

cara AB de la cubeta situada delante se ilumina á su vez. El propio fenómeno se observaría con dos cristales de fluorina puestos uno junto á otro.

En las cátedras de física se hace un curioso experimento que consiste en trazar un dibujo cualquiera en una hoja de papel con un pincel empapado de sulfato de quinina. Este dibujo apenas se ve cuando se le expone á la luz blanca; pero si entre el haz luminoso y el papel se interpone un cristal de color morado oscuro, todas las partes de la hoja á las que no ha tocado el sulfato de quinina permanecen oscuras, mientras que las líneas del dibujo despiden un hermoso brillo azulado. El efecto es todavía más sorprendente si se opera con luz eléctrica.

¿Qué interpretación se debe dar á estos fenómenos?

Ante todo, hagamos observar que no hay absorción sensible de luz, puesto que el haz incidente conserva, cuando emerge de las sustancias fluorescentes, la intensidad y el color que antes tenía. Como no tenía efecto la absorción sobre las radiaciones luminosas, tratábase de averiguar si el fenómeno procedía de la absorción de las radiaciones químicas, y así lo ha demostrado en efecto el análisis espectral.

Por otra parte, la luz fluorescente analizada con el prisma ha dado, en la mayoría de las sustancias, espectros constituídos del mismo modo que los de la luz del haz incidente. Así, la luz difundida por el bisulfato de quinina, por la fluorina ó la esculina se compone de todas las radiaciones desde el rojo hasta el morado. Sin embargo, el cristal de urano y la clorofila dan espectros formados de rayas brillantes, separados por bandas oscuras.

Pero hay una ley general demostrada por los experimentos de Stokes, y es la siguiente: los rayos que, por su acción sobre las sustancias fluorescentes, dan motivo á la producción de la luz, tienen mayor refrangibilidad que los de esta luz especial. Por lo común, las radiaciones químicas son las absorbidas por la sustancia fluorescente y transformadas luego en radiaciones luminosas.

VII

TRANSFORMACIÓN DE LAS RADIACIONES. — CALORESCENCIA

De los hechos que acabamos de describir en los artículos anteriores resulta que en ciertos cuerpos puede producirse luz sin que lleguen á la temperatura necesaria para la incandescencia, y sin que intervengan los fenómenos químicos que acompañan á la combustión. El carácter común de la fosforescencia y de la fluorescencia consiste en que tanto uno como otro fenómeno tienen por causa la transformación de algunas de las radiaciones de un foco. Una parte de la fuerza viva de las ondas emanadas queda absorbida, dando origen á una radiación nueva compuesta de vibraciones menos rápidas, cuya longitud de onda es mayor; en una palabra, á causa de esta transformación se hacen visibles otras radiaciones que por lo común no lo son y que pertenecen á la parte química del espectro.

¿Puede ocurrir lo contrario, esto es, la transformación de radiaciones menos refrangibles en otras que lo sean más? Cuestión es esta ya planteada y que el físico inglés Tyndall ha resuelto del modo siguiente. Con tal objeto se ha valido de la propiedad que tiene una solución concentrada de yodo en el sulfuro de carbono de absorber casi completamente los rayos luminosos y de transmitir, por el contrario, casi completamente también los rayos de la parte infra-roja del espectro.

Llenando de esta solución una redoma, se ve fácilmente que el color morado oscuro de la masa líquida intercepta la luz hasta el punto de no percibirse en él ningún indicio luminoso, al paso que poniendo en el foco de esta especie de lente yesca, papel ó pólvora, los rayos caloríficos oscuros así concentrados producen su incandescencia (figura 542).

Tyndall adoptaba como foco radiante el arco voltaico producido entre los conos de carbón de un regulador foto-eléctrico. Estos carbones estaban colocados en el interior de una cámara estañada, en coincidencia con el foco de un espejo cóncavo que enviaba el haz luminoso á una redoma llena de la solución yodada de sulfuro de carbono.

Empleando una redoma de 17 centímetros de diámetro, ha visto inflamarse un pedazo de papel negro en el foco de aquella y caldearse una placa de platino hasta el rojo; con otra redoma de 8 centímetros la placa se calentó al rojo claro, y al blanco con otra más pequeña.

