

resultado. Primeramente aparece la línea amarilla intensa del sodio en el fondo de un espectro continuo muy pálido; cuando empieza á ser ménos perceptible y se ha volatilizado ya la sal marina, se presentan las tenues líneas del potasio, seguidas de la línea roja del litio, que desaparece en breve, miéntras que las verdes del bario brillan con toda su intensidad. Entónces quedan totalmente volatilizadas las sales de potasio, litio y bario; al poco rato se muestran las líneas del calcio y del estroncio como si se disipara un velo, y adquieren paulatinamente su forma y brillo característicos.»

Por medio del análisis espectral, se comprueba fácilmente la presencia del sodio en el aire y en las partículas de polvo que tiene en suspensión. La sensibilidad de reacción de este metal es tan grande, que los observadores del espectroscopio han de tomar toda clase de precauciones para que esta reacción no se mani-

fieste al punto mediante la presencia de la raya amarilla en el espectro, bastando sacudir el polvo de un libro cerca del instrumento para que en el acto aparezca dicha raya.

Con este método se han descubierto seis nuevos metales; los dos primeros, el cesio y el rubidio, por Bunsen y Kirchhoff; el talio, por Crookes y Larny; el indio por Reich y Richter; el galio, por Lecoq de Boisbaudran, y el escandio por Nilson. El nombre de cesio se le ha aplicado por sus dos rayas azules; el de rubidio por las rayas rojas que caracterizan su espectro; el de talio recuerda la raya verde característica de este metal, y el de indio, una raya azul situada en el añil. El galio y el escandio (procedentes de los nombres de Francia y de Escandinavia, patrias de los descubridores) tienen, el primero dos rayas en el morado, y el segundo un crecido número de líneas, particularmente en el amarillo.

## CAPÍTULO VIII

### ANÁLISIS ESPECTRAL DE LOS CUERPOS CELESTES

#### I

APLICACION DE LA ESPECTROSCOPIA Á LA ASTRONOMÍA: CONSTITUCION FÍSICO-QUÍMICA DEL SOL, DE LOS PLANETAS Y DE LOS COMETAS.

Hasta aquí no había salido el espectroscopio del dominio de los laboratorios, por admirables que fuesen los progresos que merced á él había hecho el análisis química; permitía analizar y reconocer las sustancias terrestres que podemos ver y tocar, y hasta indicaba la presencia de cuerpos que no se conocían. Pero su alcance no debía limitarse á esto: gracias á su auxilio se ha podido ir más léjos, y abordar y resolver en parte un problema que parecia inaccesible á las investigaciones humanas: el estudio de la composición química de los astros, del Sol y de las estrellas, soles tan prodigiosamente apartados de nosotros, y la de las nebulosas que los telescopios nos permiten ver sumergidas en los abismos del éter á distancias cuya profundidad apenas puede sondar la imaginación.

Hé aquí enumerados en breves líneas los experimentos que han deparado un resultado tan magnífico:

Situemos la llama de un mechero de gas delante del anteojo del espectroscopio, y amortiguémosla hasta el punto de que quede reducida á una llama azulada casi imperceptible. En tal estado no da espectro: detrás del prisma reina completa oscuridad. Pero si introducimos en la llama una sal metálica, por ejemplo, un poco de sal marina, aparecerá al punto la raya amarilla del sodio, según hemos visto ántes.

Si se da paso á un rayo de Sol al propio tiempo y en el mismo prisma, de modo que el espectro del sodio y el solar se sobrepongan, se notará una coincidencia perfecta en la posición de la raya amarilla del sodio y de la doble raya oscura D de Fraunhofer.

Ahora, sustituyamos á la luz del Sol la conocida con el nombre de *luz de Drummond*—que se obtiene quemando un fragmento de cal en

una llama de gas atravesada por una corriente de oxígeno;—el espectro de esta luz, visto aislado, presenta notable esplendor y perfecta continuidad, y no contiene ninguna de las líneas oscuras del solar. Pero si se procede de modo que cubra exactamente el espectro del sodio, interponiendo la luz Drummond entre el prisma y la llama de dicho metal, desaparece en el acto la línea amarilla del sodio, siendo reemplazada por una línea oscura que ocupa precisamente la misma posición que la raya brillante.

