisiones de columnas.

Infinitas medidas han probado que los intervalos entre ciertas zonas negras de ambas estrellas se combinan perfectamente con las del carbono, probablemente con su óxido. Solamente habría la diferencia importante de que en el tipo tercero son las zonas directas, y en el cuarto se hallan invertidas. El que conozca la variedad infinita de los espectros carbonosos hasta aquí hallados por los químicos, no se sorprenderá de estas diferencias.

No queremos continuar cansando al lector con estos detalles, de modo que, para concluir este punto, diremos que *los espectros estelares del primero y segundo tipos tienen líneas de absorción debidas á los vapores metálicos, como el Sol; los del tercer tipo y principalmente del cuarto, además de las rayas metálicas, presentan también las de otros gases, y muy probablemente las del carbono en estado de óxido ó en otra combinación, y por lo tanto deben de tener una temperatura inferior á la de los otros dos tipos.*

El espectroscopio también nos ha revelado en el cielo otro hecho importante: que por lo común las estrellas de un mismo tipo son mucho más numerosas en un mismo lugar del cielo; así, por ejemplo, en las Pléyades, el Toro, la Osa mayor, etc., domina el espectro del primer tipo; en el Eridano, la Hidra, etc., domina el amarillo. En Orión son del primer tipo generalmente, pero con líneas finísimas, y tantas, que podrían colocarse también en el segundo, aunque con rojo proporcionalmente escaso, pues parece que se ven como á través de un velo verde. ¿Será esto efecto de la masa nebulosa á cuyo través se perciben? Por otra parte, es caso frecuente encontrar dos ó tres estrellas rojas cerca de una principal del mismo color.

De aquí se podría colegir que las estrellas están distribuídas en grupos naturales formando grandes sistemas, conclusión confirmada por otros hechos.

El espectroscopio nos da también la explicación de otros fenómenos estelares, pasajeros algunos de ellos, como *el centelleo* de las estrellas; otros permanentes, como su variabilidad. Nos ocuparemos ahora del primero.

Entre los fenómenos más hermosos que ofrece la contemplación del cielo se encuentra el centelleo de las estrellas; se llama así, y también escintilación, á la luz que lanzan, ora viva, ya débil, blanca unas veces, roja ó verde otras, á guisa de reflejos de un diamante, que arrebatan al observador más indiferente; cuya explicación no está exenta de algunas dificultades. Hemos preferido tratar el asunto en este sitio porque su análisis hubiera sido incompleta antes de conocer el método espectrométrico.

En primer lugar, es cosa indudable que el fenómeno no se debe á la estrella

en sí misma, sino que se produce en el paso de sus rayos á través de nuestra atmósfera, según sus condiciones y variabilidad; en la cima de los montes más elevados, si hemos de dar crédito al testimonio de observadores eminentes, y en particular sobre el Etna, al decir de Tacchini, la luz de las estrellas es tranquila como la de los planetas; del propio modo es tranquila en las horas de calma que precede por lo general á la aparición de las nubes que cubren el cielo cuando cae el viento; también es tranquila en las regiones de calma en el ecuador.

La vibración es ordinariamente más viva cerca del horizonte y disminuye con la altura del astro, esto es, con la disminución del espesor de la capa atmosférica agitada que atraviesan los rayos; pero en los días de viento impetuoso, en particular del Norte, se aumenta de un modo notable hasta una altura grande, y á veces hasta el cenit. De aquí, por consiguiente, se deduce que el movimiento de las ondas atmosféricas es una de las condiciones necesarias para la producción del fenómeno.

Pero á la simple vista no es posible estudiar escrupulosamente todas sus fases, y los instrumentos nos revelan mejor su mecanismo. Mirando las estrellas en las noches agitadas y de mucho centelleo, á través de un instrumento poderoso, se ven sus imágenes difusas, mal terminadas, circundadas de rayos y casi compuestas de muchas imágenes superpuestas dotadas de movimientos rapidísimos; no presentan, en verdad, aquel pequeño disco rodeado de tranquilos anillos, producidos por la difracción dependiente de la abertura del objetivo, y que al propio tiempo son medida de la tranquilidad del aire. Con instrumentos medianos, capaces de presentar mayor campo que los grandes, se observa que dando una ligera sacudida al tubo del antejo, como un golpe seco con las yemas de los dedos, la imagen única se transforma en una curva luminosa cuyo perímetro está formado por arcos sucesivos distintos, de los colores del iris.

