

modo que se obtenga á la vez el espectro del núcleo y el de la nebulosidad que lo rodea, se dispone la rendija de tal manera que corte la imagen de la cola, se obtiene un espectro que ofrece las tres bandas brillantes, ya descritas, sin rastro de espectro continuo, y separadas unas de otras por intervalos oscuros. En la cola no hay, pues, materia sólida incandescente en cantidad sensible.»

El P. Secchi repitió sus observaciones sobre la luz del cometa de Coggia, confirmando en sus resultados principales los estudios que acabamos de presentar. Las tres bandas brillantes y el espectro continuo que las cortaba transversalmente tenían, en las fechas del 18 de junio y del 9 de julio, el aspecto que indica la fig. 208. El astrónomo del Colegio Romano llama la atención sobre una particularidad que fácilmente se observa; queremos hablar de las interrupciones que presenta el espectro continuo en la proximidad de las bandas, muy sensibles, sobre todo, en la segunda observación. «Observando, dice, el espectro con un prisma de Nicol, se veía debilitarse la parte continua de un modo considerable, mientras que las bandas conservaban todo su brillo. Esta observación daría motivo para creer que el espectro continuo se debiese á la luz refleja.» Vemos, pues, que en este último punto difiere la opinión del P. Secchi de la expresada por los astrónomos de París antes expuesta, que consideran el espectro continuo como producido por un núcleo sólido en cierto estado de incandescencia. Parece cierto que la luz del cometa estaba polarizada, lo que se prueba por las observaciones efectuadas en Roma durante el mes de julio; pero tampoco hay razón de peso que se oponga á que el núcleo emitiese al mismo tiempo luz propia y á que reflejase en parte la del Sol. Esta cuestión no está resuelta, y todavía existe una duda sobre la naturaleza de la luz cometaria, según habrá notado el lector, por las descripciones que hemos dado del examen de varios cometas.

Vamos á agregar algunos detalles debidos al mismo astrónomo, quien pudo observar el cometa más tiempo que sus colegas del Observatorio de París, como lo prueba la fecha del 17 de julio de la comunicación que sigue.

«El cometa, dice, examinado con los oculares ordinarios era magnífico; el 9 de julio formaba un abanico rojizo (por contraste con el núcleo) de una abertura de 180 grados próximamente, de rayos curvilíneos que partían de un núcleo amarillo verdoso. Forzando el aumento hasta cien veces, se veía el núcleo coronado por tres penachos débiles y reducidos á una pequeña esfera difusa de 2 segundos escasos de diámetro. La carencia de límite marcado y el efecto producido por las amplificaciones poderosas demostraban que el núcleo no estaba formado por ningún cuerpo sólido; los mismos aumentos mostraban, en efecto, los satélites de Júpiter con un disco perfectamente terminado.

»Invitado por Mr. Hind, traté de buscar el cometa durante el día, pero sin resultado; parece poco probable que se columbre en tales condiciones, pues Júpiter, que es mucho más brillante, tampoco es visible. El 17 de julio era enorme su cola y llegaba á la estrella *epsilon* de la Osa mayor, y su cabeza se hallaba bajo el horizonte; lo menos tendría 45 grados de longitud. El 13 se hallaba muy dilatado alrededor de la cabeza.»

Habiendo comparado el P. Secchi las posiciones de las bandas brillantes del espectro cometario con las de los espectros del óxido de carbono y del áci-

do carbónico, las halló correspondientes; pero empleando hidrocarburos, ninguna de las rayas hidrogénicas coincidía al parecer con las del cometa. Estos resultados prueban que los astrónomos no se hallan aún conformes en la interpretación de los hechos relativos al análisis espectral, pues en una carta escrita en Moscou por Bredechin, y dirigida á los observadores italianos, se lee que las posiciones de las bandas del espectro del cometa, comparadas con las del carburo de hidrógeno de un tubo de Geissler, coincidían con las que tienen por longitud de onda 5.633, 5.164 y 4.742 de la escala de Angstrom.

En Palermo observó Tacchini el cometa por métodos diversos. «Las rayas brillantes observadas en el espectro del cometa eran cuatro, las que referidas al espectro solar correspondían á las posiciones siguientes de la escala de Ang-

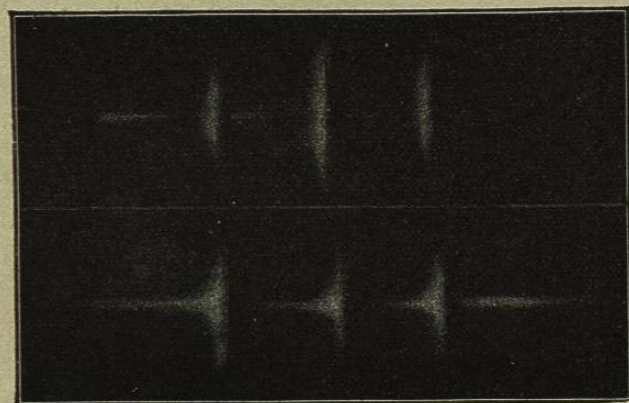


Fig. 208. - Espectros del cometa de Coggia 6 III de 1874, según las observaciones de Secchi

trom: 6.770, 5.620, 5.110 y 4.800. Las posiciones de estas rayas no pueden considerarse como rigurosamente exactas, á causa del medio que sirvió para obtenerlas, pero es claro que las tres últimas corresponden al espectro del carbono. La del rojo era menos distinta que las otras, porque en esta parte se presentaba el rojo muy vivo y difuso; esta raya sólo se vió bien durante las primeras noches, es decir, á fines de junio y principios de julio. Las otras tres líneas no presentaban igual longitud, y la más extensa era la 5.620; la 5.110 era la más viva de todas y parecía blanca casi, como ocurre con las rayas del magnesio después de las erupciones solares. El espectro continuo del núcleo del cometa se proyectaba como sobre un fondo formado por un espectro solar más intenso en el rojo, que, según decimos, estaba más dilatado. Esta hermosa cinta coloreada sólo se observaba en el paso del núcleo, el que visto simplemente con el ocular parecía de un color blanco verdoso, mientras que el amarillo era sensiblemente rosa, aun cuando se ocultase el núcleo.

