

### CAPITULO III

#### ESPECTROMETRÍA ASTRONÓMICA

Tele-espectroscopios. — Análisis espectral de las manchas solares. — Análisis espectral de la Luna y los planetas. — Observaciones espectrales de las protuberancias solares. — Estructura y modificaciones de las protuberancias. — Espectros de las estrellas fijas. — Espectro de las estrellas efímeras. — Espectros cometarios. — Espectros de las estrellas fugaces.

Los espectroscopios que hemos estudiado en el capítulo anterior pueden servir, y han servido en efecto, para el análisis de la luz de los astros, pero naturalmente, con algunas modificaciones en su construcción, según que se destinan al estudio de cuerpos muy luminosos como el Sol, ó que presentan diámetros sensibles, verbigracia los planetas, ó débiles y sin dimensiones aparentes, á saber, las estrellas. En todos los casos se adaptan á telescopios poderosos, que den una imagen ampliada del cuerpo ó accidente que se trata de estudiar.

En la fig. 183 se representa el instrumento con que el famoso astrónomo inglés Lockyer ha realizado la mayor parte de sus importantes descubrimientos. T es el tubo de un antejo astronómico de 16 centímetros de abertura, montado ecuatorialmente sobre el pie P; S es el buscador, C la varilla ó palanca de movimiento, L el tubo portaoculares; *c* la platina del espectroscopio de siete prismas, que va unida al antejo por medio de las barras *a*, *a* y *b*; *d* el tubo colimador con la ranura; *e* el antejo analizador del espectro, provisto de un ocular micrométrico, y *h* otro antejito para leer las divisiones de la platina.

Úsanse mucho también los espectroscopios de visión directa; en la fig. 184 se representa la construcción interior de un instrumento de esta clase, según los fabrica la acreditada casa de Merz, de Munich. El sistema de prismas P tiene un poder dispersivo considerable, tanto que el ángulo entre las líneas D y H del espectro solar es igual á 8°; la lente colimadora se coloca en C; una mitad de la ranura *s s*, que se ajusta por medio del tornillo S, se halla cubierta por el prisma de reflexión total *r*, que recibe la luz de comparación, bien sea de una llama ó de un tubo de Geisser, del lado opuesto á aquel en que se encuentra el tornillo S; L es una lente cilíndrica que se emplea en las observaciones estelares, pero que se omite al estudiar el espectro de los astros de diámetro sensible; el antejo F, cuyo objetivo tiene unos 10 centímetros de distancia focal y una abertura de 16 milímetros, lleva un ocular positivo O y un micrómetro de puntas *m*, *n*; por medio del tornillo *g*, el tubo F, por la presión del muelle antagonista *f*, puede girar hacia ambos lados y quedar fijo en la posición que se desee, desde el extremo rojo del espectro hasta el violeta.

En otro sistema de aparatos, se coloca el prisma analizador delante del objetivo del antejo, y por eso se llama este instrumento *espectroscopio objetivo*, y tam-

bién pero por otra razón, *espectroscopio diferencial*. En la fig. 185 se representa el aparato completo, dispuesto para adaptarlo al objetivo de un refractor, y en la figura 186 el prisma separado de la guarnición.

El prisma P va montado en un aro metálico que gira en un eje horizontal, y por medio de los toques laterales *a a*, que se insertan en los tornillos *b b*, puede adaptarse á un segundo anillo; este anillo externo gira alrededor de la caja que contiene todo el aparato, de manera que el prisma llegue á tomar todas las posiciones que se deseen y forme todos los ángulos posibles respecto del objetivo

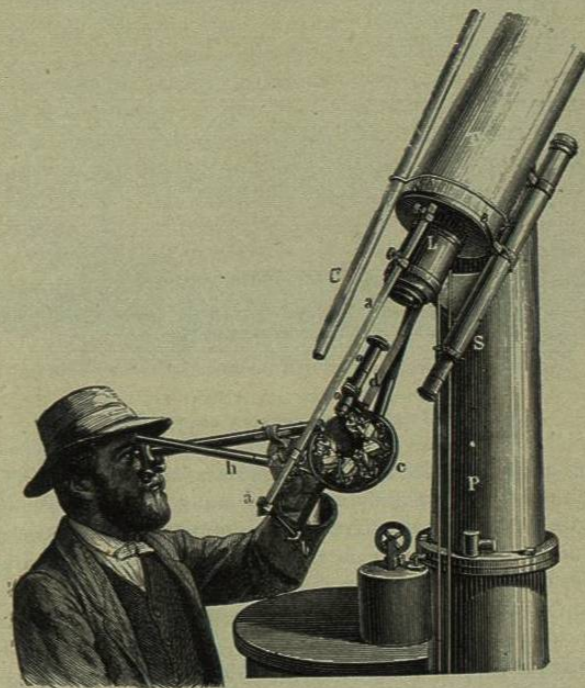


Fig. 183. — Tele-espectroscopio de Lockyer

ó del eje del antejo. Puesto que los rayos que caen sobre el objetivo se refringen por el prisma, no se puede apuntar directamente el eje del refractor á la estrella, verbigracia, que se desee observar, y para encontrarla con facilidad, en la caja hay una abertura *c*, por la cual se columbra la estrella directamente.

El prisma tiene un ángulo de refracción de 12°; está hecho de vidrio flint puro y sin color, para que la pérdida de luz sea lo menor posible y en efecto, es casi inapreciable.