Describamos, tomándolos del mismo Tyndall, los efectos producidos en el foco conjugado del espejo, cuando el haz convergente de luz eléctrica atraviesa una vasija que, en un espesor de 6 centímetros, contenga la solución de yodo:

“El calor del foco, dice, es sumamente fuerte; pueden fundirse en él placas de plomo y de estaño dadas de negro de humo, y se ha agujereado y derretido en poco tiempo un pedazo grueso de metal fusible. Una lámina de zinc ennegrecida y puesta en el foco se inflama, y haciéndola pasar lentamente á través del foco, se la puede mantener

en estado de ignición hasta que se consuma enteramente. Un alambre de magnesio, aplanado en su extremo y ennegrecido, se inflama también y arde con mucho resplandor. Es fácil encender instantáneamente un cigarro en el foco oscuro.”

Sin embargo, Tyndall observa que en varios casos “los cuerpos expuestos á los rayos invisibles eran más ó menos combustibles. Su intenso brillo, debido en gran parte á la combustión, á la acción del oxígeno de la atmósfera, no probaba de un modo concluyente que hubiese aumentado la refrangibilidad de los rayos.”

Para hacer patente este aumento, practicó experimentos análogos en cuerpos no combustibles, ó en otros que lo eran, pero situados en un espacio privado de hidrógeno. “No he dejado de elevar, dice, al calor blanco láminas de platino platinado, ya al aire libre, ya en el vacío. El platino caldeado al blanco, visto al través de un prisma de sulfuro de carbono, da un espectro rico y completo. Todos los colores, desde el rojo hasta el morado, brillan con extraordinario fulgor. Las ondas de donde provenían primitivamente estos colores no tenían rayos visibles, ni rayos ultra-morados mezclados con ellos; eran exclusivamente ultra-rojos. La acción de los átomos de platino los hace pasar

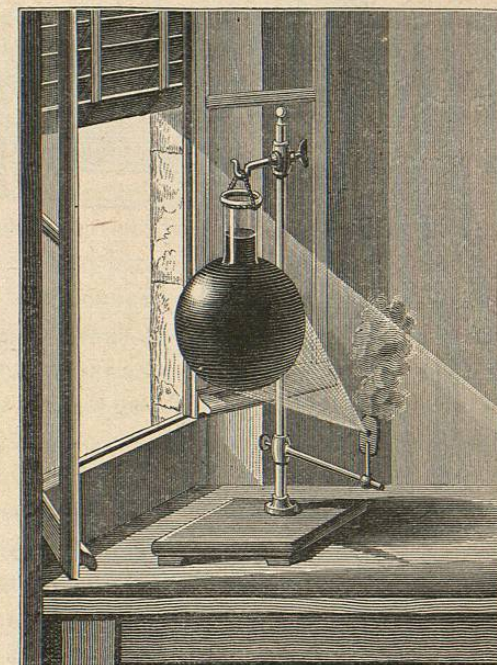


Fig. 542.—Separación de las radiaciones luminosas y caloríficas por el sulfuro de carbono yodado

del estado de rayos de calor al de rayos de luz. Los rayos caen sobre el platino vibrando de cierto modo, y se separan de él vibrando más rápidamente; con lo cual ha aumentado su refrangibilidad, y de invisibles que eran se han hecho visibles. Para expresar

esta transformación de los rayos caloríficos en otros de mayor grado de refrangibilidad, propongo la palabra *calorescencia*, que armoniza perfectamente con la de *fluorescencia* introducida por el profesor Stokes, é indica la naturaleza de los efectos á que se aplica.,,

