

tada, en la grandeza de su Escuela, la majestad augusta de la Patria.

México, 6 de Julio de 1901.

DOLORES SOTOMAYOR.

EL ESPECTROSCOPIO Y SUS APLICACIONES.

SEÑORITA DIRECTORA:

SEÑORES: COMPAÑERAS:

El siglo XIX, con justa razón llamado de las luces y en cuyo ocaso acaba de extinguirse, es el más grande quizá y el más fecundo en descubrimientos; ha servido de cuna á los inmortales héroes de la historia humana, y en él han surgido las figuras más asiduas al trabajo, más portentosas y más protectoras de la ciencia.

Mas ya que le hemos designado con el nombre de siglo de las luces, ocupémonos de este agente físico, que impresionando nuestra retina produce en nosotros el fenómeno de la visión; sus fenómenos principales son: la reflexión y la refracción; entendiéndose por reflexión el cambio de dirección que experimenta el rayo luminoso al chocar contra una superficie pulida, y por refracción el cambio de dirección que sufre un rayo luminoso al pasar oblicuamente de un medio á otro.

Quien deseara hacer la descripción detallada de los fenómenos que las solas variaciones de la luz del día producen en la superficie de nuestro planeta, en la atmósfera y en el suelo, en las cumbres de las montañas lo mismo que al nivel de las mesetas y llanuras, tanto en las ardientes regiones de la

zona tórrida, como en los risueños paisajes de la zona templada, no aventuraría nada tomando de los poetas y pintores las descripciones de sus cuadros; pediría á los primeros el auxilio de su maravilloso lenguaje; los segundos le proporcionarían los colores de su rica paleta y el prestigio de una reproducción fiel.

Diariamente se ofrece á nuestra vista la dispersión de la luz blanca por refracción, mediante un gran número de fenómenos que los antiguos conocían sin duda como nosotros, pero sin sospechar su causa. Las piedras preciosas, los diamantes lanzan destellos de varios colores, no siendo una de las menores bellezas de tan preciosas substancias las que proceden de la descomposición de los rayos luminosos á través de sus facetas. El arco iris es un fenómeno debido á igual causa. Lo mismo sucede con esos variados colores de que aparecen teñidas las nubes y las capas atmosféricas en los crepúsculos matutinos y vespertinos. Por último, en los vasos de cristal que contienen líquidos transparentes, en los colgantes de las arañas, se ven franjas irisadas en todas direcciones, las cuales presentan los colores más vivos en toda su pureza.

Si en el interior de la cámara oscura se recibe directamente la luz solar sobre una pantalla de papel blanco, después de haber hecho pasar un rayo del astro por un agujero abierto en la ventana, la imagen del Sol será como ya sabemos, una mancha redonda y blanca. Pero esta luz blanca no es simple, sino un compuesto de multitud de colores ó matices que son á su vez otros tantos colores simples ó compuestos.

Coloquemos en el camino de los rayos solares, después de su paso por el agujero de la ventana de la cámara oscura, un prisma de flint-glass por ejemplo, de modo que sus aristas estén en dirección horizontal y que el haz luminoso penetre por una de sus caras. Entonces se ve en la pantalla, en vez de la imagen redonda y blanca del Sol y á cierta distancia del punto en que se formaba antes de la interposición

del prisma, una faja prolongada, luminosa, compuesta de una serie de colores en extremo brillantes; esta faja es lo que se llama espectro solar.

Los colores del espectro solar están colocados como sigue: en el extremo inferior del espectro aparece un rojo vivo, brillante y despejado, al cual sucede una tinta anaranjada, y por gradaciones insensibles un amarillo de paja magnífico; viene luego un verde de pureza é intensidad notables, después una tinta azul verdosa y en seguida azul oscuro, terminando el espectro en el violado.

Explicaremos ahora la marcha que siguen los rayos luminosos al atravesar un prisma, para lo cual supongamos un prisma A, B, C, cuya base es A C y cuyo ángulo refringente está en B. Un haz de rayos luminosos que salga de D se acerca á la normal al entrar al prisma, sigue la dirección E F, y al salir del prisma se aleja de la normal y toma la dirección F H hasta llegar á la pantalla donde se dibuja el espectro. <sup>1</sup>

En el caso de un prisma de 45°, si suponemos que el rayo luminoso caiga perpendicularmente á una de las caras, entonces no hay refracción, sino sencillamente reflexión total y el rayo reflejado es perpendicular al rayo incidente. Cambiando ligeramente la posición del prisma es posible observar un espectro en el cielo raso del salón.