Los procedimientos ordinarios del análisis espectral nos revelan el conjunto de rayos que emanan del Sol después de haber atravesado su atmósfera; pero hay motivo para preguntar si todas las regiones del globo solar emiten rayos

idénticos y dan origen á espectros perfectamente semejantes. Parece difícil que en una superficie de tanta extensión haya una homogeneidad perfecta, é involuntariamente se nos ocurre la idea de que entre la superficie general y las manchas debe haber alguna diferencia; entra, pues, el deseo de averiguar si estas regiones, tan distintas del resto del globo, y por razones tan concluyentes, no presentan alguna particularidad notable respecto de las radiaciones que nos envían.

Para responder á esta pregunta no basta dirigir sencillamente el espectroscopio al Sol, pues es necesario analizar en particular los rayos que provienen de diversas partes del astro; para esto se recibe sobre el plano de la ranura del espectroscopio la imagen del Sol que se forma en el foco del objetivo, y se procura que en los mismos bordes de la ranura caiga la imagen del punto que se quiere analizar. Pero como, por lo general, el objetivo de un anteojo produce en su foco una imagen muy pequeña, es imposible examinar aisladamente las distintas partes que le componen. El P. Secchi se sirvió para sus estudios de la gran ecuatorial del Observatorio del Colegio Romano, colocando á cierta dis-

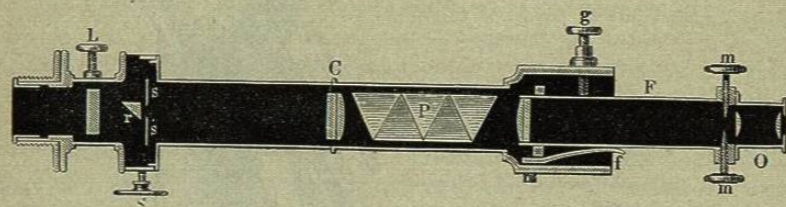


Fig. 184. - Espectroscopio simple y compuesto de Merz

tancia del foco el objetivo de un microscopio acromático de Amici, obteniendo así una imagen del Sol proyectada en una pantalla dispuesta en lugar de la ranura, que medía de 22 á 23 centímetros de diámetro; de este modo adquirían las imágenes de las manchas una magnitud considerable y podían estudiarse todos sus detalles con bastante perfección.

Cuando con este aparato se dirigía el espectroscopio á distintas regiones del disco solar, en todas ellas se veían las mismas líneas principales; en cuanto á las secundarias, reina más incertidumbre. Cerca de los bordes se observan variaciones muy considerables, y entonces se perciben varios sistemas de líneas muy finas en particular en el centro; al propio tiempo presentan un aspecto indeciso y como nebuloso, pues sus bordes se terminan con cierta confusión.

Se ha observado también que en la proximidad de las manchas, principalmente en las fáculas que las rodean, son más débiles las rayas negras del hidrógeno; en ocasiones desaparecen completamente y aun llegan á invertirse. La raya C es la que sufre variaciones más importantes; la F no llega nunca á desaparecer por completo y casi siempre va acompañada por otra línea negra, que no pertenece al hidrógeno.

Otras líneas, y entre ellas las del magnesio, presentan la misma particularidad; pronto hemos de ver que este fenómeno se debe á inmensas erupciones de vapores metálicos, entre los cuales domina el hidrógeno. Estas masas de gases darían origen á líneas brillantes si estuviesen aisladas, pero como se encuentran

inundadas por la luz deslumbradora del Sol, todo lo más que llegan á producir es un efecto igual y contrario al de la capa absorbente que las rodea. Cuando son bastante vivas, pueden producir un efecto más considerable y manifestar su presencia por líneas brillantes, lo cual ocurre con gran frecuencia.

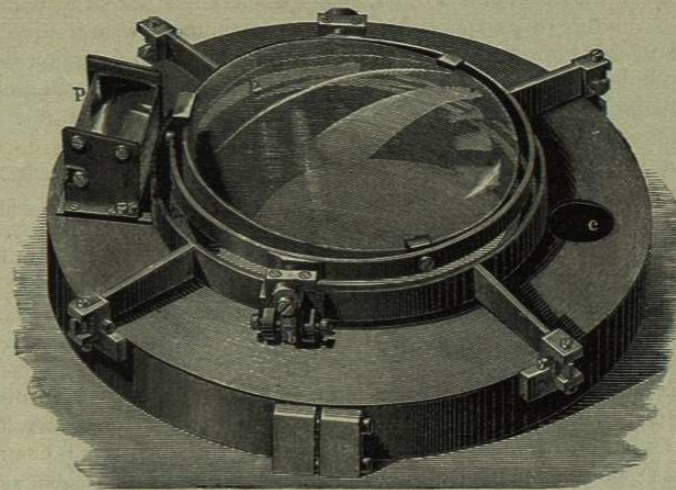


Fig. 185. - Espectroscopio objetivo de Merz

Al hallarse una mancha muy cerca del borde, con frecuencia se ven las líneas brillantes del hidrógeno como sobrepuestas al disco solar, prolongándose por un espacio de varios segundos hasta el núcleo oscuro, en el cual se detienen bruscamente. En las manchas cruzadas por puentes gaseosos ó que presen-

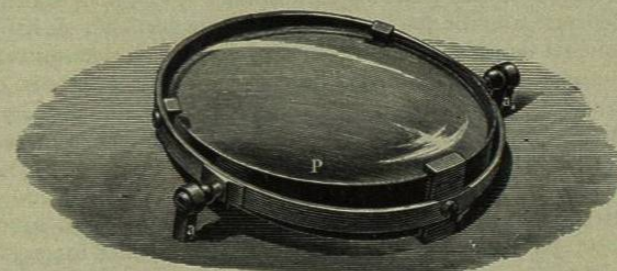


Fig. 186. - Objetivo-prisma de Merz

tan velos rosados, aparece la raya C muy reducida, y aun llega á invertirse por completo en algunos casos.