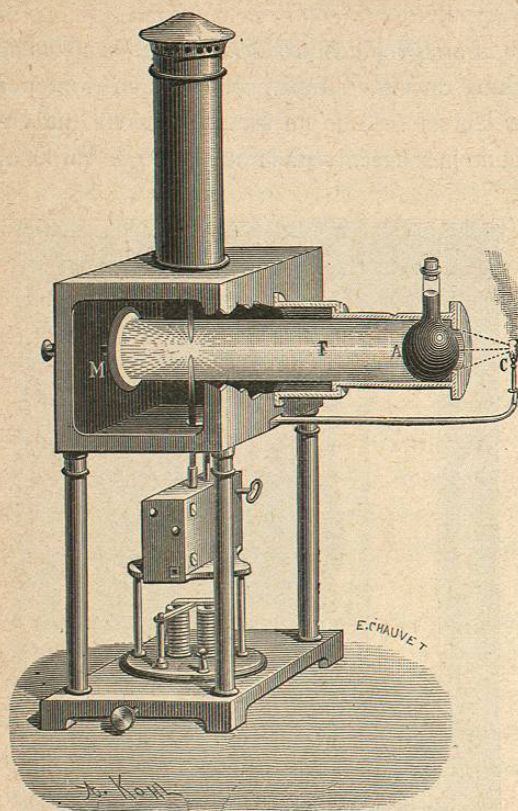


Fig. 543.—Experimento de Tyndall. Fenómeno de calorescencia

absoluta? No. Si los metales, por ejemplo, interceptan completamente la luz, consiste en que siempre se les emplea de cierto espesor. Un experimento ya antiguo (hecho por Newton) prueba que el metal más denso después del platino, el oro, da paso á cierta cantidad de luz, para lo cual basta reducirlo á hojas sumamente delgadas. Pegando á una placa de cristal una hoja de oro de las que fabrican los batidores, y mirando á través de ella la luz de una bujía ó la del cielo, se percibe un resplandor azul-verdoso muy marcado. Esta coloración de la luz transmitida demuestra que no procede de una hendidura ó raja que hubiera en la hoja de metal, sino que ha atravesado realmente la substancia misma del oro. La plata, reducida también á hojas sumamente delgadas, da paso á una luz verde. Lo propio sucede con otras muchas materias, que parecen opacas y lo son en efecto cuando tienen cierto espesor, pero que adquieren diafanidad ó transparencia tan luego como se las reduce á placas delgadísimas. En este caso se encuentran muchos de los pequeños objetos que se examinan en el portaobjetos del microscopio; su extraordinaria tenuidad los hace visibles por transparencia; tales son los infusorios, las células vegetales y varias substancias minerales.

Así también, los medios que parecen dotados de la mayor transparencia absorben en realidad una parte de la luz que los penetra. El agua más pura parece absolutamente

VIII

DESCOMPOSICIÓN DE LA LUZ POR ABSORCIÓN

Hemos visto que los cuerpos sólidos, líquidos ó gaseosos, considerados como medios con respecto á la luz, se dividen en *opacos* y *transparentes* ó *diáfanos*. Los primeros no se dejan atravesar por la luz que, al llegar á su superficie, se refleja ó difunde, es decir, vuelve al medio de donde ha partido; los segundos, por el contrario, transmiten la luz que penetra en mayor ó menor cantidad en el interior del nuevo medio.

¿Hay cuerpos dotados de opacidad absoluta? ¿Los hay de transparencia

límpida en corta cantidad ó cuando forma una delgada capa; los objetos conservan á través de ella su brillo y parecen tan luminosos y distintos como si la capa líquida no existiera, propiedad que se nota mucho más en el aire. Sin embargo, tan luego como el agua más límpida y más pura tiene cierta profundidad, su transparencia disminuye, y en breve se advierte en alto grado la absorción de la luz; por una parte, los objetos vistos á través del agua son cada vez menos distintos hasta hacerse invisibles; por otra, adquieren una coloración que es la del agua misma vista por difusión. En cuanto á la luz transmitida, aparte de la disminución de intensidad que sufre á su paso por el líquido, ha adquirido un color que es generalmente diferente del que presenta en la reflexión.

Así, las radiaciones luminosas, al atravesar los medios dotados de una transparencia relativa, se extinguen ó quedan en parte absorbidos. ¿En qué consiste esta absorción, y cómo varía según la naturaleza de las substancias, su espesor, etc.?

Consistiendo la luz en un movimiento ondulatorio, en una mezcla de cierto número de vibraciones que difieren por sus períodos, como lo prueba la diferencia de refrangibilidad de sus diversos rayos, el movimiento que la constituye no puede ser destruído; es una consecuencia de lo que se llama en mecánica el *principio de la conservación de las fuerzas vivas* (1). Como este movimiento no queda anulado, naturalmente ha de transformarse. En los artículos que preceden hemos descrito varios modos de esta transformación. Hemos visto que ciertas radiaciones se convierten en calor, es decir, en vibraciones menos rápidas; otras substancias tienen la propiedad de transformar algunas radiaciones luminosas ó químicas en otras radiaciones menos refrangibles, aunque visibles siempre, correspondiendo á estos cambios los fenómenos de fosforescencia y de fluorescencia. Describamos algunos de los fenómenos que caracterizan la absorción de la luz por diferentes medios.