Así pues, un rayo de luz blanca se compone de una serie de rayos coloreados, de los que solamente hemos nombrado los principales, pues la degradación de un color en el inmediato se efectúa de un modo insensible, sin que de uno á otro haya cambios bruscos ó solución de continuidad.

Había necesidad de dar á conocer este espectro de alguna manera y, en efecto, Fraunhofer nos la proporciona.

José Fraunhofer nació en Stranbing (Baviera) el 6 de Marzo de 1787; murió el 7 de Junio de 1826. Hijo de un po-

<sup>1</sup> En el curso de esta conferencia hizo experimentos la alumna Concepción Velázquez.

bre vidriero recibió una educación imperfecta, asistiendo á las escuelas públicas en las horas que su padre no le necesitaba en la tienda. Huérfano en 1799, entró de aprendiz en una fábrica de espejos, cuyo dueño no le permitía ninguna ausencia. Instruyóle un maestro, leyendo algunos libros en horas robadas al descanso, y habiéndose hundido la casa que habitaba el 21 de Julio de 1801, solo él se salvó de la catástrofe, aunque resultó herido. El elector de Baviera, Maximiliano José, presencié el tormento del joven obrero en las cuatro horas que se necesitaron para salvarle, y después de haber dispuesto que se atendiera á su curación, le envió 18 ducados que le facilitaron la realización de sus primeros trabajos en óptica.

Fraunhofer completó su educación con varios tratados de Matemáticas que le envió el consejero Utzschneider. Para atender á sus necesidades grabó tarjetas, y cuando la guerra lo privó de este medio de subsistencia, consagró los domingos al estudio, y durante la semana trabajó en la fabricación y pulimento de espejos. Luego entró á una fábrica de instrumentos de Matemáticas, en la que calculó y pulió las primeras lentes de pequeñas dimensiones y que salieron de dicha fábrica para el Observatorio de Buda. Poco tiempo después dirigía en aquel establecimiento los tratados de óptica, y fueron sus trabajos tan productivos, que llegó á ser propietario de la fábrica en que había entrado como obrero. Algún tiempo antes había escrito una Memoria acerca de la aberración de la luz, fuera del eje en los telescopios de reflexión. Resolvió uno de los problemas más difíciles de la Óptica práctica: el dar pulimento en el grado pedido sin que la superficie perdiera la forma deseada, y lo hizo con una máquina de su invención, que además corregía las irregularidades cometidas en la primera operación.

Convencido de que en la construcción de objetivos acromáticos el efecto responde rara vez á lo deseado, para evitar el inconveniente de no poder determinar con suficiente exactitud las cualidades que es preciso conocer con precisión para calcularlos, adoptó un procedimiento nuevo, por el que no despre-

ciaba ninguna cantidad, y consideró la desviación de los rayos procedentes no sólo para un punto situado sobre el eje, sino también para los puntos situados fuera del eje. Con ayuda de lámparas y prismas óbtuvo artificialmente una luz homogénea; realizó importantes estudios acerca del espectro; descubrió multitud de fenómenos luminosos, y expuso una fórmula analítica general para las leyes de la luz. Además inventó ó perfeccionó el heliómetro, micrómetro, microscopio acromático anular, telescopio paraláctico y otros instrumentos.

El establecimiento óptico de Benedict-Ceurn, que debió su fama á Fraunhofer, fué fundado en Munich en 1819.

Al estudiar Newton las distintas partes del espectro solar no había podido distinguir nada que sirviera de límite preciso para sus colores, los cuales parecían fundirse unos en otros de un modo insensible y sin interrupción aparente. Persuadido por sus experimentos, de que los rayos coloreados poseen, desde el extremo rojo hasta el violado, todos los grados posibles de refrangibilidad, consideraba cada uno de estos rayos como simple y homogéneo y pensaba que la luz descompuesta por el prisma se ostentaba de un modo continuo por toda la extensión del espectro.

Procurando medir los índices de refracción de los rayos coloreados y esforzándose por encontrar en el espectro puntos singulares á propósito para servirle de referencia, fué como Fraunhofer descubrió el hecho capital de que la luz del espectro solar no es continua, sino que está surcada de rayas finas y oscuras que forman otras tantas interrupciones bruscas en la faja luminosa. Wollaston había reconocido en 1802 la existencia de dos líneas oscuras fijas en el espectro que forma un prisma de flint-glass; una de estas líneas estaba en el azul y la otra en el verde. Pero según lo observa Bréwster en su tratado de Óptica: «este descubrimiento no llamó entonces la atención de nadie y su sabio autor desistió de su estudio.»