»En la viva luz solar que reflejaba el núcleo debieran mostrarse algunos vestigios de polarización, y para comprobar su existencia invité al profesor de

física señor Pisati para que observase conmigo, con auxilio del polariscopio que tenía á su disposición. Habiendo aplicado un bicuarzo al antejo, aparecieron indicios de polarización, pero débiles; con un prisma de Nicol apareció la luz fuertemente polarizada, encontrándose su parte más débil cuando la sección principal del Nicol coincidía con la dirección de la cola, de donde se deduce que la luz estaba polarizada en un plano que pasaba por el Sol. El experimento se repitió también en la parte más viva de la cola y se obtuvo el mismo resultado. Hacia la mitad de la cola era tan débil la luz, que nada podía asegurarse con certidumbre; pero parece probable que la reflexión tuviera lugar en toda la longitud de la cola.»

Estas afirmaciones, tan terminantes, respecto de la polarización de la luz del cometa de Coggia, fueron confirmadas por las observaciones de Wright, efectuadas en los Estados Unidos; según este astrónomo, una porción considerable de la luz del cometa proviene del Sol y la vemos por reflexión.

Es prematuro todavía sacar deducciones decisivas de estas observaciones, de mucho mérito, sin duda alguna, pero poco numerosas. El espectro de las tres bandas brillantes se deriva, incuestionablemente, de la luz del núcleo cometario y no de la que corresponde á la cabellera, que es demasiado débil y está muy mal definida para que pueda producir un espectro semejante; no hay inconveniente, por tanto, en admitir que el núcleo sea luminoso por sí mismo, y muy verosímilmente, que está compuesto de un gas en estado de incandescencia, que contiene carbono. Esta teoría la rechazó hace tiempo Prazmowski, quien hizo algunos experimentos sobre la luz reflejada por tiras de papel coloreado, débilmente iluminadas, y halló que el espectro de un cuerpo que el Sol ilumina con muy poca fuerza, presenta exactamente la misma apariencia que observaron Secchi y Huggins en el cometa de 1868 y en algunos de los posteriores; el espectro de bandas, por consiguiente, que daba este cometa, no prueba que el cuerpo fuese luminoso por sí mismo y aun la luz emitida por el núcleo puede ser también luz reflejada.

La hipótesis de Prazmowski es insostenible de todo punto. Huggins notó que un espectro de bandas brillantes debe producirse por un gas en estado fluorescente; pero en el caso de coincidir el espectro cometario con el del carbono queda el hecho sin explicar. Secchi afirma, en contra también de Prazmowski, que las bandas brillantes y las oscuras de absorción que se ven en el espectro de la luz reflejada por una superficie de color, no presentan nunca esos bordes cortados que se observan en el espectro de los cometas; con su magnífico polariscopio notó la polarización de la cabellera principalmente, sin columbrar el menor indicio en el núcleo, que, dado caso de que hubiera reflejado la luz del Sol, habría manifestado una polarización mucho mayor.

Enlazando estos diversos fenómenos, se adquiere el convencimiento casi completo de que los núcleos de los cometas, no sólo emiten luz propia producto de un gas inflamado, sino que también reflejan, como la cabellera y la cola, la luz del Sol; así, pues, nada hallamos que se oponga á la teoría que considera las masas cometarias formadas por pequeños cuerpos sólidos separados unos de otros, de igual manera que lo están los corpúsculos infinitesimales constituyentes de una nube de humo ó de polvo; y que á medida que el cometa se aproxima al Sol,

los compuestos más fusibles de estos pequeños cuerpos se volatilizan total ó parcialmente, y en estado de calor blanco alcanzan á las otras partículas sólidas, rodeando el núcleo de una nube, luminosa de por sí, de vapor inflamado. El análisis espectral no nos suministrará más testimonios ciertos respecto de la naturaleza física de los cometas, hasta que aparezca uno de estos astros de gran brillo, como el de Donati, por ejemplo, que pueda examinarse en sus diversas fases.

Otros muchos cometas han sido analizados posteriormente, y del estudio de todos ellos se deduce que su espectro se parece más al del carbono en ignición que al del carbono hecho incandescente por la corriente eléctrica.

Hemos estudiado ya en otro lugar de esta obra las leyes que rigen los movimientos y apariciones de los globos de fuego y meteoros luminosos que cruzan el espacio; de sus aspectos y formas y de sus trayectorias, también dijimos lo necesario para la clara inteligencia de este punto interesante de la ciencia astronómica, y ahora vamos á ocuparnos de las revelaciones del análisis prismático sobre la naturaleza de estos cuerpos.

Se admite hoy día casi de un modo universal, gracias á las recientes observaciones de Schiaparelli, Le Verrier, Weiss y otros, que estos meteoros, pequeños en su mayor parte, pero que á veces llegan á pesar muchas toneladas, son masas ó fragmentos de masas que giran, como los planetas, alrededor del Sol y que en su curso se aproximan á la Tierra, y atraídos por ésta, penetran en la atmósfera inflamándose por el calor generado por la resistencia que ofrece el aire comprimido. Otros proceden de las profundidades del espacio.