Un medio es incoloro cuando deja pasar todos los rayos coloreados del espectro desde A hasta H, ó por lo menos cuando los debilita á todos en la misma proporción. En este caso se hallan el vidrio, la sal gema, el agua y el aire, por lo menos cuando son muy densos, pues siendo entonces perceptible la absorción desigual de ciertas radiaciones, los medios adquieren el color que resulta de la transmisión de las radiaciones no absorbidas. Más adelante trataremos de esa coloración por lo que respecta al agua y al aire. En cuanto á la sal gema, presenta la particularidad de que también da paso á los rayos de la parte oscura del espectro y á los de la parte química.

Es de notar que los cuerpos *negros*, que extinguen los rayos luminosos de todos colores, absorben también los ultra-morados, mientras que dejan pasar las radiaciones caloríficas oscuras; la sal gema, el alumbre y el cuarzo ahumados se hallan en este caso. Hemos visto que la solución de yodo en el sulfuro de carbono, que es roja cuando forma una delgada capa, extingue casi completamente la luz solar si tiene uno ó dos decímetros de espesor; pero continúa siendo transparente para las radiaciones de calor.

(1) Citemos lo que dice Fresnel acerca de este punto: "Los cuerpos negros y aun las superficies metálicas menos brillantes no reflejan, ni con mucho, la totalidad de la luz que cae sobre su superficie; los cuerpos imperfectamente transparentes, y hasta los más diáfanos cuando son bastante gruesos, absorben también (para valerme de la expresión usada) una cantidad notable de luz incidente; pero de esto no debe deducirse que el principio de la conservación de las fuerzas vivas no sea aplicable á estos fenómenos: al contrario, de la idea más probable que pueda formarse acerca de la constitución mecánica de los cuerpos resulta que la suma de las fuerzas vivas debe ser siempre la misma (mientras no cambien de intensidad las fuerzas aceleradoras que tienden á colocar de nuevo á las moléculas en su posición de equilibrio), y que la cantidad de fuerzas vivas que desaparece como luz se reproduce como calor.,,

Entre los medios diáfanos é incoloros y los cuerpos negros que interceptan la luz se colocan los cuerpos transparentes coloreados que absorben con desigualdad los diversos rayos del espectro y cuya coloración varía á veces totalmente según el espesor, y otras veces según la temperatura.

Merced al estudio de los espectros de la luz que ha atravesado tales medios se puede medir la absorción de varias radiaciones y averiguar en virtud de qué concurso de rayos adquiere el medio la tinta que le caracteriza. Para observar la influencia del espesor se da á la materia coloreada la forma de un prisma de ángulo agudo, de modo que el grueso vaya variando progresivamente del vértice á la base. Y no tan sólo sucede que el color de las sustancias se oscurece conforme aumenta el espesor, sino también que algunas cambian así completamente de color, fenómeno conocido con el nombre de *dicroísmo* ó *policroísmo*. El ilustrado inglés M. Gladstone ha estudiado de una manera muy ingeniosa la influencia del espesor en el color de los medios, así como los espectros de absorción que explican, por la sola inspección de su forma, los cambios de color que de ella resultan. He aquí, según G. Salet, cómo ha procedido M. Gladstone con las sales de colores, como el cloruro de cromo, el permanganato de potasa y el cloruro de cobalto.

“Llena un prisma hueco de cristal de la solución que se propone examinar, y luego mira á través de un prisma de vidrio una ranura muy estrecha y luminosa situada detrás del prisma hueco y perpendicularmente á sus aristas principales. Gracias á esta disposición, los rayos transmitidos por los diferentes puntos de la ranura han de atravesar espesores crecientes de líquido, desde uno insignificante hasta el que basta para interceptar casi toda luz.”

El estudio de los espectros de absorción es también interesante para los químicos, por cuanto dichos espectros caracterizan casi siempre la sustancia estudiada. Tomemos como ejemplo la materia colorante de la sangre. “Cuando se mezcla, dice M. Buignet en sus *Manipulaciones de física*, una ó dos gotas de este líquido con cuatro ó cinco gramos de agua, y después de introducir la mezcla en una pequeña cubeta de vidrio de caras paralelas, se coloca esta cubeta delante de los colimadores del espectroscopio, se notan en el espectro producido dos anchas fajas oscuras, cuya posición es constante é invariable. Ambas están situadas entre las rayas D y E, pero una en el amarillo y otra en el verde..... Esta propiedad de dar dos fajas ó bandas de absorción situadas como acabamos de decir, pertenece á la *hemoglobina* ó glóbulo sanguíneo combinado con oxígeno. Según Hope Seyler, un líquido que no contenga más que 0,0001 de hemoglobina, examinado á un espesor de 0^m, 01, sigue presentando distintamente las dos bandas.”