El ilustre óptico de Munich estudió con prolijo cuidado tan

notable fenómeno; fijó con extraordinaria precisión la posición de 580 rayas oscuras y distinguió entre ellas 8 principales para que le sirvieran de puntos de referencia y comparación, designándolas con las primeras letras del alfabeto, de la manera siguiente: las rayas A, B, C, están en el rojo, la primera en la extremidad del espectro, la segunda en medio de dicho color y la tercera á poca distancia del anaranjado: la línea doble D forma casi el límite del anaranjado hacia la parte del amarillo: E está en el verde: F en medio del azul: G y la doble raya H están, la una al final del añil hacia el azul y la otra al final del violado. Se ha designado con las letras a y b otros dos grupos de rayas, uno en el rojo y otro en el verde.

Desde 1817, época en que Fraunhofer descubrió las líneas que llevan su nombre, se ha descubierto nuevas rayas, y hace algunos años se calculaba en más de 2,000 el número de aquellas cuya posición se había determinado. Hoy se ha duplicado esta cifra; el Sr. Thollon, aplicando el análisis de la luz solar á un espectroscopio de visión directa, de su invención, ha obtenido un espectro de 10 metros entre las rayas A y H, en cuya extensión ha podido dibujar 4,000 rayas.

Fraunhofer no se limitó á estudiar las líneas que rompen la continuidad de la luz en el espectro solar, sino que aplicó sus interesantes métodos de observación á los espectros de otros focos luminosos. Como podría presumirlo, encontró las mismas rayas en los focos que emanan por reflexión la luz del Sol, v. gr. la luz de las nubes ó del cielo puro, la de la Luna y de los planetas; verdad es que en ellas los rayos son de menor intensidad. Observando las estrellas más brillantes, por ejemplo el espectro de Sirio, vió que este espectro estaba surcado de rayas oscuras, pero que siendo menos numerosas no están distribuidas como en el espectro solar, por otra parte, cambian de una estrella á otra. Finalmente aplicó el mismo método á la luz eléctrica, y en lugar de rayas oscuras vió en el espectro de esta luz líneas luminosas.

Si se aisla uno de los colores del espectro, interceptando los

demás por medio de la pantalla, y luego se hace pasar á través de un segundo prisma, aún se observa más desviación pero la luz es idénticamente la misma, es decir, que la imagen en la pantalla es roja, si se hizo pasar el haz rojo, azul si fué azul, quedando así demostrado que los colores del espectro son simples, es decir, que no pueden ser descompuestos por el prisma.

Según los experimentos de Fraunhofer y Herschel, el máximo y mínimo de la intensidad de la luz se encuentra en los colores amarillo y verde del espectro. En efecto, para el violado el número de ondulaciones llega á 728 billones por segundo y para el rojo 496 billones. Pasados estos límites, en uno y otro sentido, aún continúa la radiación, pero se hace invisible, es decir, que no actúa ya sobre la retina, fenómeno análogo al que se observa en el límite de los sonidos perceptibles. Debe observarse también que la composición de la parte visible del espectro varía con la temperatura del origen luminoso, según lo demuestra el experimento de Draper, que es como sigue: haciendo pasar por un alambre de platino una corriente eléctrica cuya intensidad vaya sucesivamente aumentando, se calienta el alambre cada vez más, y al llegar próximamente á la temperatura de 500° comienza ya á aparecer luminoso. Si entonces se proyectan sus rayos á través de un prisma, al principio no se percibe más luz que la del color rojo; pero á medida que va aumentando la intensidad de la corriente se calienta más el alambre, y á continuación del rojo se ve aparecer el anaranjado; si la temperatura sigue aumentando, después del anaranjado sigue el amarillo, luego el verde, el azul, el añil, y por último el violado, el cual no aparece hasta que el platino se ha calentado al blanco.

Estos experimentos demuestran que el índice de refracción varía para cada color, y además que no todos los rayos de un mismo color tienen igual índice. Para el cálculo de los índices de refracción se ha convenido en tomar como índice de una substancia el rayo amarillo del espectro de dicha substancia.

Por medio del análisis espectral se comprueba fácilmente la existencia del cloruro de sodio en el aire. La sensibilidad de reacción de este metal es tan grande, que los observadores en el espectroscopio han de tomar toda clase de precauciones para que esta reacción no se manifieste al punto, bastando sacudir el polvo de un libro cerca del instrumento, para que al punto aparezca la raya amarilla que lo caracteriza.