La altura á que aparecen los meteoros es muy variable y puede comprenderse entre los límites de 18 y 38 leguas; por término medio se admite la altura de 26 leguas. La velocidad con que caminan es también muy variable y generalmente no pasa de 11 leguas por segundo, ó sea vez y media la de la Tierra en su órbita; el máximo y el mínimo difieren en extremo, pues se ha estimado la velocidad de algunos meteoros en 5 leguas y la de otros en 40 leguas por segundo.

Cuando uno de estos uranólitos oscuros, dotado de una velocidad de 660 leguas por minuto, encuentra á la Tierra, que á su vez corre por los espacios con una velocidad media de 458 leguas por minuto, y cuando á causa de la atracción terrestre se aumenta su velocidad en unas 92 leguas por minuto, halla ese cuerpo una resistencia tan enorme, aun en las regiones de la atmósfera más altas y rarificadas, que tiene que disminuir su velocidad y pierde en muy corto tiempo una parte muy importante de su fuerza viva; esta resistencia produce un resultado común á todos los cuerpos, que estando en movimiento se detienen bruscamente.

Si se hace girar una rueda con gran rapidez, su eje, ó la chumacera que lo sustenta, se caldea por el rozamiento hasta el rojo. En los cursos de física se hace sensible el calor que desarrolla el rozamiento, por medio del siguiente experimento ideado por Tyndall:

Un tubo de vidrio lleno de agua (fig. 209), cerrado con un corcho, puede recibir un rápido movimiento de rotación alrededor de su eje. Durante su movimiento, se le sujeta con una pinza de madera forrada de cuero; el agua se va calentando gradualmente, acaba por llegar al punto de ebullición y en un momento dado salta el tapón seguido de un abundante golpe de vapor.

Cuando una bala de cañón choca repentinamente con gran velocidad contra una placa de hierro, como ocurre en el tiro al blanco, se ve saltar una chispa de la bala, aun en medio del día; en análogas circunstancias, una bala de plomo se funde parcialmente.

El calor de un cuerpo consiste en el movimiento vibratorio de sus moléculas; un aumento de este movimiento molecular es sinónimo de una elevación de temperatura; cuando disminuyen estas vibraciones, se dice que el cuerpo se enfría. Ahora bien: si un cuerpo en movimiento, como verbigracia una bala de cañón, choca contra una plancha de hierro, ó un meteorito percute contra la atmósfera terrestre, en proporción que disminuye su velocidad, y se anula la acción externa por la presión del medio resistente sobre las moléculas anteriores, crece la vibración de estas mismas partículas; ese movimiento se comunica inmediatamente al resto de la masa, y por la aceleración de esta vibración en todas las partículas se eleva la temperatura del cuerpo.

Este fenómeno, que se verifica siempre que se interrumpe el movimiento de un cuerpo, se expresa diciendo que *el movimiento de la masa se convierte en vibración molecular ó calor*; es ley sin excepción que dondequiera que el movimiento externo de la masa disminuye, tiene lugar una acción interna equivalente entre sus partículas, que es el calor, y puede suponerse que hasta en los estratos más altos y rarificados de la atmósfera terrestre, ha de disminuir rápidamente la velocidad del uranolito por su acción opuesta ó resistencia que le ofrece á su paso, así que poco tiempo después de entrar en nuestra atmósfera, se acelera hasta tal grado la vibración de las moléculas interiores, que su temperatura se eleva al calor blanco, fundiéndose una parte del meteorito si es de dimensiones considerables, ó disipándose en vapor si es suficientemente pequeño, dejando tras sí una estela luminosa de gases inflamados.

Haidinger, en una teoría que abraza todos los fenómenos que presentan estos cuerpos, explica la aparición de un bólido ó estrella fugaz, suponiendo que el meteorito, á consecuencia de su rápido movimiento á través de la atmósfera, comprime el aire que halla por delante hasta que se hace luminoso; el aire comprimido en que brillan las partículas sólidas de la superficie del uranolito, lo rodea por todas partes, excepto por la superficie posterior del meteorito, en donde se forma un espacio vacío de hechura de pera, pareciendo al observador como un globo de fuego. Si varios de estos cuerpos entran en la atmósfera terrestre á un tiempo mismo, el mayor de ellos precede á los demás porque el aire ofrece menos resistencia á su superficie, proporcionalmente más pequeña, y el resto sigue el rumbo del primer meteorito, que es el único que aparece rodeado de un globo de fuego. Cuando á causa de la resistencia del aire se detiene el movimiento del meteorito, permanece por un momento en perfecto reposo, se extingue la bola de fuego ó bólido, el aire incumbente se precipita en el vacío que se forma detrás del cuerpo, el cual, abandonado exclusivamente á la acción de la gravedad, cae verticalmente en la superficie de la Tierra.

La detonación que por lo común acompaña á estos fenómenos se explica con toda facilidad por la violenta concusión del aire que está detrás del uranolito, sin que sea menester atribuirle á un resultado de la explosión del mismo cuerpo. Como muchos meteoros se extinguen antes de llegar á la Tierra, parece na-

tural deducir que sus masas han de ser muy pequeñas. Si se averigua la distancia de un meteorito á la Tierra y también su brillo aparente en comparación con el de un planeta, es posible, estimando su luminosidad por la analogía que ofrezca con una cantidad conocida de gas inflamado, apreciar el grado de calor desarrollado por la combustión del meteorito. Y como este calor se origina porque el movimiento del uranolito se interrumpe por la resistencia del aire, y como esta fuerza viva ó cantidad de movimiento depende de un modo exclusivo de la velocidad del cuerpo y también de su masa, es posible, cuando se conoce la velocidad por observaciones directas, determinar la masa.

