

desviaba mucho de la perpendicular, y medí de nuevo las temperaturas de las bandas oscuras y luminosas, observando tal alteración en ellas que algunas habían quedado totalmente destruidas, y otras debilitándose más ó menos, no faltando otras cuya disminución apenas era perceptible. La zona que había sufrido la destrucción total era la menos refrangible, es decir, la banda isoterma del morado; desde allí la pérdida era más y más marcada á medida que se acercaba á la banda roja; disminuía también en el rojo, en el anaranjado y en una parte del amarillo, y después las proporciones de las temperaturas iniciales se mantenían casi constantes hasta el límite morado superior.

„Esta acción desigual ejercida por el agua sobre las diferentes bandas del espectro debía necesariamente desviar el máximo de temperatura y hacerle marchar hacia los rayos más refractados, puesto que las bandas menos refrangibles, á las que llamamos para abreviar *bandas inferiores*, experimentaban una pérdida mucho mayor que las más refrangibles ó superiores; y así sucedió, porque el máximo de calor pasó del último límite del rojo á la parte superior del anaranjado. Este experimento probaba incontestablemente que *el calor distribuido en las diferentes partes del espectro solar no es un agente homogéneo.*„

Melloni demostró que esta heterogeneidad no era peculiar de la radiación calorífica solar, sino que existía también en los flujos de calor procedente de manantiales terrestres luminosos ú oscuros, en una palabra, que estos manantiales estaban compuestos de varios elementos caloríficos y enteramente análogos á los rayos colorados de que se compone la luz. Estos elementos, transmitidos en igual abundancia por capas muy tenues de cuerpos diáfanos, como agua, vidrio, alcohol, etc., atravesaban en proporciones muy distintas las capas gruesas de estos mismos cuerpos; además, las cantidades iguales de calor, recogidas al salir de las capas de diferente naturaleza, pasaban en cantidad tan diferente por una lámina determinada de una substancia diáfana incolora, que ciertos rayos eran enteramente transmitidos y otros totalmente absorbidos. Hemos visto, por otra parte, que Melloni había puesto en completa evidencia el notable hecho de una substancia diáfana incolora, como la sal gema, que transmite con igual facilidad toda clase de rayos caloríficos, así los oscuros como los luminosos. Melloni ha formulado así la consecuencia:

“Combinando, dice, estos datos con la noción de la transmisión constante de la sal gema para toda clase de radiaciones, directas ó modificadas, durante su paso á través de los medios diatérmicos, creo poder aventurarme á deducir que el vidrio, el agua, el cristal de roca, y en general todos los cuerpos diáfanos é incoloros, son termocroicos, es decir, actúan sobre los rayos caloríficos como los medios colorados sobre la luz. Entonces se presentó bajo su verdadero punto de vista la cuestión de la distribución de las temperaturas en el espectro solar. Parecería ciertamente absurdo el procedimiento del que quisiera comparar las intensidades relativas de los elementos luminosos separados por las diferencias de refracción de un prisma de vidrio fuertemente colorado de azul con óxido de cobalto, ó dotado de cualquier otra coloración intensa. Precisamente era esta la tarea que se había desempeñado hasta entonces estudiando la distribución del calor en los espectros dados por los prismas ordinarios de crown y de flint-glass, de agua, de alcohol y de otras substancias incoloras. Para conocer las verdaderas temperaturas de las zonas prismáticas, luminosas ú oscuras, era evidentemente necesario descomponer el rayo solar con el prisma de sal gema, que, siendo igualmente permeable á toda especie de radiación calorífica, constituía, para no salir de nuestra comparación, el vidrio blanco del calor.„

Hay, pues, una coloración calorífica así como hay una coloración luminosa; de aquí el nombre de *termocrosis* dado por Melloni á esta clase de fenómenos, y el de termocroico aplicado á un cuerpo que, diáfano ó incoloro para las radiaciones luminosas, absorbe, aun siendo de tenue espesor, una proporción notable de un haz de calor solar natural, y transmite el resto del haz en un estado de composición muy distinto del que le caracterizaba antes de la incidencia. Solamente una substancia diáfana incolora desempeña el papel de *vidrio blanco para el calor*, ó es *leucotérmica*: la sal gema (1).