A la simple vista parece que las estrellas cambian continuamente de lugar, pero esto no es cierto. Las estrellas sufren realmente oscilaciones á causa de los movimientos de la atmósfera, según se observa con la polar cuando se encuentra en el meridiano, y á estas oscilaciones se deben en gran parte las inexactitudes de las observaciones de posición absoluta; pero la simple oscilación es poca cosa, y como no pasa de unos cuantos segundos de arco, vendría á ser imperceptible á la simple vista; en los mismos anteojos se ve que es un fenómeno bien distinto del centelleo y del cambio de color que lo acompaña, porque con frecuencia oscila la estrella, sin mudar de color y sin presentar imágenes variables. A menudo oscilan los planetas en el borde, pero no centellean, excepción hecha de Venus en casos particulares, y especialmente cuando presenta fases muy estrechas.

Esta diferencia entre ambos fenómenos se hace evidente con el empleo del espectroscopio.

Observando una estrella centellante próxima al horizonte, cuyo espectro presente rayas negras muy acusadas, como, por ejemplo, Sirio, permanecen las líneas inmóviles, mientras que grandes ondas luminosas recorren el espectro. Esta inmovilidad de las rayas espectrales en medio del movimiento de las ondulaciones fué observada por varios astrónomos, invitados al efecto por Secchi, en

el Observatorio del Colegio Romano; las ondulaciones van recorriendo todo el espectro, debilitando y reforzando sucesivamente todos los colores, y caminan unas veces en sentido vertical y oblicuo otras. La estabilidad de las rayas negras es, por tanto, un indicio seguro de que la estrella en realidad no se movía, y de que todo el fenómeno consistía en un refuerzo sucesivo y una debilitación que sufrían los colores espectrales, cuyas variaciones son la causa primera del centelleo.

Para semejantes movimientos ondulatorios estableció el P. Secchi algunas leyes que fueron confirmadas posteriormente por Respighi.

1.º Espectro vertical, estrella al oriente; las ondas espectrales caminan hacia el rojo, sea la que quiera la posición del espectro producido por el prisma, y bien esté el extremo rojo en la parte superior ó en la inferior.

2.º Espectro vertical, estrella al occidente; caminan hacia el violeta, ya se halle este color abajo ó arriba.

3.º Espectro horizontal; las ondas caminan oblicuamente progresando hacia el rojo ó hacia el violeta, según que la estrella se encuentra en el cielo oriental ó en el occidental.

De modo que la marcha de las ondas es independiente de la posición del prisma, y sólo se halla sometida á la situación de las estrellas según que éstas se encuentran á Levante ó á Poniente.

No es difícil averiguar dónde se encuentra el origen de estas ondulaciones; sabemos que la atmósfera, cerca del horizonte, hace el oficio de un prisma y que produce un espectro que se puede medir perfectamente, el cual en el antejo presenta el violeta abajo y el rojo en la parte superior; y como el antejo invierte las imágenes, la posición verdadera del rojo es en la parte baja y la del violeta en la alta; el rayo más refrangible es el más elevado, como ocurriría mirando la estrella con un prisma cuyo vértice se dispusiera hacia arriba.

La longitud de este espectro la halló Bessel igual á algunos segundos; Struve, á 88° 33' de distancia cenital obtuvo 22" en su diámetro vertical, mientras que en el horizontal era de 8", quedando así 14" para la verdadera dispersión. El P. Secchi lo midió varias veces en 1865 y entre el rojo medio y el azul medio encontró 2",8 á 80 grados de distancia cenital. Teóricamente, según los cálculos de Montigny, del rojo al violeta debiera haber un espacio de 4",5 á 80° de altura. Las dimensiones, empero, de este espectro cerca del horizonte no son notables porque se alarga y se acorta visiblemente, y á veces alcanza un tamaño doble que en otras circunstancias; en estas dilataciones parece que el violeta se destaca sobre los demás colores, fenómeno observado también por Donati.

En este espectro natural se observan las mismas ondulaciones que en la combinación espectroscópica, si bien son mucho menos sensibles; en el espectroscopio tenemos además la superposición de dos espectros, esto es, uno debido á la dispersión del prisma y el otro á la dispersión de nuestra atmósfera. Es fácil descubrir materialmente que, en una posición del prisma, el espectro de la estrella es más largo porque las dispersiones se suman, y en la opuesta es más corto porque en parte se compensan las dispersiones, puesto que la dispersión atmosférica es muy pequeña en comparación con la del prisma.