Las modificaciones que experimenta el espectro en el interior de las manchas son muy notables; desaparece la armonía general, y la proporción en las intensidades luminosas se cambia por completo. Ciertas líneas, que por lo común

apenas son visibles, se hacen muy negras y prolongadas, y otras, por el contrario, pierden la finura de sus contornos, no faltando algunas que permanecen inalterables.

En el espectro general del Sol se distinguen varios sistemas de líneas muy finas y juntas, situadas todas á una misma distancia relativa; se ha dado á estos sistemas el nombre de *persianas* á causa precisamente del aspecto que ofrecen; en las manchas se borran y confunden, particularmente en la región del espectro comprendida entre C y D; en la zona del verde hay también un gran número de sistemas de éstos, que en las manchas se hacen muy negros, mientras que es muy difícil distinguirlos en el resto del disco.

No parece que estos sistemas sean creaciones nuevas particulares de las manchas; pues, por lo común, corresponden con las rayas más finas que señaló Kirchhoff, y las cuales llegan á tomar en las manchas un desarrollo extraordinario, constituyendo un fenómeno característico. No se conocen todavía las sustancias que producen estas persianas, pero todo parece indicar que son gaseosas, y aun que el vapor de agua desempeña en la producción del fenómeno una parte importante, pues el P. Secchi pudo observar las mismas apariencias cuando algunas nubes ligeras ó nieblas pasaban por delante del Sol.

Muchas de las rayas que pertenecen á sustancias metálicas se dilatan de un modo considerable, conservando, empero, sus bordes bien marcados y sin difusión; en la parte verde hay algunas líneas que se hacen tres ó cuatro veces más anchas cuando las manchas son redondas y profundas, en particular si las líneas pertenecen á los metales hierro y calcio. También se ensanchan las rayas del sodio, pero no como las anteriores, pues sus contornos se hacen difusos, en particular cerca de los bordes. La fig. 187 representa el aspecto de las líneas de absorción del sodio cuando se dirige el espectroscopio á una mancha solar. Si son dos las manchas y están próximas una á otra, toma el espectro la apariencia que marca la fig. 188; los experimentos de Cailletet demuestran que las rayas del sodio se hacen difusas y nebulosas cuando la presión es considerable, de modo que podemos admitir que la dilatación de que acabamos de hablar se debe á la extraordinaria densidad que poseen estos vapores en determinadas circunstancias. No es el sodio el único metal que presenta este fenómeno; en el verde se encuentran rayas que se hacen muy difusas, sobre todo entre *b* y *F*; pero el sodio ejerce tal predominio sobre los demás, que el intervalo entre dos líneas consecutivas desaparece, en ocasiones, por completo.

Según el P. Secchi, la atmósfera del Sol contiene vapor de agua, lo cual parece muy extraño en vista de su elevadísima temperatura; pero las observaciones demuestran que cerca del borde se perciben los mismos tonos y las mismas bandas difusas que aparecen en el espectro del aire atmosférico, cuando éste se encuentra saturado de humedad, en el momento en que una nube translúcida pasa por delante del disco del Sol.

Toda vez que los planetas y sus satélites carecen de luz propia y sólo brillan por la que reflejan del Sol, deben sus espectros asemejarse mucho al del astro central; las diferencias que pudieran presentar habría que atribuirles exclusivamente á las modificaciones que experimentasen los rayos solares al atravesar las atmósferas de estos cuerpos, ó al reflejarse en su superficie.

Las observaciones de Fraunhofer en 1823, las de Brewster y Gladstone en 1860, y las más recientes de Huggins, Miller, Janssen y otros muchos, demuestran la completa igualdad que existe entre el espectro lunar y el del Sol. Los espectros de las diversas partes de su superficie, examinadas en distintas condiciones de iluminación, no presentan el menor indicio de que la Luna esté dotada de atmósfera. Como sabemos, los rayos solares que hieran la superficie de la Luna son reflejados hacia la Tierra; luego, si la Luna estuviera rodeada de atmósfera, claro es que los rayos solares habrían de pasar primero por ella antes de llegar al suelo, atravesándola de nuevo en su salida al dirigirse á la Tierra, por manera que los rayos lunares que hieren nuestro ojo habrían cruzado la atmósfera lunar dos veces, en todo su espesor.

Si tal atmósfera existiera, el espectro formado por la luz de la Luna, es decir, por la luz del Sol reflejada en nuestro satélite, sufriría ciertas modificaciones

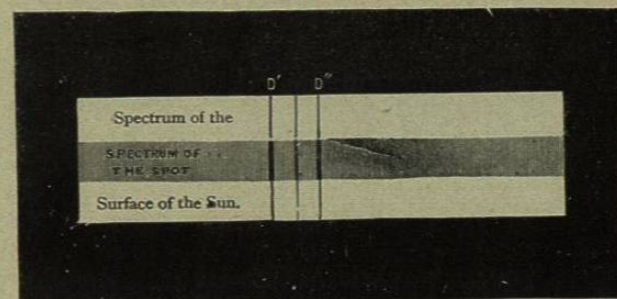


Fig. 187. - Las líneas D en el espectro de una mancha solar

que se manifestarían por la aparición de algunas líneas de absorción, distintas de las que presenta el espectro de la luz solar directa, de igual manera que varían las líneas telúricas según que el Sol atraviesa un estrato más ó menos denso de la atmósfera terrestre.