Kirchhoff ha designado este fenómeno con el nombre de *inversión del espectro de las llamas*, habiéndolo comprobado en un gran número de espectros metálicos.

«Si se hace llegar, dice, un rayo solar á través de una llama de litio, se ve aparecer en el espectro, en el sitio de la raya roja, otra oscura que compite en pureza con las rayas de Fraunhofer más características, y que desaparece cuando se retira la llama de litio. No se obtiene tan fácilmente la inversión de las rayas brillantes de los otros metales; sin embargo, M. Bunsen y yo hemos tenido la suerte de invertir las rayas más brillantes del potasio, estroncio, calcio y bario.»

¿Qué consecuencia debe deducirse de hecho tan singular? Que los vapores metálicos, dotados de la propiedad de emitir en abundancia ciertos rayos de colores con preferencia á los otros, absorben por el contrario estos mismos rayos emanados de un foco luminoso y que atraviesan el primer foco. Por ejemplo, la luz del sodio que emite rayos amarillos de refrangibilidad determinada, absorbe precisamente los rayos amarillos de igual refrangibilidad de la luz Drummond á su paso por ella, resultando de aquí esa raya negra que en el espectro continuo se sitúa en el puesto que ocupaba la raya brillante del sodio.

Si esta absorción es un hecho general, debe deducirse de ella que las líneas negras, observadas en el espectro solar, indican la inversión de otras tantas rayas brillantes debidas á los vapores metálicos de su atmósfera. Esta atmósfera hace con respecto á nosotros las veces de un mechero oscuro de Bunsen, y la viva luz del cuerpo del Sol las de la luz Drummond en el mismo experimento.

Estudiando Bunsen y Kirchhoff bajo este

punto de vista las rayas negras del espectro solar, han tenido ocasión de comprobar la coincidencia de gran número de ellas con las rayas brillantes de ciertos metales. Por ejemplo, las 70 líneas brillantes del hierro, que varían en color, anchura é intensidad, coinciden por todos estos conceptos y tan exactamente con las 70 rayas oscuras del Sol, que es imposible dudar que en la atmósfera solar haya hierro en estado de vapor metálico. Los mismos sabios han reconocido la presencia de diez y nueve cuerpos simples en el Sol: estos cuerpos son los siguientes: hidrógeno, cobre, zinc, cromo, níquel, magnesio, bario, calcio, sodio, potasio, aluminio, manganeso, cobalto, estroncio, cadmio, titanio, cerio, uranio y plomo.

De la falta de las rayas características de otros metales, como oro, plata, platino, etc., en el espectro solar, creyeron poder deducir que en el Sol no los había, al ménos en las capas exteriores que forman su atmósfera, habiendo hecho la misma observación con respecto á los metaloides, excepto el hidrógeno, por ejemplo nitrógeno, oxígeno, carbono, azufre, etc.; pero esta deducción era demasiado absoluta, según resulta de los nuevos estudios hechos por Mitscherlich. Según este físico, sucede que el inmediato efecto de la presencia de ciertas sustancias en una llama consiste en impedir que se produzcan los espectros de otras sustancias y en disipar sus rayas principales; así por ejemplo, cuando se impregna de cloruro de cobre y de amonio la llama del cloruro de estroncio, desaparece la raya azul de este último metal.

¿No es por ventura cosa maravillosa esa propiedad que tiene la luz de revelar con tan gran sensibilidad la composición química de los cuerpos de que emana, y de conservar, al cabo de un curso de 37 millones de leguas, vestigios de la absorción de tal ó cual rayo de color, indicio cierto de la acción de los cuerpos simples en suspensión en una atmósfera que los astrónomos apenas sospechaban y cuya existencia ha quedado de tal suerte confirmada?