El espectroscopio es un aparato que sirve para estudiar un espectro. Todo espectroscopio se compone esencialmente de cuatro partes que son: «un sistema dispersivo,» simple ó compuesto, formado por uno ó varios prismas convenientemente dispuestos para que sus efectos puedan sumarse. Un «colimador,» órgano destinado á dirigir sobre el prisma un haz de rayos paralelos; compónese de una lente y de una hendedura que se encuentran en un mismo tubo de anteojo. Un «anteojo,» cuyo eje óptico está dirigido de manera que reciba los rayos emergentes del prisma; este anteojo es de pequeño aumento y tiene por consiguiente campo muy extenso. Un «micrómetro,» que viene á ser un segundo colimador, con un micrómetro en su foco, quiere decir, con una escala graduada de divisiones muy finas y equidistantes, fotografiadas en vidrio.

Valiéndose del método conocido con el nombre de análisis espectral, se han descubierto seis metales, á saber: el cesio, rubidio, talio, indio, galio y escandio. El nombre de galio 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 que caracteriza este metal, y el de indio, por una raya azul situada en el añil. El galio y escandio, procedentes de los nombres Francia y Escandinavia, patrias de los descubridores, tienen el primero dos rayas en el violado y el segundo un crecido número de rayas, particularmente en el amarillo.

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 químico; permitía analizar

y reconocer las substancias terrestres que podemos ver y tocar y hasta indicaba la presencia de cuerpos que ni se conocían. Pero su alcance no debía limitarse á esto: gracias á su auxilio se ha podido ir más lejos y abordar y resolver en parte un problema que parecía 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 de las nebulosas que los telescopios nos permiten ver sumergidas en los abismos del éter á distancias cuya profundidad apenas puede sondear la imaginación.

Si se da paso á un rayo de Sol, al mismo 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 la doble raya oscura D de Fraunhofer.

Estudiando Bunsen y Kirchoff las rayas oscuras del espectro solar, han tenido ocasión de comprobar la coincidencia de gran número de ellas con las rayas brillantes de ciertos metales. Por ejemplo, 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 espectro, que es imposible dudar que en la atmósfera solar haya hierro al estado de vapor metálico. Los mismos sabios han reconocido la presencia de 19 cuerpos simples en el Sol; estos cuerpos son: hidrógeno, cobre, zinc, cromo, níquel, magnesio, bario, calcio, sodio, potasio, aluminio, manganeso, cobalto, estroncio, cadmio, titanio, cerio, uranio y plomo.

¿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: el Sr. Janssen ha probado que la atmósfera terrestre contribuye en parte á este fenómeno, y ha llamado líneas telúricas á las que dimanar de esta causa. Ya en 1833 Bréwster descubrió en el espectro solar líneas oscuras que modificaban el aspecto de ciertas regiones del mismo; estas líneas visibles á la salida y 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.

Corresponde á Huygens el honor de haber aplicado por vez primera el espectroscopio á la luz de las nebulosas, empezando á analizar en 1864 una de la constelación del Dragón. Su espectro le pareció formado de 3 rayas brillantes aisladas; por consiguiente, no era el de un cúmulo de estrellas distintas, sino el de una verdadera nebulosidad, de una aglomeración de materia gaseosa, luminosa é incandescente. La más brillante de las rayas observadas coincidía con la más marcada de las que son propias del nitrógeno; la más tenue con la raya verde del hidrógeno, y por fin la raya intermedia distaba poco de la del bario, pero no coincidía con ella. Las 3 rayas brillantes se destacaban sobre una banda coloreada, formando un espectro continuo sumamente débil, casi sin anchura, como si proviniese de un punto luminoso situado en el centro de la nebulosidad. La nebulosa en cuestión clasificada antes entre las planetarias, tiene en efecto un núcleo pequeño, pero muy brillante. Huggens dedujo de esto que la materia que formaba dicho núcleo, no se hallaba probablemente en estado de gas, como la que le rodea, y que más bien es una niebla de partículas sólidas ó líquidas incandescentes.

Huggeno ha estudiado hasta 70 nebulosas, habiendo presentado la tercera parte de ellas una constitución análoga á la del Dragón, y reduciéndose sus espectros á una ó muchas bandas; las demás han dado espectros continuos.

También con la chispa eléctrica ha sido posible obtener espectros, lo que depende de la descarga. Hay cuatro modos

de descarga: la chispa, el penacho, el resplandor y la descarga oscura.