De estos hechos resulta que las ondas luminosas que se ven discurrir por el

espectro de las estrellas cercanas al horizonte, nacen evidentemente de las variaciones que sufre el espectro de la estrella producido por nuestra atmósfera. En efecto, las palpitations del espectro atmosférico largo ó corto, ó interrumpido, combinándose con el espectro constante del prisma, deben producir en éste variaciones de intensidad luminosa y de tono, según que los colores se suman ó se destruyen.

Con arreglo á tales hechos, la explicación del centelleo se reduce á definir cuál será la causa que produce los cambios de color en el espectro estelar atmosférico.

Supuso Arago que esto dependía de la interferencia de los rayos inmediatos que pasan á través de los estratos de aire de densidad desigual, desigualdad que hace que uno de los rayos se detenga una media onda respecto del otro, y venga á inferir las ondas de cierta longitud determinada; y permaneciendo las otras invariables, aparece la estrella del color complementario del destruído; si éste era el rojo, permanecía verde la estrella, etc. Aunque esta teoría es ingeniosa, no satisface por completo, pues es difícil de hallar en la transmisión de las ondas aéreas las condiciones delicadas de la interferencia de los rayos.

Montigny indicó la diversa refracción que sufren los rayos que pasan á través de las distintas capas atmosféricas; notó este observador que el espectro que entra en el ojo está formado por los rayos que han atravesado diversas columnas de aire.

Esto se prueba considerando, como hacía Donati, el mecanismo de la visión de la estrella á través del prisma atmosférico. «Un rayo primitivamente blanco se descompone, al atravesar la atmósfera, en varios rayos elementales, diversamente colorados y divergentes entre sí, de modo que, si uno de ellos, por ejemplo, el rojo, llega al ojo del observador, no podrá llegar al mismo tiempo el violeta, que, más refringido, se encontrará más abajo. El rayo violeta que llega al ojo del observador no pertenece, pues, al mismo rayo blanco de que procede el rojo, sino á otro rayo blanco emanado igualmente de la estrella, pero que ha penetrado en la atmósfera por un punto situado encima de aquel por donde entró el rayo blanco, que produjo el rojo existente en el espectro solar.»

Mossotti obtuvo por el cálculo que los rayos que daban el rojo y el violeta extremos á  $83^{\circ} 33'$  debieran distar á su ingreso en la atmósfera  $8^m, 78$ . Habiendo, pues, recorrido los rayos que llegan al ojo diversos caminos en la atmósfera, y ofreciendo ésta distintas densidades y refringencia, no es de extrañar que se desvíen desigualmente y que produzcan las variaciones de refracción y de sitio que hemos indicado.

Para comprender bien esta teoría, es necesario traer á la memoria el mecanismo de la visión á través de los prismas. Si un rayo de Sol entra por una rendija y atraviesa un prisma cuya arista refringente es paralela á la rendija y se encuentra dirigida hacia arriba, se obtendrá en un cartón el espectro con el rojo en la parte superior y en la inferior el violeta; pero si en lugar del cartón se coloca el ojo, y se mira la ranura á través del prisma, aparecerá éste con el rojo abajo y el violeta arriba, porque es evidente que como el espectro presenta mayor anchura que la pupila, no puede ésta recibirlo todo, y si lo ve completo es porque llegan á ella rayos que han caído sobre el prisma con distinta oblicuidad.

Esto es lo que ocurre con la estrella, por donde se ve que el rayo violeta que llega al ojo, arrancó de un punto más alto que el rayo rojo.

No contento con esto Montigny, recurre también á la reflexión total dentro del aire, que pudiera desviar el rayo y separarlo por completo del ojo. Bastarían asimismo, para la explicación del fenómeno, las simples ondulaciones atmosféricas, las que obrarían de igual manera que si fuesen ondas líquidas.