Resulta de aquí que si se representa con una curva la intensidad del calor de las varias partes del espectro solar, en toda su extensión química, luminosa y calorífica, esta curva variará según la naturaleza de la substancia de que se compone el prisma que ha servido para obtener el espectro, ó lo que es lo mismo, se tendrán tantas curvas de intensidad como substancias diatermanas; aunque cada una de ellas no representará más que la intensidad de las radiaciones no absorbidas. Tan sólo la curva rela-

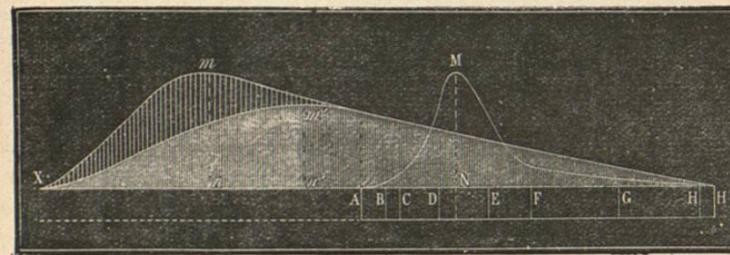


Fig. 638.—Curvas de las intensidades caloríficas de la radiación solar: XmH' , curva obtenida con un prisma de sal gema; $Xm'H'$, curva obtenida con un prisma de crown; AMH , curva de las intensidades luminosas

tiva á la sal gema dará la representación verdadera, ó á lo menos proporcional, de la radiación calorífica total.

La figura 638 representa esta última curva con arreglo á los experimentos de Franz y de Müller, y también la que se obtiene con un prisma de crown. Estas dos curvas, que se confunden en toda la extensión del espectro luminoso, van elevándose continuamente, desde un punto de la parte ultramorada hasta el extremo rojo. Más allá, la intensidad luminosa sigue siendo la misma para los dos espectros, poco más ó menos hasta el máximo relativo al crown. El verdadero máximo mn del espectro calorífico de la sal gema está á una distancia del límite rojo extremo igual á la que separa este límite del azul-verde. Más lejos el calor va decreciendo hasta X , donde es nulo, de suerte que la longitud de la parte oscura es á corta diferencia tan grande como la de todo el espectro luminoso.

Esta proporción entre las partes visible y oscura de la radiación solar no sería probablemente la misma si pudiera efectuarse el análisis de la luz del Sol más allá de los límites de la atmósfera. Y en efecto, resulta de las investigaciones hechas sobre la absorción de los rayos caloríficos por los gases y los vapores, que los poderes absorbentes de los gases transparentes, nulos para las radiaciones luminosas, son relativa-

(1) Melloni admitía que la proporción de 0,923 que la sal gema bien pura transmite, cualquiera que sea la longitud de onda de los rayos, es siempre la misma aunque el espesor varíe, y que los 0,077 de pérdida se deberían probablemente á las reflexiones del calor en las dos caras; pero las investigaciones de la Provostaye y Desains han demostrado que en realidad hay una parte de dichos rayos absorbida y que esta absorción es mayor para el calor oscuro.

mente considerables para las oscuras. Tyndall ha verificado muchos experimentos acerca de este asunto, valiéndose con tal objeto de un tubo horizontal cuyas aberturas estaban tapadas con placas de sal gema; hecho el vacío en el tubo, introducía en él sucesivamente los gases cuyos poderes absorbentes quería comparar. A igual distancia de las dos caras de una pila termoeléctrica, dos focos caloríficos de la misma potencia (cobre calentado á 400°, es decir, á menos del rojo) radiaban sin producir desviación en la aguja del galvanómetro, mientras las intensidades de los haces caloríficos eran iguales; mas tan luego como se interponía en el camino de uno de los haces el tubo lleno de gas, rompíase el equilibrio y la desviación de la aguja indicaba qué calor había absorbido la columna gaseosa. Tomando por unidad el calor absorbido por el aire atmosférico á la presión ambiente, he aquí algunas cifras obtenidas por Tyndall para la absorción relativa de algunos gases á la presión de 25 milímetros de mercurio:

Aire.	1	Ácido carbónico.	972
Oxígeno.	1	Protóxido de ázoe.	1590
Nitrógeno.	1	Hidrógeno sulfurado.	2100
Hidrógeno.	1	Amoniaco.	5460
Óxido de carbono.	750	Ácido sulfuroso.	6480

Como se ve, los gases simples son de escaso poder absorbente, que es igual para todos ellos; en cambio los compuestos lo tienen en alto grado, pareciendo crecer á medida que se acercan á su punto de licuefacción. Lo propio sucede con los vapores. Los perfumes difundidos por el aire absorben también las radiaciones oscuras (1). Según Tyndall, el poder absorbente del vapor de agua es bastante mayor que el del aire que lo contiene; y el aire saturado de humedad tiene, á una atmósfera de presión, una acción absorbente cien veces tan grande como la del aire seco. M. Magnus de Berlín ha puesto en duda la exactitud de las conclusiones del físico inglés, pues en su concepto el aire húmedo no tiene mayor poder absorbente que el seco; y no es el agua en estado de vapor, sino más bien en el vesicular que presenta en las nubes y en las nieblas, la que debía causar la absorción medida por Tyndall. Pero sea cual fuere la causa de esta absorción, no por eso deja de existir, y por consiguiente debe desempeñar un gran papel en la atmósfera. Nos ocuparemos más adelante de las consecuencias que deben deducirse de este hecho para la explicación de varios fenómenos de meteorología.

(1) Tyndall describe del modo siguiente los experimentos que le han servido para averiguar la influencia absorbente de varios olores: "He aquí, dice, unos cuantos cuadraditos de papel secante; los enrolló formando con ellos pequeños cilindros de 5 centímetros de longitud y los humedezco sumergiéndolos por uno de sus extremos en un aceite aromático: este líquido penetra en el papel en virtud de la atracción capilar y el cilindro entero resulta impregnado de él. Introduzco el papel así impregnado y humedecido en un tubo de vidrio de diámetro tal que lo ocupe el cilindro sin estar comprimido; y luego coloco entre mi aparato secador y el tubo de experimento el que contiene el papel aromatizado. Hago el vacío en el tubo de experimento y la aguja se pone á cero; abriendo ahora esta llave, hago que pase poco á poco aire seco al través de los pliegues del papel saturado: el aire seco se impregna del perfume del aceite aromático y lo arrastra consigo al tubo de experimento. Sabemos que la absorción de una atmósfera de aire seco tomada por unidad produce una desviación de un grado; luego cualquier absorción adicional ó mayor que la unidad revelada por el experimento dimanará del olor que acompaña al aire." He aquí algunos de los resultados:

Patchuli.	30	Tomillo.	68
Esencia de clavillo.	34	Manzanilla.	87
Esencia de rosa.	37	Casia.	109
Espliego.	60	Gran Lavanda.	355
Limón.	65	Anís.	372

La distribución del calor en los espectros varía, como era de esperar, con la naturaleza del foco, es decir, con la proporción de los rayos de diferentes refrangibilidades que contiene. Tyndall ha dado un ejemplo de esta diferencia trazando la curva de la distribución relativa al espectro de arco voltaico obtenido con un prisma de sal gema; el arco estaba formado por una pila de cincuenta elementos Grove, haciéndole constante con un regulador Foucault construido por M. Duboscq. La figura 639 representa esta curva, que es el promedio de un gran número de determinaciones efectuadas con el auxilio de la pila termoeléctrica. Así como en las curvas de la figura 638, las ordenadas que marcan las intensidades relativas de la radiación calorífica son proporcionales á las desviaciones observadas. He aquí las observaciones de Tyndall acerca de este asunto: "El espacio XMOA, dice, representa la radiación invisible. Vese aquí que la intensidad del poder térmico aumenta gradualmente del extremo azul al extremo rojo del