Guiados por las precedentes consideraciones, los renombrados astrónomos Huggins y Miller emprendieron una serie numerosa de observaciones sobre el espectro de la luz de la Luna, que con todo detalle se especifican en las *Transacciones Filosóficas* del año 1864; la Memoria de estos sabios terminaba con las palabras siguientes: «El análisis espectral de la luz reflejada por la Luna indica que nuestro satélite carece de atmósfera, ó que, de tenerla, ha de ser en extremo baja y rarificada.»

En otra ocasión efectuó el Dr. Huggins varias observaciones análogas sobre el espectro de una estrella en el momento de ser ocultada por la Luna «Cuando se observa el espectro de una estrella poco antes del momento, ó en el momento mismo, de ser ocultada por el borde oscuro de nuestro satélite, pudieran presentarse algunos fenómenos característicos del paso de la luz de la estrella á través de una atmósfera. Si existe una atmósfera lunar que pueda, ya por las sustancias de que esté formada, ya por los vapores que tenga en disolución, ejercer una absorción electiva sobre la luz de la estrella, debería indicarse esta

absorción por la aparición en el espectro de nuevas rayas oscuras, inmediatamente antes de su ocultación por la Luna.

»Si una materia muy finamente dividida, acuosa ó de otro género, existe en torno de la Luna, los rayos rojos de la luz de la estrella tendrían que debilitarse en más pequeño grado que los rayos de mayor refrangibilidad.

»Si hay alrededor del satélite una atmósfera libre de todo vapor y sin poder absorbente, pero de alguna densidad, en este caso, el espectro no se extinguiría por el borde de la Luna en el mismo instante en toda su longitud. Los rayos violetas y azules persistirían después de la desaparición de los rayos rojos.

»Observé con el mayor cuidado la inmersión del espectro de *epsilon* Piscium, en la ocultación del 4 de enero de 1865, con objeto de estudiar este fenómeno, sin percibir el menor vestigio de atmósfera lunar.»

El planeta Mercurio se halla casi siempre envuelto en los rayos solares, por manera que es muy difícil, no ya analizar su espectro, pero ni aun siquiera columbrarlo. Con el espectroscopio se ha examinado al hallarse muy cerca del horizonte, posición muy desfavorable, y nada de particular se ha visto en su atmósfera.

La atmósfera de Venus, según nos revela el análisis espectral, ofrece una composición análoga á la de la Tierra; en particular contiene vapor de agua que da lugar á la formación de nubes, y en efecto, además de las manchas fijas que ya estudiamos, se observan otras de formas bastante variables. Según Neison, la atmósfera de Venus presenta una refracción horizontal de 54,65, y su densidad sería 1,89 mayor que la correspondiente á la atmósfera terrestre.

El espectro y color general de Marte fué escrupulosamente observado por el Dr. Huggins durante una de las oposiciones del planeta. En las regiones azul y añil se distinguían varios grupos de líneas; sin embargo, la debilidad de esta zona del espectro cuando se estrechaba la ranura para poder percibir de un modo distinto las rayas de Fraunhofer, no permitía medir con exactitud la posición de las líneas marciales. Por esta razón no pudo Huggins determinar si estas líneas eran las correspondientes á igual región del espectro solar, ó si eran nuevas líneas que se debían á la absorción que sufre la luz por reflexión en el planeta.

En la región del rojo existen varias líneas muy fuertes; se ve muy bien la raya C de Fraunhofer, cuya posición se determinó satisfactoriamente por medio de medidas micrométricas efectuadas con el aparato. Desde esta línea se encuentra el espectro cruzado por rayas oscuras que se extienden hacia su parte menos refrangible. Una de ellas, muy acentuada, se hallaba situada entre C y B. Como esta raya no se encuentra en el espectro solar, hay que admitir que la produce la absorción del planeta y probablemente la atmósfera que lo rodea. Las otras líneas del rojo pueden ser idénticas, en parte al menos, á B y A del espectro solar.

También observó Huggins el espectro de las regiones más oscuras del disco de Marte. El espectro de la zona oscura situada debajo de la mancha blanca del polo austral, aparecía como una banda pulverulenta en comparación con el espectro de las otras partes adyacentes más brillantes. Este débil espectro parecía tener un tono de profundidad uniforme en toda su longitud, observación

que indica que la substancia que forma las porciones más oscuras de la superficie del planeta absorbe de igual manera todos los rayos del espectro; estas porciones, por lo tanto, han de ser de color neutral ó poco menos.

Según Huggins, no debe considerarse el color rojo de Marte como producido por absorción electiva, esto es, por un género de absorción de ciertos rayos únicamente, que dé origen á la aparición de líneas oscuras en el espectro. Además, no parece probable que el tinte rojizo característico del planeta, provenga de la atmósfera de Marte, pues la luz reflejada en las regiones polares no presenta color alguno, por más que esta luz tenga que atravesar un espesor más considerable de atmósfera que la que procede de las regiones centrales del disco, y precisamente en la parte que corresponde al centro del planeta es mucho más marcado el color.