Sin embargo, entre las numerosas rayas que se observan en el espectro de la luz del Sol hay unas cuantas que no tienen por causa la absorción de la atmósfera solar. M. Janssen ha probado que la atmósfera terrestre contribuye

en parte este fenómeno, y ha llamado *rayas telúricas* á las que dimanaban de esta última causa. Ya en 1833 Brewster descubrió en el espectro del Sol líneas oscuras que modificaban el aspecto de ciertas regiones del mismo; estas líneas, visibles á la salida y á la puesta de dicho astro, es decir, cuando es mayor el espesor de las capas atmosféricas interpuestas, desaparecían á medida que el astro se elevaba sobre el horizonte. M. Janssen ha hecho muchos experimentos que han confirmado los de Brewster, y

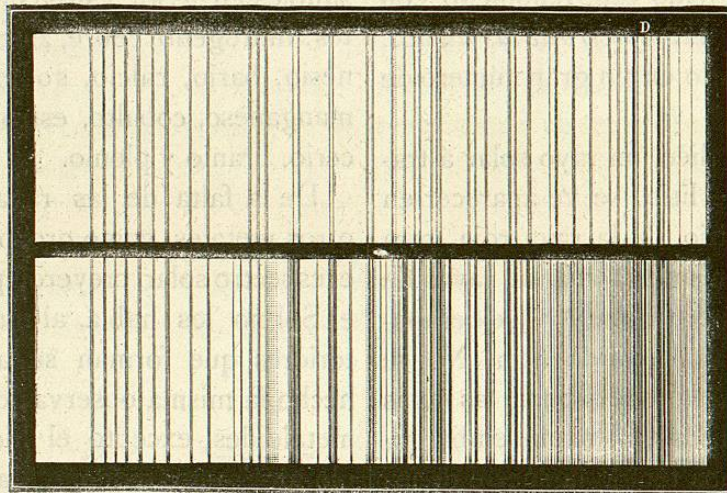


Fig. 107.—Líneas telúricas de la region D del espectro solar

gion observada cuando el Sol está en el meridiano: la inferior es la misma region vista cuando el astro se halla cerca del horizonte, á su orto y á su ocaso: en ella es de notar una multitud de rayas finas agregadas á las primeras: son las rayas telúricas de esta parte del espectro.

El análisis espectral ha ido todavía más lejos en el estudio de la constitucion química del Sol: se ha consagrado á analizar la misma atmósfera solar, y ante todo las protuberancias luminosas que se notan en el contorno del astro durante el breve intervalo en que la Luna oculta su disco en los eclipses totales.

Varios observadores, entre los cuales citaremos dos astrónomos ingleses, el teniente Herschel y el mayor Tennant, y otros dos franceses, Rayet y Janssen, aplicaron el espectroscopio á esos curiosos apéndices del contorno del Sol, cuando ocurrió el eclipse total del 18 de agosto de 1868, y vieron aparecer en el espectro de las protuberancias observadas cierto número de líneas brillantes, dos de las cuales correspondían á las rayas C y F del espectro solar, de-

comprobado la presencia de las rayas telúricas en los espectros de otros astros, por ejemplo en el de Sirio, demostrando además que la absorcion electiva de nuestra atmósfera se debe sobre todo al vapor de agua que el aire contiene, de suerte que el conjunto de dichas rayas constituye el espectro del vapor de agua mismo.

En la figura 107 se ven algunas de las rayas en cuestion situadas cerca de la línea D del espectro. La porcion superior representa esta re-

mostrando así la existencia del hidrógeno. En aquella circunstancia ideó M. Janssen un método de observacion que permitia explorar el contorno del Sol aún cuando no hubiera eclipse total, y este método perfeccionado ha hecho posible en cualquiera ocasion el estudio de las protuberancias, el análisis de su luz y el exámen detallado de todas las circunstancias que intervienen en su origen, formas, alturas y trasformaciones. El que desee conocer la descripcion detallada de estos fenómenos puede consultar los primeros capítulos de mi obra *El Cielo* que tratan de la constitucion del Sol: aquí me concretaré á resumir brevemente los principales resultados de esta inesperada aplicacion del análisis espectral.

Se ha reconocido que las protuberancias no son otra cosa sino expansiones accidentales de una capa de materia que cubre todo el Sol, y que está principalmente constituida por hidrógeno en estado de incandescencia. Hase dado á esta capa el nombre de *chromo-esfera*. La luz que emite es muchísimo menos intensa que la de la foto-esfera que limita el contorno visible del

astro, siendo esta enorme diferencia de intensidad la que hacia imposible la observacion habitual de las protuberancias, á pesar de la gran altura de algunas de ellas. Como en los eclipses totales la luz solar está completamente interceptada por el disco oscuro de la Luna, las protuberancias eran visibles, si bien desaparecían tan luégo como la luz foto-esférica aparecía de nuevo. El empleo del espectroscopio, tan ingeniosamente aplicado por Janssen, allanó la dificultad; y en efecto, el prisma extiende la vivísima

luz del Sol cual una prolongada cinta, cuyas diferentes partes son tanto menos luminosas cuanto mayor es la dispersion; la luz de las protuberancias se reduce, por el contrario, á un corto número de rayas muy finas; la tenuidad producida por la dispersion es casi nula, y en las pocas y angostas regiones en que esta luz se concentra, el brillo de las rayas es comparable al de las partes correspondientes del espectro solar.