Si en un estanque de agua tranquila y transparente caen los rayos solares, se iluminará el fondo uniformemente; pero si la superficie se agita y forma ondas, se verán en el fondo unas listas de colores prismáticos que caminan con rapidez. Un punto blanco, fijo en el fondo, se colora sucesivamente de rojo, amarillo, verde, azul, etc. Si se colocase el ojo en este punto, vería que el objeto luminoso se coloraba de rojo, verde, etc., según el rayo que lo recorría, sin que tuviese para ello que cambiar de sitio. Lo propio sucede cuando se ve una luz lejana á través de un prisma giratorio, como, por ejemplo, los que sirven de adorno á las arañas. Un rayo luminoso que parte de una estrella atravesando la masa atmosférica, se desvía más ó menos hacia arriba ó abajo, según que encuentra en su camino un sistema de ondas que por su densidad aumenta ó disminuye la refracción, y por lo cual eleva ó deprime el espectro producido en el momento mismo de la dispersión. Este espectro movible pasa por delante de la vista del observador y produce la sensación de tal ó cual color, dejando inmóvil casi la estrella, que cambia de color, pero no de sitio.

La luz natural de la estrella debe, pues, considerarse como compuesta de dos partes: una blanca y constante, aunque producida, como decimos, por la recomposición continua de los rayos espectrales simples; la otra variable, que va hiriendo poco á poco nuestro ojo, ora con un color, ya con otro. A la primera de estas masas de rayas se debe la imagen persistente que se ve en el espectroscopio con las rayas fraunhoferianas, sensiblemente fijas; á la otra se debe el espectro atmosférico que va recorriendo el espectro fijo formado por el prisma, y esta segunda parte es la que unas veces aparece reforzada y otras más débil en cada color. Porque si el rojo cae sobre el mismo rojo, este tono será más vivo; pero si cae sobre el verde, se debilitará, formando así una luz blanca que irá á unirse al espectro fijo de la estrella producido por el prisma.

Tal es, por tanto, la explicación del hecho fundamental del centelleo, que abarca y comprende las ideas que diversos físicos emitieron antes aún del invento del espectroscopio.

Tenemos, sin embargo, otros hechos accesorios que nos han sido revelados por este instrumento y que exigen una explicación.

Hemos dicho que las ondas luminosas van recorriendo el espectro en una dirección determinada; que para las estrellas de Levante es hacia el rojo y para las de Poniente hacia el violeta.

Por más que esto no sea rigurosamente constante, porque á menudo se ve lo contrario, y en particular en las noches en que el aire está agitado, no es fácil definir el sentido del movimiento; sin embargo, esta marcha es por lo general constante en aire tranquilo. Debe nacer primeramente de la sucesión relativa de las ondas aéreas, las cuales se propagan con cierta regularidad en una dirección dada. Observaremos, en primer lugar, que todos los estudios de Sec-

chi se hicieron durante las primeras horas de la noche; luego, como la atmósfera está más caldeada á Poniente del observador, en donde se encuentra el Sol, que en el cielo oriental, el curso ó movimiento del aire debe dirigirse de un modo opuesto en las dos regiones contrarias del horizonte.

El profesor Respighi invoca el movimiento de rotación de la Tierra como causa influyente en semejante fenómeno óptico; según el P. Secchi, también pudiera admitirse esta explicación. El aire hace siempre el oficio de prisma, y como la estrella de Poniente baja en virtud de la rotación terrestre, tenderá á aumentar la refracción y á elevar todo el espectro, de tal modo que éste se dirigirá hacia el violeta; en la parte de Levante, por el contrario, como la estrella va subiendo, disminuye la refracción y tenderá á bajarlo, y por lo tanto se dirigirá hacia el rojo. Si el aire estuviese inmóvil, se efectuaría este movimiento con una continuidad rigurosa; pero á causa de sus oscilaciones tiene lugar á saltos, de manera que, suspendido por un instante en una fase de la onda, se hace más rápido en la siguiente, produciéndose así el movimiento progresivo; pero como el movimiento de las ondas espectrales es incierto y á menudo contrario cuando los vientos soplan con impetuosidad, es evidente que á lo menos esta causa no es la única y tal vez tampoco la principal.

En conclusión:

- 1.<sup>o</sup> El fenómeno del centelleo es atmosférico.
- 2.<sup>o</sup> Consiste en un cambio sucesivo de la intensidad y del color de la estrella, con pequeñas variaciones de lugar.
- 3.<sup>o</sup> Depende de la fuerza dispersiva de nuestra atmósfera.
- 4.<sup>o</sup> La ondulación aérea hace que lleguen al ojo, sucesivamente, los diversos rayos coloreados del espectro de la estrella producido por la atmósfera, y da lugar á la variación de color.
- 5.<sup>o</sup> Si la ondulación es muy fuerte, puede también desviarse la imagen por completo del ojo y eclipsarse la estrella un instante; pero esto es raro.
- 6.<sup>o</sup> La estrella permanece sensiblemente inmóvil porque el aire hace las veces de un prisma muy distante que con sus pequeños movimientos angulares envía á la retina rayas de diversas coloraciones del espectro, mientras que la parte principal de la imagen resulta de una continua recomposición de los diversos colores superpuestos rápidamente.