“Basándose únicamente en el procedimiento espectroscópico, pudiera temerse, añade M. Buignet, el confundir la hemoglobina de la sangre con ciertas sustancias colorantes rojas ó violadas; pero la experiencia demuestra que no es así. El *jugo de cerezas*, los infusos de *mirtilo*, *palo Brasil*, *rubia*, *vino tinto*, y los colores de *anilina*, los *liposulfitos*, *meconatos* y *sulfocianuros férricos*, producen muchos cambios en el aspecto del espectro; pero nunca bandas de absorción que puedan confundirse con las de la sangre. Verdad es que la *cochinilla* en solución amoniacal da dos bandas que examinadas superficialmente podría confundírselas con las de la sangre; pero la posición de estas bandas no es la misma, y el sulfuro de amonio no hace aparecer la banda de Stokes. Por consiguiente, se puede presumir con fundamento que se trata de una mancha de sangre, siempre que el líquido observado con el espectroscopio forme dos ban-

das de absorción comprendidas entre las rayas D y E, y que estas bandas desaparecían bajo la acción del sulfuro de amonio para ceder el puesto á una sola situada en el espacio claro que aquéllas dejaban entre sí. No puede desconocerse la importancia que estos casos presentan para la comprobación de las manchas de sangre en química legal.”

Volvamos á los fenómenos de coloración debidos á la absorción desigual de los rayos coloreados de la luz blanca cuando ésta atraviesa ciertos medios.

Tomemos un cristal encarnado, cuyo color se debe al protóxido de cobre. Si se examina el espectro de la luz que atraviesa una lámina de este cristal, vese que se reduce á la parte roja; las fajas oscuras que ocupan otras partes del espectro indican los colores que han sido más absorbidos. En un cristal purpúreo predominan las partes roja y morada; el verde y los colores inmediatos son los más absorbidos. El color de las sales de níquel y de los cristales verdes se debe á la absorción de los colores extremos del espectro, en el rojo y el morado; con un espesor creciente, el verde predomina cada vez más y acaba por quedarse solo.

Como ejemplos de dicroísmo procedentes de la variación de las partes del espectro absorbidas conforme va variando el espesor, citaremos el vino añejo, el aguardiente, la infusión de azafrán, el cristal amarillo, etc., que son amarillos cuando el espesor es poco y cuyo matiz pasa al rojo y al pardo-rojo á medida que la luz atraviesa espesores crecientes de estos medios. Las sales de cromo y de manganeso dan paso á dos clases de rayos, y sus espectros tienen dos máximas, una en el rojo y otra en el verde; cuando el espesor aumenta, el rojo predomina y el color se torna lívido y rojizo. El azul cobalto ó el cristal azul que, á poco espesor, presenta el color á que debe su nombre, se vuelve cada vez más rojo á medida que este espesor aumenta.

El doctor Bréwster ha hecho interesantes experimentos relativos á la influencia del calor en la fuerza de absorción de los medios coloreados, y ha reconocido que esta influencia obra de distinto modo según las sustancias, disminuyendo la absorción en las unas y aumentándola en las otras. “Habiendo calentado al rojo, dice, un cristal purpúreo que absorbía la mayor parte del verde, del amarillo y del rojo interior ó el más refrangible, le expuse á un calor muy fuerte; cuando su color rojo hubo pasado, observé que la transparencia del cristal había aumentado y que transmitía libremente el rojo interior, el verde y el amarillo, absorbidos antes en gran parte por él. Sin embargo, este efecto desapareció gradualmente, y cuando el cristal se enfrió del todo, recobró su primera fuerza de absorción. En cambio, si se calentaba del mismo modo un pedazo de cristal verde-amarillento, perdía casi enteramente su transparencia. Al recobrar su color primitivo, pasaba por varios matices verde-aceitunados; pero, después de enfriado, era menos verde que antes del experimento. Sometiendo el rubí balaja á altas temperaturas, observé que su color rojo se transformaba en verde, el cual se convertía á su vez en pardo á medida que el rubí se enfriaba, hasta que hubo adquirido de nuevo su color primitivo.”