

se obtiene su espectro haciendo brotar la chispa de induccion de un carrete Ruhmkorff entre dos electrodos formados por el metal en cues-

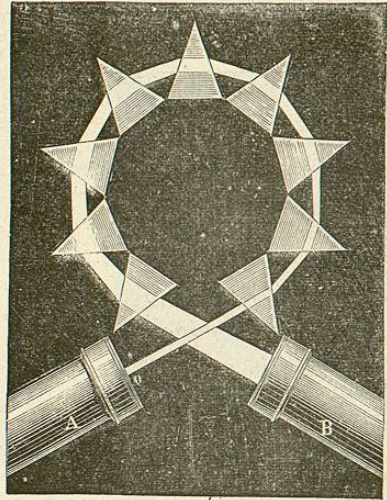


Fig. 102.—Espectroscopio horizontal de prismas múltiples

tion. Como la luz se produce entónces en un medio gaseoso, el espectro que se obtiene es una mezcla del espectro del gas y del del metal. Pero siendo preciso poder distinguir las rayas

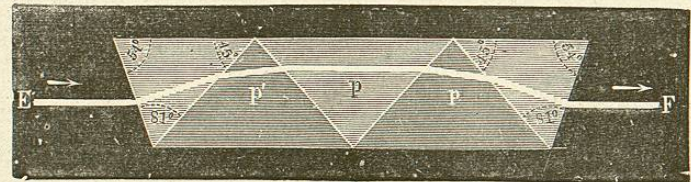


Fig. 103.—Disposicion de los prismas en un espectroscopio de vision directa

los polos de un carrete de induccion, se ve aparecer de un hilo á otro una luz que presenta el aspecto de una línea continua de fuego en la parte más angosta del tubo, y es la que se coloca delante de la ranura del espectroscopio. En el aparato de Geissler (fig. 105) los tres tubos son prolongacion uno de otro.

Otro sistema debido á M. Salet, consiste en un gran tubo de vidrio de  $1\frac{1}{2}$  á 2 centímetros de diámetro y de 15 á 20 de largo, cerrado por un extremo y provisto en el otro de un tapon de cautchuc con dos orificios por los cuales penetran en el interior dos tubos concéntricos que contienen los hilos de los reóforos, y además otro tubo curvo que sirve para hacer el vacío en el aparato y para introducir en él el gas que se ha de quemar. Los hilos metálicos se encorvan dentro del tubo mayor, quedando así frente á frente, de modo que poniendo sus extremos exteriores en comunicacion con los

brillantes que pertenecen á cada uno de ellos, se ha consignado que las rayas del espectro metálico aparecen principalmente en las partes de la chispa más inmediatas á los polos; y la parte intermedia es la que con especialidad contiene las líneas del medio gaseoso.

Por lo demás, se distinguen las dos clases de rayas por medio de disposiciones particulares cuya descripcion es la siguiente: La figura 104 representa el tubo que ha ideado M. Plücker para el análisis espectral de los gases, cuyo tubo se compone de otros dos de 2 á 3 centímetros de longitud y de 5 á 10 milímetros de diámetro interior, unidos por un tubito casi capilar soldado á los dos primeros y formando con ellos ángulos más ó menos abiertos. En los dos extremos de los tubos anchos van fijos dos hilos de platino que penetran en su interior por un extremo y salen retorcidos al exterior por el otro. Despues de hacer el vacío y de introducir el gas á la presion apetejada, por medio de un tubo lateral, se cierra éste á la lámpara. Si se ponen entónces los hilos en comunicacion con

polos de un carrete ó bobina, brota la chispa y produce en el gas la luz que se observa en seguida con el espectroscopio.

Debe tenerse presente que las rayas de los principales gases simples varian en número y brillo con respecto á un mismo gas segun la cantidad de presion. La apariencia espectral varia tambien segun la temperatura del gas y segun la tension de la chispa eléctrica que produce la incandescencia (1), de suerte que la sustitucion de la bobina de Ruhmkorff por un

(1) Por ejemplo, el azufre volatilizado en un tubo de Plücker y calentado á una temperatura elevada da una magnífica luz de color azul bajo que se resolverá por el prisma en fajas muy regulares en las cuales se percibirán con un fuerte aumento rayitas negras. Si se hace comunicar cada polo de la bobina de induccion que sirve para hacer el experimento con una de las armaduras de la botella de Leiden, la chispa en el aire será más intensa; en el tubo de Plücker será más luminosa, y cambiará de color y de aspecto si se calienta algo más ó si se emplea un aparato de induccion de alguna mayor fuerza. La descarga será filiforme azul verdosa, y su espectro exclusivamente compuesto de rayas sueltas y brillantes. Obsérvanse estos dos espectros

condensador ó máquina de Holtz basta para modificar el fenómeno. Así pues para que las observaciones espectroscópicas sean comparables, es menester hacerlas en las mismas con-