El hidrógeno es el elemento principal de la chromo-esfera, pero no el único. La exploracion

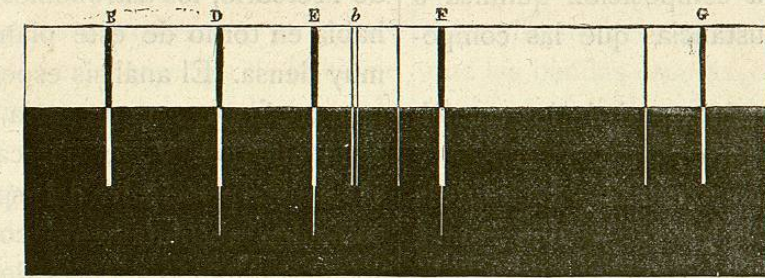


Fig. 108.—Líneas brillantes de las protuberancias solares, observadas por Rayet

espectroscópica de sus capas más bajas ha dado á conocer un número creciente de rayas brillantes que se han identificado con las de muchos cuerpos simples, metales ó metaloides. Como se podía prever, la mayoría de estos cuerpos se habia reconocido ya en el espectro solar; pero hay cierto número de ellos, como el oxígeno, el nitrógeno, el azufre, el bromo, es decir, precisamente los metaloides, cuya falta se habia notado ya en la foto-esfera solar y que parecían existir en la chromo-esfera.

Otra capa mucho más extensa que la chromo-esfera rodea al Sol á una altura que viene á ser igual al radio del astro; esta capa es la *corona*, especie de expansion luminosa cuyos límites exteriores son muy poco definidos y bastante irregulares, y que se ha observado varias veces durante los eclipses totales. Se ha podido efectuar el análisis espectral de la luz coronal durante la totalidad de algunos eclipses, habiendo quedado demostrado que la corona es un medio gaseoso muy enrarecido, formado en parte de gas hidrógeno y en parte tambien de otra sustancia todavía desconocida, y caracterizada por una raya verde especial que lleva el número 1474 en la escala espectroscópica de Kirchhoff. Pero la luz de la corona contiene asimismo rayos procedentes por reflexion de la foto-esfera y de las regiones más brillantes de la chromo-esfera.

Examinando las manchas del Sol con el espectroscopio se ha notado que las rayas oscuras parecen en ellas más anchas y confusas, fenómeno que puede verse en la figura 109, la cual representa una porcion del espectro solar visto á través de una mancha: las rayas foto-esféricas

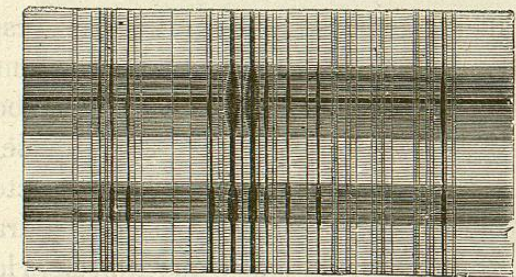


Fig. 109.—Espectro de las manchas solares

aparecen sumamente ensanchadas en la penumbra y en el núcleo, lo cual se explica atribuyéndolo á una absorcion bastante mayor en estos puntos procedente del espesor más considerable de las capas absorbentes, suponiendo cierto que las manchas sean cavidades.

Pasando ahora del estudio del Sol al de la luz de los demás astros, veremos que el análisis espectral ha enriquecido la ciencia con hechos nuevos del mayor interés.

Los planetas no brillan con luz propia; su esplendor es el de la luz solar reflejada en la superficie de cada uno de ellos. Podíase, pues,

prever que el análisis espectral de las luces planetarias daría espectros análogos al solar, y así lo han comprobado efectivamente los observadores. Con todo hay algunas diferencias que indican ciertas modificaciones sufridas por la luz solar, la cual no llega hasta nosotros sino después de atravesar dos veces la envoltura atmosférica del planeta cuando esta envoltura existe. Por lo tanto, en el estudio espectroscópico de las luces planetarias puede haber preciosas indicaciones sobre la existencia de estas atmósferas y sobre la composición química ó estado físico de las sustancias que las componen.