Si el tinte se debiera, en efecto, á la atmósfera marcial, habría que suponer que ésta no presentaba por todas partes una misma composición, puesto que en unos puntos del disco planetario se ve de color más claro, y en otros de tono más profundo. En el estado actual de nuestros conocimientos sobre este asunto, sólo se puede decir que el color distintivo del planeta tiene su origen en la materia de que se componen algunas porciones de su superficie.

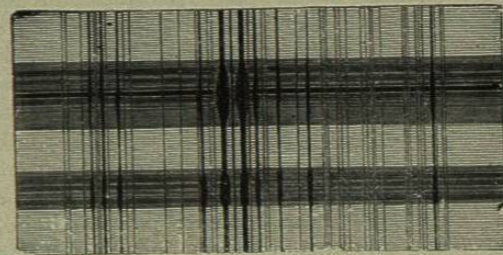


Fig. 188. - Espectro de las manchas solares

El espectro de Júpiter fué examinado por Browning con un espectroscopio adaptado á su reflector de 32 centímetros de diámetro; su brillo es bastante escaso, de modo que la posición de sus líneas no se puede determinar con gran precisión. A pesar del excesivo esplendor que ofrece este magnífico planeta en el cielo, su espectro es más débil que el de una estrella de segunda magnitud; esto se debe á que su brillo es más aparente que real, y depende del gran tamaño de su disco, en comparación con las estrellas, y de que su luz es reflejada y no directa.

En 1864 descubrió Huggins varias rayas oscuras en la región roja del espectro de Júpiter, que no coincidían con ninguna de las líneas de Fraunhofer del espectro solar, y entre ellas una que no correspondía á las rayas telúricas. Posteriormente examinó el espectro de este planeta Le Sueur con el gran telescopio de Melbourne, y distinguió las líneas de absorción descritas por Huggins.

Browning también llegó á verlas en 1870, agregando que distinguía en la región verde del espectro, cerca del amarillo, varias líneas oscuras muy finas que coincidían con las que producen los vapores de la atmósfera terrestre, visibles en la parte correspondiente del espectro solar, cuando el astro del día se encuentra cerca del horizonte. Si se pudiera admitir con algunos astrónomos que Júpiter fuera luminoso, por sí mismo, había motivo para atribuir estas líneas á ciertos elementos del planeta que no existiesen en el Sol, ó si acaso se hallan en éste, no nos han sido revelados por efecto alguno de absorción.

El espectro de Saturno, que es en extremo débil, fué examinado por Huggins, quien observó en él algunas de las líneas características del espectro de Júpiter; estas líneas se ven con menor distinción y claridad en la luz de las asas del anillo, de lo cual hemos de deducir que el poder absorbente de la atmósfera que circula en torno de estos apéndices anulares, es más débil que el de la envoltura gaseosa del globo central.

Posteriormente Vogel comprobó que en el espectro del cuerpo del planeta existía una banda de gran absorción situada en el rojo, de que carecía el espectro de los anillos, ó por lo menos, era en extremo débil; según estas observaciones, parece, pues, que los anillos carecen de atmósfera.

Las observaciones de Janssen, confirmadas por Secchi, han demostrado que en las atmósferas de Júpiter y Saturno existe el vapor de agua.

El espectro de Urano, que fué estudiado por Secchi, parece ser de un carácter en extremo notable; consta principalmente de dos bandas negras anchas, una en el azul verdoso, pero que no coincide con la raya F, y la otra en el verde, cerca de la línea E; un poco más allá de esta banda desaparece por completo el espectro, y en su lugar se ve un espacio vacío que se extiende por las regiones del amarillo y el rojo, en donde se columbra de nuevo una débil reaparición de la luz. El espectro, por lo tanto, es igual al que se produciría si se extinguieran todos los rayos amarillos de la luz del Sol. La línea oscura del sodio, D, se presenta, como sabemos, en la parte del espectro que ocupa este espacio no luminoso. O hay que atribuir, por consiguiente, este fenómeno extraordinario al influjo de dicho metal, ó bien el planeta Urano, cuyo espectro tan gran diferencia ofrece con el del Sol, es luminoso por sí mismo. ¿Acaso no habrá llegado el planeta á adquirir todavía el grado de consistencia que poseen los demás cuerpos del cortejo solar más próximos á nosotros, que sólo brillan por la luz del Sol reflejada? ¿Serán exactas las observaciones fotométricas de Zöllner, según las cuales es muy posible suponer que este cuerpo se halla todavía en su proceso de condensación y subsiguiente desarrollo, por los que ya pasó la Tierra?

A estas preguntas poco ó nada podemos contestar en la actualidad, y sólo se resolverá el problema cuando haya observaciones que merezcan mayor confianza. De realizarlo así trató Huggins, quien presentó á la Real Sociedad una Memoria sobre el aspecto que presenta el espectro de Urano; es éste continuo, sin que le falte ninguna porción, en cuanto puede juzgarse por la debilidad de la luz, desde la línea C hasta G. Debido á la escasa luminosidad del planeta, no pudo Huggins emplear una ranura bastante estrecha, como para que se presentasen las rayas de Fraunhofer; la notable absorción que ofrece Urano se manifiesta por seis líneas muy acentuadas; la situación de la menos refrangible sólo puede presumirse porque corresponde á la parte más débil del espectro.

Las medidas de la banda más refrangible indican que corresponde probablemente á la raya solar F; las comparaciones directas demuestran que coincide con la línea brillante del hidrógeno; tres de las líneas, según acusaba el micrómetro, correspondían á las brillantes del aire.