Con una máquina de Wimshurst vamos á producir primero un efluvio eléctrico, cuidando de interceptar la comunicación entre los condensadores; y después uniendo éstos obtenemos chispas poderosas cuyo espectro puede fácilmente ser estudiado con el espectroscopio.

El nitrógeno produce espectro de primera clase ó sea espectro acanalado. Valiéndonos de la misma máquina, vamos á iluminar un tubo que contiene nitrógeno.

¿Y quién no al volver sus ojos al cielo siente latir su corazón ante los cuadros hermosos que á cada instante nos presenta?

Cada puesta del Sol es una fiesta para nosotros, un asombro para nuestra inteligencia, sobre todo, cuando la atmósfera no está completamente serena; las coloraciones son entonces más vivas y variadas. A medida que el astro solar se acerca al horizonte, las nubes cenicientas y desmelenadas de la bóveda del cielo, últimos emisarios de las brumas del Norte, se orlan de tintas purpúreas cada vez más intensas, al paso que los contornos redondeados de las nubes blancas posadas en las lejanas cumbres se circundan de una deslumbradora franja amarilla y parecen engarzadas en el oro extendido por todo el ocaso. Tan pronto distinguimos la inmensidad de una meseta sin límites, anchurosos valles, grandes lagos, como fértiles oasis ceñidos de pueblecillos rodeados de fortificaciones pintorescas. La vista de las lejanas montañas añade un encanto inexplicable á estos paisajes. El espectáculo del cielo no es entonces menos interesante que el de la tierra. En el mar y todos los países llanos en que la cúpula celeste cobija una superficie lisa, sin relieve ni accidentes, el hombre dirige al cielo sus miradas, la vista de las nubes, del Sol, y del crepúsculo, reemplaza el aspecto lejano de la tierra, de los ríos, de los lagos, colinas y montañas.

Tan luego como el sol traspone el horizonte se difunde por todo el cielo occidental una suavísima tinta sonrosada, que

cual emanación del astro desaparecido, colora todas las montañas. Los finos rebordes de las palmas aparecen más visibles que en pleno día, y cuando el árbol entero se destaca sobre esos fondos alternativamente blancos, purpúreos y amarillos, parece que la poesía de ese gallardo vegetal se revela á nuestra vista por vez primera. El color sonrosado palidece poco á poco, el arco iluminado se va estrechando, pero la luz que lo alumbraba es blanca y pura como la que debe brillar en el éter más allá de los límites de nuestra atmósfera. En tanto se acerca la noche, apareciendo primeramente los planetas y luego las grandes constelaciones, hasta que el cielo se tachona de millares de estrellas y su bóveda se aclara progresivamente.

Hemos visto por felicidad acabar un siglo, el cual ha dejado en nosotros indestructibles recuerdos, mas también empezar el «gran siglo,» en el que al asomar el primer rayo de su luz y después de dar gracias al Supremo Hacedor que nos permite contemplar tantas maravillas, transformaremos nuestros sueños en realidades, y con su poderosa ayuda y con incesantes deseos ojalá y contribuyamos á llenar una página en la historia de las ciencias.

México, 6 de Julio de 1901.

MARÍA DE LA LUZ MAGAÑA.

## LA LIBRE EMISIÓN DEL PENSAMIENTO.

SEÑORITA DIRECTORA:

SEÑORES: COMPAÑERAS:

La libre manifestación de las ideas es un derecho que la Constitución Federal reconoce y garantiza. No existe previa censura y nadie puede ser perseguido por sus opiniones políticas, científicas ó artísticas. Tal derecho puede ejercerse en toda su amplitud, sin más límites que los requeridos por las necesidades de la convivencia social. Mas no siempre fué así; hubo un tiempo en que por el pensamiento, la creencia, la palabra, se castigó con el hierro y con el fuego.

Descubrir en la obscuridad del pasado la idea primera de esta libertad, seguir su evolución á través de los siglos, recorrer el catálogo de sus apóstoles y de sus mártires, exponer sus fundamentos filosóficos y examinar la fórmula legal que la contiene y sanciona, serían propósitos de mi obra, si para obra tamaña bastaran mis deseos. Debo reducirme por mis aptitudes y por las condiciones de mi programa, á un estudio meramente constitucional y á referir algún hecho histórico. Aun así, me faltarían las fuerzas, si no me viese alentada y fortalecida por la indulgencia de los que deben juzgarme.

Sé que ha querido ponerse bajo tutela el pensamiento y la conciencia, con el fin ó con el pretexto de evitar los males aca-