Resumamos el estado actual de los conocimientos sobre este punto.

Empecemos por nuestro satélite. La luz de la Luna ha sido analizada por Janssen en Roma, y por Huggins y Miller en Inglaterra; pero estos observadores han visto que su espectro era idéntico al solar, no habiendo reconocido en él ninguna faja ó raya nueva: la única diferencia consiste en la variación de intensidad según las regiones del disco examinadas. Nada ha indicado la presencia ó la acción absorbente de una atmósfera, y esto confirma la opinión largo tiempo acreditada de que la Luna carece de ella.

«Cuando se observa, dice Huggins, el espectro de una estrella poco antes del momento ó en el momento mismo en que la oculta el borde oscuro de nuestro satélite, podría suponerse que se iban á percibir algunos fenómenos característicos del paso de la luz de la estrella á través de una atmósfera. Si existe una atmósfera lunar que, ya por las sustancias de que está formada ó bien por los vapores que tenga en disolución, pueda ejercer una absorción electiva en la luz de la estrella, debería indicarse esta absorción por la aparición de nuevas rayas oscuras en los espectros, inmediatamente antes de su ocultación por la Luna. Si en torno de este astro hay una atmósfera libre de todo vapor y sin poder absorbente, pero de alguna densidad, en este caso el espectro de la estrella no quedaría extinguido en el mismo instante en toda su longitud: las rayas moradas y azules subsistirían aún después de la desaparición de los rayos rojos. He observado con el mayor cuidado la desaparición del espectro de la estrella E de

los Peces, en la ocultación del 4 de enero de 1865, con objeto de estudiar este fenómeno, y no he podido descubrir el menor indicio de atmósfera lunar.»

«Si alrededor de la Luna, sigue diciendo Huggins, hubiera una materia finamente dividida, acuosa ó de otro género, las rayas rojas de la luz solar tendrían que debilitarse en menor grado que las rayas de mayor refrangibilidad.»

En virtud de las observaciones telescópicas de Mercurio, los astrónomos sospechaban que había en torno de este planeta una atmósfera muy densa. El análisis espectral de su luz parece confirmar esta creencia. Y en efecto, véase lo que dice Vogel acerca de este asunto: «Las rayas principales del espectro de Mercurio coinciden absolutamente con las del espectro solar: resultando además de las observaciones que ciertas rayas que no aparecen en el espectro del Sol sino cuando este astro está muy cerca del horizonte (las rayas telúricas) y es muy grande la absorción ocasionada por nuestra atmósfera, se encuentran *siempre* en el espectro de Mercurio. Así pues, debe deducirse de esto la existencia de una envoltura gaseosa alrededor de Mercurio, la cual ejerce en los rayos solares una acción absorbente igual á la de nuestra atmósfera, cuando llega á su máximo. Por lo regular, las partes menos refrangibles del espectro de Mercurio presentan un brillo más vivo que las refrangibles; pero es imposible separar aquí el efecto de nuestra atmósfera del producido por la del planeta.»

El análisis espectral no ha indicado nada de cierto á W. Huggins acerca de la existencia de una atmósfera en torno de Venus, pero el P. Secchi parece haber sido más afortunado, pues en el espectro de su luz ha visto rayas análogas á las del vapor de agua de la atmósfera terrestre, de lo cual no tan sólo ha deducido naturalmente la realidad de una atmósfera, sino también la analogía de composición que ofrece con la nuestra. Sábese que las observaciones astronómicas demuestran que Venus está rodeada efectivamente de una atmósfera muy densa, pero como las alteraciones introducidas en el espectro solar son por el contrario muy pocas, Vogel ha creído poder deducir de aquí «que los rayos solares que nos envía Vé-

nus se reflejan en su mayor parte en la superficie de la capa de nubes que la rodea, sin penetrar casi en su interior.»