Observaciones recientes de Lockyer confirman que el planeta se encuentra todavía en estado de incandescencia y que muchas de las bandas de su espectro se deben al carbono, sin que le fuera posible distinguir líneas comparables

con las del espectro solar. Pero Huggins ha conseguido en estos últimos años fotografiar el espectro del planeta, con una exposición muy prolongada, empleando una ranura estrecha, obteniendo por este medio un hermoso espectro en el que se reconocen todas las rayas principales del solar, fotografiado sobre la misma placa, sin que existan más líneas, ni negras, ni brillantes, de modo que la luz del planeta, al menos en su parte más refrangible, procede únicamente del Sol.

El espectro de Neptuno, que también fué examinado por Secchi, ofrece una gran semejanza con el de Urano; se caracteriza por tres bandas principales; la primera, que es la más débil, está situada entre el verde y el amarillo, casi en el centro de D y b; su anchura es considerable, pero está muy mal definida en los bordes. Entre ella y el rojo hay una banda bastante brillante en la cual parece que termina bruscamente el espectro desapareciendo el resto de la zona roja.

Opina Secchi que la ausencia del rojo no se debe á la escasa luminosidad del planeta, puesto que algunas estrellas menos brillantes que Neptuno muestran con toda claridad en el espectro el color rojo; la falta de este tono en el de Neptuno debe, por lo tanto, atribuirse á la absorción.

La segunda banda de absorción se presenta en la línea b; se halla bastante bien definida en sus cantos, pero es mucho más difícil de observar que la anterior. La tercera banda se encuentra en el azul y es aún más débil que la segunda. Este espectro concuerda con el color general del planeta, que es verde mar; interesa su estudio doblemente, por la coincidencia que ofrecen las bandas oscuras con las bandas brillantes de ciertos cometas y con las oscuras de algunas estrellas. Es posible que se deban al carbono; pero como son en extremo difíciles de medir y para observarlas hay que aguardar una noche adecuada, las cuales son muy raras, nada decisivo puede decirse sobre el particular.

Al hablar de los eclipses totales de Sol, mencionamos que entre los diversos fenómenos que más llamaban la atención de los astrónomos se debían considerar los apéndices rojos que en el momento de la totalidad aparecían alrededor de la Luna; para la mayoría estas protuberancias, como se llamaban, tenían existencia real; para otros sólo se trataba de apariencias ópticas; pero en el eclipse de 1860, visible en España, quedó resuelta la cuestión, gracias á las fotografías obtenidas por Secchi y De la Rue, pues en las placas quedaron impresas, no sólo las protuberancias, una de las cuales tenía la enorme altura de 28.000 leguas, sino que también la corona quedó marcada. Después de esta época es cuando entró el método espectroscópico en la práctica corriente de la Astronomía, perfeccionándose de tal modo los aparatos y adquiriendo tal habilidad en su manejo los astrónomos, que en 1866 anunció Lockyer que el método espectral permitiría estudiar las protuberancias en todo tiempo y sin que fuera necesario aguardar para ello á las raras ocasiones que presentan los eclipses.

Esto, sin embargo, no se realizó á causa de la escasa dispersión del instrumento empleado.

Dos años después, en 1868, publicó Huggins un trabajo en el que comunicaba las tentativas que había hecho con objeto de distinguir las protuberancias, cuya invisibilidad en pleno día dependía, en su opinión, á no dudar, de la iluminación de nuestra atmósfera; pues si son cuerpos gaseosos, ha de componerse su

espectro de líneas brillantes; y reducida considerablemente la intensidad de la luz difusa de nuestra atmósfera cerca del borde solar, por la dispersión de un espectroscopio poderoso, aparecerán las líneas brillantes de las protuberancias, dado caso que éstas existiesen en aquel momento; á pesar de sus tentativas, basadas en una teoría exacta, nada consiguió Huggins.

Este era el estado de la cuestión, pocos meses antes de la fecha marcada para el eclipse total del 18 de agosto de 1868, en el cual se trataba de averiguar, por medio del espectroscopio, si las protuberancias eran, en efecto, gaseosas y qué substancias entraban en su composición.

El primero de estos problemas debía quedar resuelto tan pronto como se dirigiera un espectroscopio hacia las protuberancias, pues todo se reducía á ver si el espectro era continuo ó presentaba líneas de alguna clase. Sabemos, con efecto, que una materia sólida ó líquida incandescente produce un espectro continuo, como ocurre con el carbón que se encuentra suspendido en la llama de una bujía. Los mismos gases también pueden dar un espectro continuo si su temperatura es muy elevada; pero siempre que se obtiene un espectro formado de rayas brillantes separadas unas de otras por espacios negros, se trata de una materia gaseosa cuya naturaleza química puede determinarse por el número y posición de las rayas. El problema, prácticamente considerado, era mucho más difícil de lo que en un principio se había supuesto; pero estas dificultades no atemorizaron á los Janssen, Rayet, Herschel, Weise y Tennant, que con el mayor ardor se consagraron á este trabajo.

Para esto se necesitaban anteojos muy poderosos, capaces de formar imágenes claras y detalladas de las protuberancias; además, debían de estar dotados de estos instrumentos de un movimiento automático, á fin de que las imágenes producidas en la hendidura del espectroscopio permaneciesen en este punto durante mucho tiempo; los espectroscopios debían ser de un poder dispersivo bastante fuerte, como para separar las líneas, evitando, sin embargo, el exagerar su potencia, con objeto de perder la menor cantidad de luz posible. Como no había medio de efectuar ensayos preliminares con los diversos instrumentos ideados, se aguardaba la observación del eclipse con objeto de comparar las ventajas de cada uno de ellos.