En un cielo transparente, en particular en los climas tropicales, no se presentan las estrellas como en nuestras latitudes, con la blancura del diamante; aquí y acullá se descubren con destellos rojos, azules, amarillos, en suma, de todos los colores imaginables, y por su brillo y hermosura pudiera decirse que eran rubíes, esmeraldas y zafros los puntos luminosos que tachonan la celeste bóveda.

Estos colores son más notables aún en las estrellas binarias, llamadas así, según vimos en las páginas anteriores, porque son grupos de dos ó más soles que mutuamente se sostienen por atracción y que giran en sus órbitas en relación con sus masas, ora uno en torno del otro, ya ambos alrededor del centro común de gravedad.

A la simple vista presentan el aspecto de una sola estrella, á causa de su estrecha proximidad; pero analizándolos con un telescopio de poder suficiente, se

dividen y separan en dos, tres, cuatro ó más soles en íntima conexión; uno de los sistemas más hermosos se encuentra en la constelación de Orión, y se compone de diez y seis estrellas que á la simple vista parecen una sola. En algunos de estos grupos, cuyo número pasa de 6.000 en la actualidad, se ha podido calcular el tiempo que emplea la estrella satélite en verificar su revolución; también de esto nos ocupamos extensamente en otro sitio; pero bueno será recordar que una de ellas, situada en la Osa mayor, emplea 60 años; otra, de la Virgen, 513, y *gamma* Leonis, 1.200.

La diversidad de colores que exhiben las estrellas binarias les presta un interés mayor; así como casi todas las estrellas simples brillan con luz blanca, ó si acaso amarilla y aun también roja, en las estrellas binarias es casi siempre la compañera azul, verde ó roja, contrastando de este modo con la luz blanca de la estrella mayor ó central.

Por largo tiempo ha sido el origen de estos colores motivo de estudios é investigaciones. Se supuso que se debían á colores complementarios, y por lo tanto, éstos no eran inherentes á las estrellas, sino que dependían de una ilusión óptica semejante á la que produce el mirar una pared blanca inmediatamente después de contemplar el Sol, en cuyo caso aparece la pared cubierta de manchas violetas. Pero cubriendo sencillamente la estrella central, expediente que no tiene nada de complicado, se demuestra la inexactitud de esta suposición, puesto que el color de la estrella pequeña permanece indiferente, aunque se oculte su compañera.

Zöllner, á quien debemos trabajos muy importantes sobre la luz y la constitución física de los cuerpos celestes, fué el primero que indicó la idea de que, así como todas las substancias conocidas en su cambio del estado incandescente al de una temperatura inferior, pasan por el calor rojo, de igual manera las estrellas fijas, en su proceso de desarrollo del estado de gas luminoso y brillante al período de líquido incandescente, y desarrollo subsiguiente de escorias flotantes ó formación sucesiva de una superficie fría no luminosa, deben, al propio tiempo que disminuye su luz gradualmente, hallarse sujetas á un cambio de color.

En muchas estrellas coloreadas, especialmente en las llamadas *nuevas*, se ha visto que el color recorre la escala desde el blanco hasta el amarillo y el rojo, de modo que la conjetura presenta muchos grados de probabilidad; pero que otras circunstancias deben de ejercer cierto influjo también en el color de las estrellas, se demuestra por el cambio de tono que se ha observado que tiene lugar en la dirección opuesta, esto es, del rojo al blanco, de lo cual, entre otras estrellas, se puede citar á Sirio, considerada por Ptolomeo y los antiguos como roja y que ahora nos parece blanca, y también á Capella, que primitivamente era roja y ahora brilla con una luz pálida azulada. Huggins y Miller han descubierto por medio del espectroscopio que el color de una estrella, no sólo depende del grado de incandescencia del líquido caldeado ó núcleo sólido, sino también de la calidad del poder absorbente que pueda ejercer su atmósfera sobre la luz emitida por el núcleo luminoso.

Como el origen de la luz estelar, observa Huggins, es una materia sólida ó líquida incandescente (Kirchhoff), parece muy probable que al tiempo de su