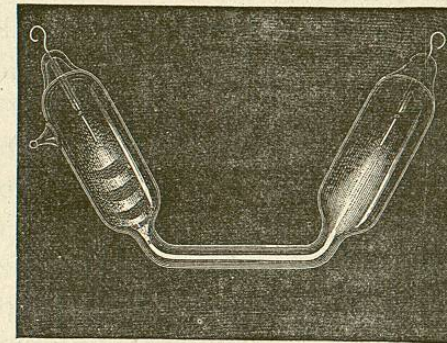


Fig. 104.—Análisis espectral de los gases. Tubo de Plücker

diciones físicas y con instrumentos de igual potencia.

Dejamos expuestos sucintamente los procedimientos de observacion: pasemos ahora á dar algunos detalles sobre varios de los principales resultados obtenidos.

## V

ESPECTROS DE LOS METALES Y METALOIDES. — PRINCIPALES GASES SIMPLES. — DESCUBRIMIENTO DE NUEVOS METALES POR EL ANÁLISIS ESPECTRAL.

Acabamos de ver que, para obtener el espectro de un metal, por ejemplo el del sodio, se introduce en la llama de la lámpara un hilo de platino impregnado de una solución concentrada de una sal cuya base la forma este metal, verbigracia, de sal marina (cloruro de sodio). Al punto se ve aparecer una raya amarilla de gran intensidad y de contornos muy marcados, que es la principal del espectro del sodio. El litio da dos rayas principales, una amarilla de

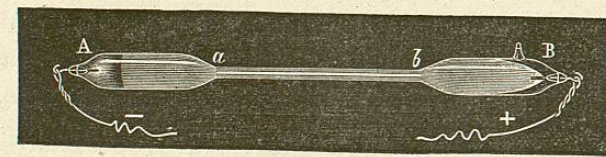


Fig. 105.—Análisis espectral de los gases. Tubo de Geissler

escaso brillo, y otra roja y brillante; el potasio, dos líneas características, una roja y otra viola-

cualquiera que sea el metal de los electrodos; son característicos del azufre en el mismo grado, pero no tienen absolutamente nada de común ni se transforman uno en otro por una trasmisión insensible.» (G. Salet, artículo Luz del Diccionario de química de M. Wurtz.)

da, acompañadas de algunas amarillas y verdes; el calcio, una verde muy viva, otra anaranjada y otra azul; el estroncio, ocho rayas, seis de ellas rojas, una anaranjada y otra azul; el bario, dos verdes y otras en el amarillo y el azul; el talio, una sola, de color verde y notable por su brillo.

Del propio modo se ha estudiado un gran número de cuerpos simples, y reconocido y fijado la posición de sus rayas brillantes, de suerte que basta examinar y comparar con los resultados de que hablamos el espectro de una llama, para que se pueda deducir de él la naturaleza de los vapores metálicos que tiene en disolucion. Como se comprenderá, de aquí ha nacido un nuevo método de análisis para la química, método tan delicado y sensible que

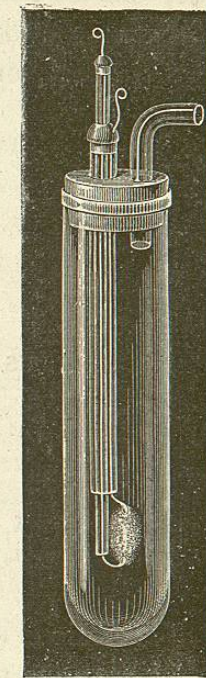


Fig. 106.—Análisis espectral de los gases: Aparato de Salet

basta la millonésima parte de un milígramo de sodio para que aparezca al punto la raya amarilla característica del espectro de este metal.

Dos químicos y físicos alemanes, los señores Kirchhoff y Bunsen, han hecho que el análisis espectral alcanzara un alto grado de precision desde sus comienzos.

«Preparo, dice Bunsen, una mezcla de los cloruros de los metales alcalinos y alcalino-térreos, sodio, potasio, litio, bario, estroncio y calcio, que contenga á lo sumo una cienmilésima de milígramo de cada una de estas sustancias; aplico esta mezcla á la llama, y observo el



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 antejo 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