El profesor Alejandro Herschel calculó por este método que los meteoros del 9 y 10 de agosto de 1863, que igualaban en brillo á Venus y Júpiter, debieran poseer una masa de tres á cinco kilogramos, y que los de brillo semejante al de

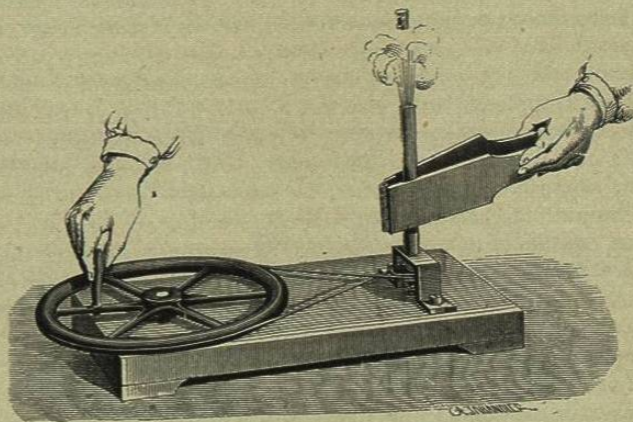


Fig. 209 - Calor desarrollado por rozamiento

las estrellas de segunda á tercera magnitud pesarán cuatro ó cinco gramos. Como la mayor parte de los meteoros que se observan ofrecen menor brillo que las estrellas de segunda magnitud, los meteoros débiles sólo pesarán unos cuantos centigramos; pues según los trabajos del mismo profesor, los cinco meteoros observados en la noche del 12 de noviembre de 1865, algunos de los cuales superaron en brillo á las estrellas de primera magnitud, tenían de peso, por término medio, unos tres decigramos: Schiaparelli estimó que el peso de un meteorito que observó en condiciones favorables no pasaría de nueve decigramos. Sin embargo, la masa de las piedras meteóricas que han caído en la Tierra es considerablemente mayor, según hemos podido demostrar en otro lugar de esta obra. También es mayor la masa de las nubes meteóricas compuestas de pequeños cuerpos en número incalculable, que penetran en la atmósfera de nuestro planeta con trayectorias paralelas, como indica la fig. 210, y que por su ignición simultánea y caída hacia el suelo, presentan el aspecto de un gran meteorito roto en varios pedazos.

No hay que suponer, sin embargo, que la densidad de semejante nube cósmica

mica sea tan grande cuando se encuentra fuera de la atracción del Sol y de la Tierra, como cuando llega á caer en la superficie del globo. Según los cálculos de Schiaparelli, fundados en la observación de los meteoros del mes de agosto, la distancia que media entre ellos es, poco más ó menos, de 185 leguas; á medida que las nubes cósmicas que producen los meteoros se aproximan al Sol, en su errante camino al venir de las profundidades del espacio, se va aumentando su densidad unos cuantos millones de veces; por consiguiente, la distancia entre los uranolitos de varios centigramos de peso, antes de que la nube principie á condensarse, puede ser superior á 16.000 leguas.

Por lo que hemos aprendido respecto de la naturaleza y constitución de los cometas, nébulas, nubes cósmicas y enjambres meteóricos, resulta que al parecer existe una gran semejanza de forma entre todos estos cuerpos. La afinidad que hay entre los cometas y los meteoros la reconoció Chladni; pero Schiaparelli, como llevamos dicho, fué el primero que tuvo en consideración todos los fenómenos producidos por estos misteriosos cuerpos celestes, y con maravillosa perspicacia discutió las numerosas observaciones recogidas en el curso de los últimos años por Oppolzer, Peters, Bruhns, Heis, Le Verrier y otros observadores.

No sólo demostró que las órbitas de los meteoros indicaban una estrecha coincidencia con las de los cometas, y que el mismo objeto puede aparecer á nuestra vista como cometa unas veces y otras como lluvias de meteoros, sino que también probó por cálculos matemáticos profundos y elegantes, que las dispersas masas cósmicas que conocemos con el nombre de nébulas, podrían, si en su viaje por el infinito se acercaran lo suficiente para experimentar la atracción poderosa del Sol, convertirse en cometas y éstos á su vez en enjambres de uranolitos.

En comparación con estas conclusiones importantes, obtenidas por la observación de los fenómenos y por el cálculo, que manifiestan la naturaleza y mutuo enlace de las nébulas, cometas, meteoros y bólidos, son de valor muy secundario los resultados del análisis espectral aplicado al estudio de estos últimos cuerpos. No es esto de extrañar, si consideramos la rapidez con que estos fulgentes meteoros cruzan por la atmósfera y lo difícil que es apuntarles con los espectroscopios en los breves instantes que dura su aparición; antes de que se pueda dirigir el instrumento al meteorito ó bólido y de que se ajuste el foco, desaparece el objeto de la vista; por consiguiente, la aplicación del análisis espectral al examen de estos fugaces viajeros es puramente fortuita y sólo puede emplearse con algún éxito en las noches en que todos los años, y en períodos conocidos de antemano, se sabe que ha de tener lugar una lluvia copiosa de estrellas fugaces.

En el año de 1865 consagró su atención Alejandro Herschel al estudio de los meteoros del año siguiente, y sugirió la idea de que podían observarse con el espectroscopio, fundándose en que algunas observaciones espectroscópicas, efectuadas previamente, habían demostrado que el espectro de los meteoros era continuo y carecía de líneas oscuras. Browning, óptico famoso de Londres, emprendió esta investigación y observó en las noches del 9 y del 10 de agosto, y también en las primeras horas de la mañana del 14 de noviembre, en su Observatorio particular de Upper Holloway, cerca de Londres, nada menos que setenta espectros de meteoros y de sus rastros.