Según hemos dicho ya, Marte es un planeta que tiene grandes analogías con la Tierra, bajo el punto de vista de su constitución física. Se han observado en su superficie, además de las manchas permanentes, otras manchas variables y movibles, que tienen toda la apariencia de masas vaporosas flotantes en la atmósfera del planeta. El análisis espectral confirma estas probabilidades de la existencia de una atmósfera formada de gases y vapores, y en efecto, el P. Secchi ha visto en el espectro de la luz de Marte líneas semejantes á las del vapor de agua de nuestra atmósfera. W. Huggins ha observado una raya cuya posición no coincidía con ninguna de las del espectro solar; presumiendo por esta causa que se debe á la absorción del planeta y probablemente á la atmósfera que lo rodea: otras líneas le han parecido idénticas á las que se ven en la luz solar cuando ha atravesado las capas más bajas de nuestra atmósfera ó *stratus* poco elevados; y que provienen sin duda de la absorción por los gases ó los vapores que constituyen estas capas. Así pues, Marte tiene seguramente una atmósfera vaporosa. Largo tiempo hacía que los astrónomos habían observado que los bordes del disco de Marte son más luminosos que sus partes centrales, lo cual inducía á presumir la existencia de una atmósfera que ofuscará con su brillo las manchas oscuras, en el momento en que á causa de la rotación se encuentran en los bordes.

Vogel ha confirmado estos resultados en sus *Estudios de espectroscopia planetaria*. «En el espectro de Marte, dice, se advierte un considerable número de rayas del espectro solar. En las porciones menos refrangibles del espectro, aparecen algunas fajas que no pertenecen al espectro solar, pero que coinciden con las del espectro de absorción de nuestra atmósfera. Puede pues suponerse con certeza que Marte tiene una atmósfera que por su composición no difiere esencialmente de la nuestra, y que debe ser rica sobre todo en vapor de agua. El color rojo de Marte parece resultar de una absorción que se ejerce generalmente en los rayos azules y morados en su conjunto; al menos,

no ha sido posible discernir fajas de absorción determinadas en esta parte del espectro.»

Desde Marte, crucemos todo el intervalo que lo separa de Júpiter, intervalo ocupado, como nadie ignora, por los innumerables planetas telescópicos, y lleguemos al globo colossal tan fácil de conocer por su aplanamiento y por las bandas alternativamente oscuras y luminosas que surcan su superficie. El estudio de estas apariencias y de sus variaciones de forma, posición y color ha inducido á suponer que las bandas luminosas son zonas de nubes que reflejan fuertemente la luz solar, al paso que las bandas oscuras corresponden á los espacios despejados á través de los cuales se ve el suelo del planeta. Las curiosas variaciones notadas en estos accidentes parecen pues debidas á cambios atmosféricos.

El análisis espectral de la luz de Júpiter ha proporcionado algunos datos sobre la naturaleza de su envoltura gaseosa más positivos que los que da la observación telescópica. Hé aquí lo que han notado Huggins y Miller, observadores avezados á esta clase de investigaciones. «En el espectro de Júpiter, dicen, se ven rayas que indican que alrededor de este planeta hay una atmósfera absorbente. Una fa-

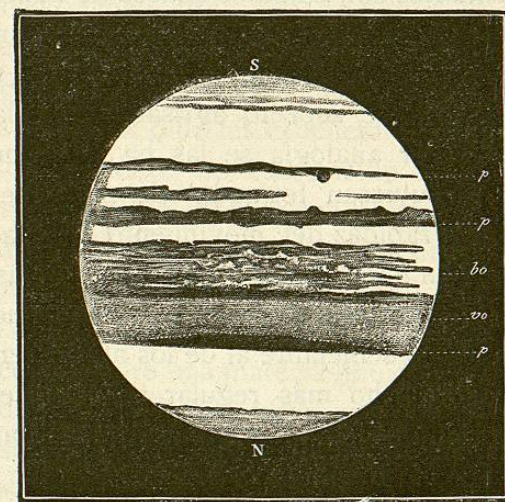


Fig. 110. — Júpiter y sus bandas

ja oscura corresponde á varias rayas atmosféricas terrestres y probablemente indica la presencia de vapores análogos á los de la atmósfera de la Tierra. Hay otra faja que no corresponde con ninguna de las rayas de absorción de nuestra atmósfera, y demuestra la presencia de algún gas ó vapor que no existen en la atmósfera terrestre. Según Vogel, convie-