El P. Secchi propuso que se emplease un espectroscopio simplificado, que se reducía á un solo prisma de visión directa, colocado entre el objetivo y el ocular del antejo. Observando así, se hubiera descompuesto la luz de las protuberancias de igual manera que la de una bujía, ó de la llama de la lámpara de alcohol con sal marina ú otros cloruros.

A pesar de estas dificultades no desmayó el entusiasmo de los astrónomos, siendo coronados sus esfuerzos con un resultado magnífico; los observadores se extendieron por toda el Asia; los más favorecidos fueron Janssen en Guntoor, Rayet en Malaca, el capitán Herschel y el mayor Tennant en Guntoor y Weiss en Aden.

El eclipse presentóse en circunstancias muy favorables, y una enorme protuberancia del limbo oriental fué percibida inmediatamente por los observadores, que en el acto apuntaron sobre ella sus instrumentos, que acusaban la presencia de un espectro discontinuo, formado por un corto número de rayas

brillantes. La primera parte del problema estaba, pues, resuelta y se tenía la certidumbre de que las protuberancias eran masas gaseosas.

Había, pues, que tratar de reconocer la naturaleza de las substancias que las componían, cuestión esta última mucho más difícil de resolver que la primera, puesto que se trataba de fijar la posición de las líneas respecto de una escala arbitraria, tomando como término de comparación el espectro de una substancia conocida ó el del mismo Sol. En esta parte de las observaciones se cometieron varios errores, bien dignos de excusa por cierto, si se considera la dificultad de la empresa, acrecentada, si cabe, por la presencia de las nubes.

Rayet empleó un espectroscopio de visión directa y observó en el espectro de la gran protuberancia del borde oriental siete rayas principales, algunas de ellas tan vivas, que producían una especie de cola en el campo del instrumento; he aquí un extracto de la comunicación que dirigió este astrónomo á la Academia de Ciencias de París:

«Desde el momento en que comenzó la obscuridad total, dirigí la ranura del

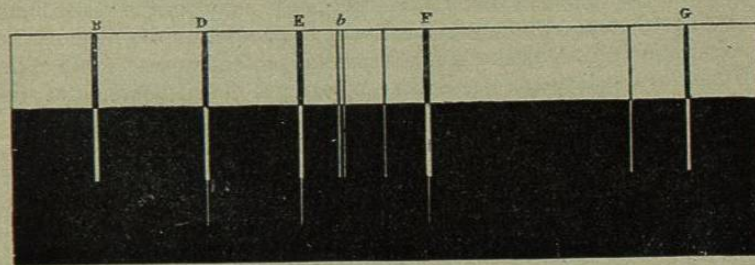


Fig. 188. - Líneas brillantes de las protuberancias observadas por Rayet en el eclipse de Sol de 18 de agosto de 1868

espectroscopio á la imagen de la gran protuberancia que entonces apareció por el limbo oriental del Sol, y vi inmediatamente una serie de nueve líneas brillantes, muy brillantes puedo decir, que se destacaban sobre un fondo uniforme casi negro, ó más bien violeta muy obscuro; ningún vestigio de espectro coloreado, producido por la corona, podía servir como punto fiduciario para medir la separación de las líneas brillantes. Sin embargo, gracias á la disposición que tenían en el campo, á sus separaciones relativas, á su color y, por último, al carácter particular de su conjunto, me pareció que estas líneas podían asimilarse á las rayas principales del espectro solar B, D, E, b, una línea desconocida F, y dos líneas del grupo G.»

La línea designada B corresponde en realidad á C, y en cuanto á D, sólo puede considerarse su posición como aproximada. La de F es exactísima. Janssen y Herschel señalaron la verdadera posición de C, si bien este último observador no llegó á determinarla con todo rigor á causa de las nubes que dificultaron su inspección.

Colocó Rayet sucesivamente la ranura de su espectroscopio en dos direcciones rectangulares; de este modo se tenía la seguridad de que el espectro observado por este método pertenecía, en realidad, á la protuberancia. En una segunda

observación analizó la luz de otro punto, y sólo halló una línea situada en el violeta, de lo cual habría que deducir que todas las protuberancias no tienen una misma composición química.

Comprobada completamente la existencia de la raya F, se tenía la seguridad de que el gas hidrógeno era una de las materias de que se componía la protuberancia, pero era necesario determinar la naturaleza de los gases á que pertenecían las otras líneas. La temperatura era indudablemente muy elevada y comparable á la que produce el paso de la chispa eléctrica en los tubos de Geissler. Por lo demás, esta comparación sirve para explicar el color rosado de las protuberancias, puesto que este es el tono que toma el hidrógeno cuando se le ilumina por una descarga eléctrica, después de rarificarlo.

De la Memoria que dirigió Janssen á la Oficina de las Longitudes extractamos los párrafos siguientes, en los que el mismo autor da cuenta de su notable descubrimiento en términos en extremo sencillos. «Durante la obscuridad total me llamó mucho la atención el extraordinario esplendor de las líneas de las protuberancias; se me vino en seguida á la idea que era muy posible verlas fuera de los eclipses; pero como el tiempo se encapotó á poco del último contacto, nada pude probar aquel día. Durante la noche medité profundamente sobre el método y los medios de ejecución que debía emplear, y al día siguiente, á las tres de la mañana, me levanté, disponiéndolo todo para las nuevas observaciones.