El espectroscopio de mano que ya describimos es muy á propósito para el análisis de las estrellas fugaces; mejor aún es el instrumento que se representa en la fig. 211, construido especialmente por Browning para su propio uso, con el cual el ángulo aparente se disminuye mucho, y que á causa de su gran campo visual facilita en extremo la observación de las estrellas fugaces.

Este instrumento consiste en un prisma compuesto, de visión directa, P, y de una lente cilíndrica plano-cóncava. M_1 , M_2 , M_3 indican tres posiciones sucesivas en el curso del meteorito, y m_1 , m_2 , m_3 manifiestan el camino seguido por los rayos desde el meteorito á la lente L; las líneas de puntos indican el curso que siguen los rayos al pasar á través del medio refringente.

El rayo m_1 llega al ojo al mismo tiempo que el rayo m_3 , de manera que á la vista se presenta toda la región del cielo comprendida entre M_1 y M_3 y es posible observar, en consecuencia, la carrera del meteorito en ese trayecto, sin necesidad de mover el instrumento; en este espectroscopio parece que las estrellas

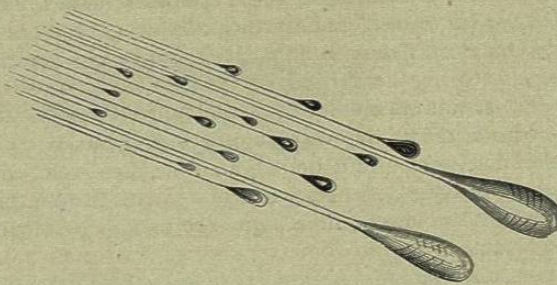


Fig. 210. - Trayectorias paralelas de los meteoros

fugaces no tienen movimiento y sus espectros se examinan con toda comodidad. Browning consiguió observar con este pequeño aparato los espectros de algunos cohetes lanzados á corta distancia, y aunque la velocidad angular de estas piezas de artefacto era muy considerable, pudo, sin embargo, distinguir sin dificultad las líneas características de los metales que entraban en su composición, esto es, del bario, estroncio, sodio, etc.

Si se coloca una lente bicóncava de foco más largo que la cilíndrica, inmediatamente enfrente de L, y dirigida hacia el cielo, entrarán en el ojo rayos dotados de mayor convergencia que M_1 y M_3 , aumentándose por tal medio de un modo considerable, el campo visual del instrumento.

Para efectuar Browning sus observaciones, dirigió el instrumento al lugar del cielo de donde arrancaban los meteoros y consiguió que varios de ellos entrasen en el campo visual del espectroscopio, de modo que, sin mayor esfuerzo, pudo determinar sus caracteres espectrales.

El espectro de las cabezas de los meteoros era principalmente continuo y aparecían en él todos los colores prismáticos del espectro solar, excepto el violeta; en algunos casos, sin embargo, predominaba el color amarillo; en otros se componía el espectro, casi por completo, de un tinte amarillento, por más que se percibían, aunque muy débilmente, todos los demás colores desde el rojo

al verde. En dos meteoros se observó un espectro homogéneo de color agrisado; no había diferencia perceptible en la luz de los núcleos de las estrellas fugaces de agosto y noviembre.

En el rastro ó cola de los meteoros de agosto sólo se percibía una línea amarilla de intenso brillo, lo cual indica la presencia de un gas luminoso; esta línea podía compararse exclusivamente á la del sodio incandescente.

En los meteoros de noviembre, por el contrario, el espectro de la cola se caracterizaba por su continuidad y anchura, y también por su falta de color; la luz, que generalmente era azul, verde ó gris de acero, parecía ser homogénea; pero esta apariencia pudiera provenir de la propia debilidad de la luz, como sucede con las estrellas fijas inferiores á la tercera magnitud, en cuyos espectros faltan los rayos rojos y azules.

La línea amarilla que exhibe el rastro de los meteoros de agosto faltaba también en el de las estrellas fugaces de noviembre. El principal resultado de estas investigaciones se limita, por consiguiente, á establecer como hecho demostrado, que los meteoros son cuerpos sólidos incandescentes, y que existe una diferencia discernible en la composición química de las lluvias meteóricas de agosto y de noviembre.

El enjambre de este último mes fué observado por el P. Secchi el año de 1868. Entre los numerosos meteoros que dejaron en el cielo un rastro luminoso, hubo uno, en particular, cuya estela duró quince minutos, siendo de brillo suficiente para que se pudiera examinar, sin gran trabajo, con el prisma. Halló el sabio jesuita que el espectro era discontinuo y que sus bandas principales eran roja, amarilla, verde y azul.

Además de esta observación, tuvo Secchi la fortuna de ver dos meteoros en el espectroscopio; la línea del magnesio se percibió con gran distinción y también aparecieron algunas más en el rojo.

Debido á la gran dificultad que presenta la observación espectral de los meteoros con instrumentos provistos de ranura, sólo se emplean en estas investigaciones espectroscopios especiales con lente cilíndrica; si los cuerpos analizados ofrecen un diámetro muy sensible, es difícil ver las líneas destacadas con distinción; pero en otro caso, como, por ejemplo, en la mayoría de las estrellas fugaces y en los cohetes disparados á distancia, un ojo ejercitado percibe en el acto las líneas luminosas que exhiben estos objetos.