»Salió el Sol radiante; tan pronto como se desprendió de los vapores bajos del horizonte, principié mi exploración del modo siguiente. Valiéndome del buscador del gran antejo, coloqué la ranura del espectroscopio sobre el borde del disco solar en las mismas regiones en donde el día anterior había observado las protuberancias luminosas. Dispuesta así la ranura, caía una parte sobre el disco del Sol y la otra fuera, de modo que en el campo del instrumento aparecían dos espectros, el del Sol y el de la región de las protuberancias. Una dificultad grave que se presentaba era la del excesivo resplandor del espectro solar, pero pude evitarla tapando las regiones más brillantes del amarillo, el verde y el azul; dirigí toda mi atención á la línea C, obscura en el Sol y brillante en la protuberancia, y que, perteneciendo á una parte menos luminosa del espectro, debía percibirse con mucha mayor facilidad.

»Me ocupaba, poco tiempo hacía, en estudiar la región de las protuberancias del borde occidental, cuando distinguí de repente una raya roja, pequeña, brillante, de uno á dos minutos de altura, formando la prolongación rigurosa de la raya obscura C del espectro solar. Haciendo mover la ranura del espectroscopio de modo que recorriese metódicamente la región que estaba explorando, persistía la línea, pero se modificaba en su longitud y en el esplendor de sus diversas partes, acusando, pues, una gran variabilidad en la altura y en el poder luminoso de las distintas regiones de la protuberancia.

»Tres veces comencé la misma exploración y siempre aparecía la línea brillante en las mismas circunstancias. Redier, que me servía de ayudante, pudo verla también, y á poco rato predecíamos su aparición por el conocimiento que teníamos de las regiones exploradas. Poco después comprobé que la raya brillante F aparecía al mismo tiempo que C.

»Al mediodía volví á ocuparme de la región observada por la mañana; de

nuevo aparecieron las líneas brillantes, pero acusaban grandes modificaciones en la distribución de la materia de las protuberancias; á veces se fraccionaban las líneas en porciones aisladas que no se reunían á la raya principal, á pesar de las dislocaciones de la ranura de exploración. Este hecho indicaba la existencia de nubes sueltas que se habían formado después de la observación de la mañana; en la región de la gran protuberancia hallé algunas líneas brillantes, pero su longitud y su distribución acusaban también en esta parte grandes cambios.

»De esta manera quedó demostrada la posibilidad de observar las líneas de las protuberancias fuera de los eclipses, creándose así un nuevo método para el estudio de esos cuerpos.»

El programa que se impusieron los astrónomos se cumplió, pues, en todas sus partes, y las observaciones de Janssen y Rayet probaron que las protuberancias luminosas pertenecían al Sol y estaban compuestas de hidrógeno incandescente en su mayor parte, y dotadas de movimientos gigantescos de que no pueden darnos idea los fenómenos que presenciarnos en la Tierra, pues estos conglomerados gaseosos son de volumen inmenso, centenares de veces mayores que nuestro globo y cambian de forma, tamaño y situación en el espacio de algunos minutos.

Lockyer, mientras tanto, había hecho ciertas mejoras y modificaciones en su instrumento, y sólo volvió á su poder, de manos del artista, el 16 de octubre de 1868. El 20 del mismo mes, arreglado ya el tele-espectroscopio, pudo emplearlo en sus observaciones, y el propio día dirigió á la Real Sociedad la comunicación siguiente:

«Esta mañana he podido observar sin inconveniente parte del espectro de una protuberancia solar. Como resultado práctico, he determinado la existencia de tres líneas brillantes en las posiciones que siguen: 1.<sup>a</sup>, en perfecta coincidencia con C; 2.<sup>a</sup>, casi en coincidencia con F; 3.<sup>a</sup>, cerca de D.»

En una comunicación subsiguiente á Warren de la Rue afirma Lockyer que las protuberancias no son más que agregaciones locales de un medio luminoso y gaseoso, que rodea y envuelve al Sol por todas partes, y que el espectro característico de las protuberancias puede observarse en todos los puntos del borde solar. Estima el espesor de esta envoltura gaseosa en unas 2.000 leguas, y observa que el espectro puro de una protuberancia consta de líneas cortas brillantes; pero si la ranura del instrumento se dirige al limbo M N del Sol (fig. 189) del modo que antes se explicó, perpendicularmente á la tangente *ac* de este punto, se verá una estrecha cinta *abcd* del espectro solar, y al lado otra banda espectral mucho más débil *efc*, correspondiente en parte á la atmósfera terrestre, y en parte á la protuberancia *p*. Como por este sistema se ven las líneas brillantes de las protuberancias tan íntimamente unidas á las rayas de Fraunhofer que parecen sus prolongaciones, es fácil averiguar, con gran exactitud, cuál de las líneas brillantes coincide con las rayas de Fraunhofer, y cuál no. Si según este método se dirige el espectroscopio al limbo extremo del Sol, y se hace pasear la ranura alrededor del astro, inmediatamente se reconocerá el espectro de las pro-

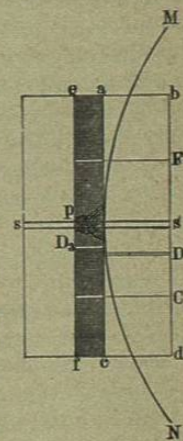


Fig. 189. — Espectro de las protuberancias