En el mes de julio de 1874 recibió el compilador de esta obra un espectroscopio de Browning, construído especialmente para el análisis de las estrellas fugaces, y que en algo se diferenciaba de los modelos que antes describimos; su objeto era estudiar algunos de los meteoros de la lluvia de agosto, y temeroso por las descripciones que se leen en los libros sobre la dificultad de columbrar estos cuerpos rapidísimos, de no acertar en sus primeros ensayos, hizo lanzar, á algunos cientos de metros de distancia de su observatorio, varios cohetes; desde el primero pudo con toda facilidad enfilarlo con el espectroscopio, de igual manera que el cazador apunta con su escopeta á la infeliz avecilla; ni uno solo de los cohetes dejó de analizarse, si bien no hay que negar que al final era mayor la destreza que al principio. Concluída la provisión de cohetes, quiso la buena fortuna que se celebrase en Cádiz una gran fiesta pública, en la que por varios

días se quemaron vistosos fuegos artificiales; los elementos de las sales que entraban en su composición se determinaron con facilidad sorprendente.

A los pocos días principiaba la colisión de la Tierra con el enjambre meteórico y el compilador se hallaba bastante diestro en apuntar instantáneamente su espectroscopio á cualquier objeto, por veloz que fuese su movimiento. Las observaciones duraron desde las nueve de la noche del día 10 hasta las tres de la madrugada del 11; la aparición fué bastante lucida y todas las estrellas observadas pertenecían al grupo de las perseideas.

El número total de estrellas observadas con exactitud fué de 50; el espectro de 27 era continuo, y por lo general faltaba el violeta, ó cuando menos estaba mal definido. En el rastro de casi todas ellas se observó, no obstante, la raya amarilla del sodio, muy esplendente; el verde dominó en cinco y en una el azul. A la simple vista, esto es, al divisarlas antes de poderlas apuntar con el espec-

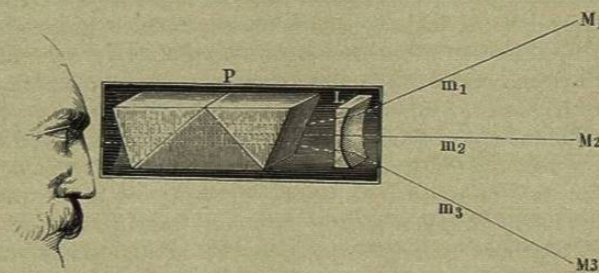


Fig. 211. - Espectroscopio de meteoros, de Browning

troscopio, era su luz blanca por lo común, y también verdosa; una sola manifestó tendencia al color azul.

Entre todas ellas fué notabilísimo un bólido bastante hermoso que apareció á 10^h 17^m 5^s, cuyo rastro duró 1^m 30^s; presentó un espectro de absorción en el que dominaba el verde, con muchas rayas negras finísimas; faltaba el violeta; en el rastro se destacaba la línea amarilla y se vieron tres ó cuatro espectros superpuestos como producidos por distintos focos, pero en todos se percibía la línea amarilla. Esto parecía indicar que el bólido se partió en varios fragmentos y que los diversos trozos hechos gaseosos y brillantes formaron en el instrumento llamas distintas.

A los pocos meses debía de tener lugar la lluvia meteórica de noviembre y el observador pudo adquirir de nuevo cierta práctica gracias á los cohetes y otros fuegos de artificio que todos los años se queman el día 1.º de noviembre en un templo católico al regreso de una procesión.

Las observaciones comenzaron el día 13 á las 11^h 3^m, terminando el 14 á las 4^h de la madrugada; en este intervalo se observaron 35 meteoros. En las otras noches de observación se aumentó este número á 44; las estrellas fueron por lo general débiles, de aparición breve y de carrera rapidísima. El resultado del análisis espectroscópico presentó bastante diferencia con el obtenido en agosto, pues la raya amarilla de las perseideas no apareció en las leónidas, al menos aisladas,

sino siempre en compañía del rojo y el verde, ora de este último no más, y también del rojo solo.

En todos los casos no faltó nunca en los rastros de las estrellas que presentaron líneas brillantes una raya verde, bien sola, ora asociada, como ocurrió en uno de los meteoros. De modo que la composición química de las estrellas fugaces de agosto y noviembre no es igual; en las primeras predomina el sodio y en las segundas el magnesio ó el bario. La línea verde única, de estas últimas, parece corresponder al espectro del talio.

Aunque estos meteoros son de origen terrestre y muy bien pudiéramos excusarnos de hablar de ellos en esta obra, creemos que el lector verá con gusto los resultados obtenidos de su examen espectroscópico.

Por la relación y enlace íntimo que hay entre el relámpago y la chispa eléctrica, pudiera anticiparse que un destello ó ráfaga de electricidad meteórica habría de presentar un espectro muy semejante al de la descarga eléctrica ordinaria que pasa á través del aire, y que, por lo tanto, constaría de líneas brillantes pertenecientes al aire atmosférico, predominando entre todas la del nitrógeno. Esto se demostró de hecho por el capitán Herschel durante una tempestad, en la que fueron numerosísimos los relámpagos, y con auxilio del espectroscopio de mano ya descrito, halló que entre las innumerables líneas brillantes visibles, la azul del nitrógeno era la más esplendente de todas, siguiendo luego la roja del hidrógeno *H alfa*; además de este espectro de líneas, era visible al propio tiempo un espectro continuo luminoso que mostraba los colores principales.

El espectro ordinario del relámpago produce una impresión de color verde y azul, ó más bien azul verdosa; pero como en las fulguraciones muy brillantes se perciben todos los colores prismáticos, pudiera suponerse que la parte comprendida entre las líneas E y F es mucho más brillante que el resto, y que por ello predominan, al parecer, estos colores en el espectro.

La variación de brillo relativo del espectro continuo y del espectro de líneas es muy sorprendente; á veces apenas son visibles las rayas, y en otros casos, excepción hecha de las líneas, no se percibe vestigio alguno de espectro.

La dificultad de distinguir las muchísimas líneas débiles se aumenta de un modo considerable por el carácter instantáneo del fenómeno; antes de que se haya podido escoger tal ó cual línea, la débil impresión causada en la retina ha desaparecido, y el recuerdo de la posición de la línea á medio determinar se borra antes de que aparezca otro relámpago, de modo que no queda norma ni tipo que pueda servir de punto de comparación.

Las observaciones más completas que hasta ahora se han hecho sobre el espectro de la luz de los relámpagos se deben al profesor Kundt, de Zurich, quien observó más de 50 apariciones luminosas de estos meteoros en distintas épocas, valiéndose de un espectroscopio de bolsillo; además del espectro de líneas brillantes, aparecía siempre otro formado por gran número de bandas débiles, poco más anchas que las líneas y dispuestas regularmente á intervalos iguales entre sí.

Las investigaciones de Kundt nos obligan á aceptar la conclusión de que la diferencia de los espectros de los relámpagos depende de la manera que tenga de descargarse la electricidad atmosférica, esto es, ó entre las mismas nubes, ó entre éstas y la superficie del suelo.

El espléndido fenómeno que ofrece la manifestación de una brillante aurora boreal va siempre acompañado por una perturbación mayor ó menor de la aguja magnética; así que por mucho tiempo se supuso que las auroras se producían por el paso silencioso de la electricidad á través de las porciones rarificadas de los estratos superiores de la atmósfera terrestre, esto es, por una especie de descarga eléctrica, semejante á la que tiene lugar en un tubo de Geissler lleno de aire muy rarificado.

Las observaciones espectrales de Angstrom sobre este fenómeno no confirman la conjetura anterior, pues el arco luminoso que rodea el segmento oscuro y que nunca falta en las auroras débiles, da un espectro de una sola línea brillante, situada á la izquierda del conocidísimo grupo del calcio en el espectro solar. Además de esta línea, comparativamente muy luminosa, observó Angstrom, con ranura más ancha, vestigios de tres bandas muy débiles que casi llegaban á la línea F de Fraunhofer; pero sólo en una ocasión aparecieron líneas tenues en esta zona, durante las ondulaciones del arco.

La luz de la aurora boreal, es, por lo tanto, casi homogénea ó monocromática. A estas observaciones, efectuadas en el invierno de 1867 á 1868, se une un interés particular, porque en la luz zodiacal observó Angstrom de Upsala la misma línea durante una semana completa, en el mes de marzo de 1867, en cuyo punto se vió con notable intensidad, para esa latitud tan elevada; en las noches despejadas en que las estrellas brillan mucho, y en que toda la bóveda celeste aparece como fosforescente, se perciben en el espectroscopio indicios de esta luz homogénea en el resplandor que proviene de todos los puntos del cielo.

La línea brillante mencionada, cuya posición se determinó por Struve con el número 1259 de la escala de Kirchhoff (entre D y E) con un error probable de diez ó quince unidades, corresponde, según Angstrom, á una longitud de onda de 0,0005567 de milímetro y no coincide con ninguna de las líneas conocidas de los elementos terrestres.

La hermosa aurora boreal que se manifestó el 12 de abril de 1869, visible en la Europa occidental, en Rusia y en la América del Norte, en cuya capital, Nueva-York, ofreció un espectáculo admirable, fué observada espectroscópicamente en este último punto por el profesor Winlock. En oposición á las observaciones de Europa, halló que el espectro consistía en cinco líneas brillantes, cuyas posiciones determinó según la escala de Huggins, y parecían corresponder á las divisiones 1280, 1400, 1550, 1680 y 2640. Las divisiones de la escala de Kirchhoff 1247, 1351 y 1473 corresponden á los tres primeros números.

El doctor Winder observó repetidas veces en la América septentrional el espectro de la aurora; en el amarillo se veía casi siempre una línea amarilla brillante, muy inmediata á D, pero menos refrangible y que coincidía con una de las líneas oscuras del grupo telúrico que aparece en el espectro solar, cuando el luminar del día se halla cerca del horizonte; además de esta línea, había otra más débil en el verde, y en una ocasión se percibió otra en el rojo.

La aurora boreal fué observada por Rayet y Soret el 15 y 16 de abril de 1869, percibiéndose en el espectro, con toda claridad, la línea auroral característica (longitud de onda 5567 diezmilionésimas de milímetro, Angstrom) y también las líneas atmosféricas.

Flogel examinó por medio del espectroscopio la aurora boreal que apareció el 6 de octubre de 1869; en esta ocasión también fué la luz de carácter homogéneo, si bien, abriendo moderadamente la ranura, mostró el espectro exclusivamente la línea amarilla característica, cuya posición se estimó que correspondía á la división 1230 de la escala de Kirchhoff. Cuando se ensanchaba la ranura hasta 1,3 milímetros, aparecía una luz verde muy débil, situada cerca de la F del espectro solar; no se pudo concentrar esta luz en una línea luminosa, por más que se estrechó la ranura; en la dirección del rojo no se distinguió esta débil luminosidad, lo que aleja la idea de que pudiera deberse á algún reflejo estelar que penetrase en el instrumento.

El espectro de la aurora fué examinado por Mr. Ellery, de Melbourne, el 5 de abril de 1870; las radiaciones rojas eran muy brillantes y emitían bastante luz (como para permitir la lectura de un diario); la más notable y brillante de las líneas del espectro era roja y más refrangible que C; en el verde se veían dos bandas en la posición de las rayas del calcio, y otra banda nebulosa más refrangible no se llegó á resolver en líneas. El segmento oscuro se apoyaba en el horizonte del mar; encima se veía un arco de luz auroral verdosa, y de su bien definido contorno arrancaban los rayos rosados dirigiéndose hacia el cenit.

La línea roja desaparecía en el momento en que se dirigía el espectroscopio á cualquier punto situado debajo del contorno indicado, y sólo permanecían las líneas verdes; la pérdida y reaparición de la línea roja era en extremo acusada, según que la ranura pasaba de la región roja á la del verde.

Esta misma aurora fué examinada por Schmidt en Lenepp (Provincias del Rhin). En este caso también constaba el espectro de una sola línea brillante y ancha, algo á la derecha de D hacia E, de intensidad variable, pues á veces decrecía mucho é inmediatamente brillaba con gran esplendor. En la vecindad de esta línea y extendiéndose hasta F, se veía una banda continua, que con gran frecuencia se resolvía en tres líneas luminosas, aunque más débiles que la primera.

En la noche del 24 al 25 de octubre de 1870 hubo una magnífica aurora boreal que fué visible en casi toda Europa, hasta en las latitudes más bajas, pues se observó desde el estrecho de Gibraltar; el fenómeno se reprodujo á la noche siguiente, aunque con menor intensidad, si bien manifestó lo que llaman en los países septentrionales la *corona auroral*, espectáculo en extremo raro; numerosos rayos rojizos partían desde el segmento oscuro en todas direcciones, para unirse en un punto situado al Sur del cenit; la mayor parte eran de un rojo carmesí, cruzados por líneas blancas, y convergían hacia el punto central mencionado, que conservó invariable su situación respecto del horizonte.

El profesor Forster, de Berlín, halló que el espectro de la aurora del 25 de octubre se componía únicamente de la misma banda estrecha amarillo-verdosa, cuya posición ya se ha indicado, y que no coincide con ninguna línea de los elementos terrestres conocidos. No obstante, en las porciones del cielo que á la vista parecían carecer de iluminación, revelaba el espectroscopio con toda claridad la línea característica de la aurora. El Dr. Tietjen afirma que algunas semanas antes, en el mismo Observatorio, en las noches en que no se percibía el menor vestigio de aurora, mostraba el espectroscopio la misma línea en varios puntos del cielo.

En la misma noche fué observada la aurora por Zöllner, en Leipzig, con un espectroscopio en miniatura de Browning, y obtuvo el espectro representado en la figura 212. Con objeto de reunir suficiente luz, ensanchó la ranura algún tanto razonable, y para conseguir una aproximación suficiente en la situación de las líneas de la aurora, produjo simultáneamente las del litio y el sodio por medio de una lamparilla de alcohol.

La línea 2 en la región verde del espectro es, con toda probabilidad, la línea característica de la aurora (1474 de Kirchhoff); la roja 1, en este caso también, sólo se veía con distinción cuando se dirigía el instrumento á las regiones del cielo que parecían de un rojo profundo, mientras que la raya verde 2 se veía con mucho brillo en todas las porciones de la aurora. En las regiones azules del espectro, las bandas débiles *alfa* y *beta* se veían alguna que otra vez; la más notable era *beta* por su anchura que se destacaba sobre el fondo iluminado.

Los observadores ingleses hablan de unas bandas brillantes cerca de F, mal definidas y en extremo débiles, y también de un espectro continuo que se ex-

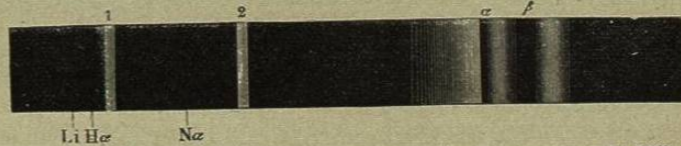


Fig. 212. - Espectro de la aurora boreal, según las observaciones de Zöllner

tendía de D á F; Zöllner, por el contrario, considera que estas bandas mal definidas en el azul son los restos del espectro continuo, que se rompe por las bandas oscuras de absorción *alfa* y *beta*.

Sólo después de haber desaparecido la aurora, pudo Zöllner observar con el mismo espectroscopio el espectro del hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y ácido carbónico de los tubos de Geissler; llegó este observador á convencerse, por las observaciones simultáneas que efectuó de los espectros del sodio y del litio, de que la línea roja de la aurora 1 no coincidía con las partes más brillantes del espectro de ninguno de estos cuatro gases.

Es más refrangible que la línea roja del hidrógeno H *alfa*, en la cual convienen también los observadores ingleses, y según Zöllner, pudiera estar situada muy cerca del grupo de rayas telúricas *a* del mapa de Angstrom, cuya longitud media de onda es de 0,0006279 de milímetro.

Como las líneas principales del espectro de la aurora boreal no coinciden con las de los espectros de los elementos terrestres, opina Zöllner que si la luz desarrollada por la aurora es principalmente de carácter eléctrico, análogo al de los gases rarificados que se iluminan en tubos, han de poseer una temperatura inferior á la que se necesita para hacer luminosos nuestros gases en los tubos de Geissler.

El espectro de la aurora boreal, por consiguiente, no coincide con ninguno de los espectros conocidos de los gases de nuestra atmósfera, porque es espectro de un orden particular que, hasta ahora, no se ha producido por medios artificiales.