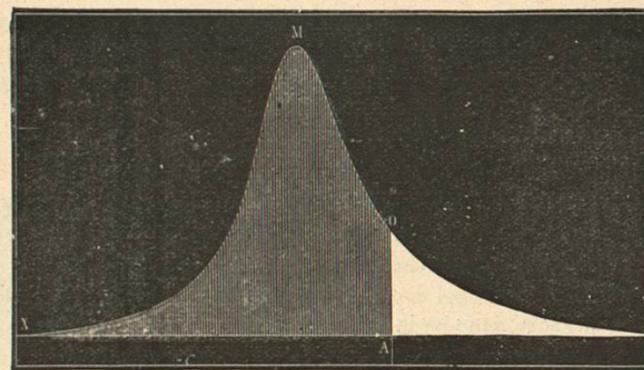


Fig. 639.—Curva de la intensidad calorífica de las radiaciones oscuras y de las luminosas del arco voltaico, según Tyndall

espectro, y que en la región de los rayos oscuros más allá del rojo, la curva se eleva súbitamente, formando un pico escarpado y macizo que por su magnitud hace que parezca muy mezquina la parte de la figura que representa la radiación visible. Los rayos del Sol, antes de llegar á la Tierra, han de atravesar la atmósfera, donde encuentran el vapor obscuro atmosférico, que ejerce una poderosa absorción en los rayos de calor invisibles. De aquí debe resultar, prescindiendo de cualquier otra consideración, que la proporción entre la radiación invisible y la visible, con respecto al Sol, debe de ser mucho menor que con respecto á la luz eléctrica. Vemos que la experiencia confirma esta conclusión; porque, mientras la figura 638 nos muestra la radiación invisible del Sol casi doble que la visible, la 639 presenta la invisible de la luz eléctrica cerca de ocho veces tan grande como la visible. Si se hace pasar el haz de luz eléctrica al través de una capa de agua de espesor conveniente, se pone su radiación casi en iguales condiciones que la del Sol, y descomponiendo el haz tamizado de este modo, se obtiene una distribución de calor muy parecida á la que se observa en el espectro solar.,

"He hecho, añade el físico inglés, muchos experimentos para reconocer si había alguna solución de continuidad en el espectro calorífico; pero todas las medidas tomadas hasta ahora en focos artificiales revelan un aumento gradual y continuo de calor, desde el punto en que empieza á ser perceptible hasta el máximum. Sir John Herschel ha demostrado que no ocurría esto en la radiación del Sol, cuando se analiza con un

prisma de flint-glass. Haciendo que el espectro solar se formé en una hoja de papel ennegrecido, sobre la cual se había esparcido alcohol, aquel eminente físico determinó el poder calefaciente del espectro por su poder vaporizante ó secante, y vió que la superficie mojada formaba al secarse una serie de manchas que representaban máximas térmicas, separadas entre sí por espacios de una intensidad calorífica relativamente débil. No se han observado máxima y mínima semejantes en el espectro de la luz eléctrica, ni en el de un alambre de platino calentado al blanco por una corriente voltaica.,,

Los vacíos encontrados por Herschel en el espectro solar dimanaban probablemente de la absorción electiva que ejercen las capas de nuestra atmósfera, y quizás también la de la solar en las radiaciones caloríficas de la fotosfera. El astrónomo americano S. Langley se ha ocupado recientemente de la misma cuestión, de la cual volveremos á tratar más adelante cuando nos ocupemos de la energía de la radiación solar.

CAPÍTULO XIII

PROPAGACIÓN DEL CALOR.—CONDUCTIBILIDAD

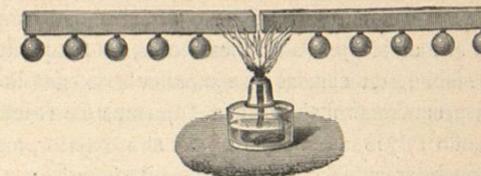
I

CONDUCTIBILIDAD DE LOS CUERPOS SÓLIDOS HOMOGÉNEOS

Hemos visto que si se tiene en la mano una barra de hierro cuyo extremo se haya metido en un foco incandescente, el calor del foco se comunica al metal, se propaga de molécula en molécula á lo largo de la barra, y al poco rato la temperatura se eleva hasta el punto de quemar la mano y de obligarla á soltar el hierro. Si en lugar de ser la barra de este metal fuese de cualquier otro, pero de diámetro y longitud iguales, se observaría análogo efecto, si bien veríamos variar á la vez el tiempo que invierte en ponerse á cierta temperatura un punto situado á una misma distancia de la extremidad caldeada en cada barra, y la distancia del punto más alejado de cada una de ellas susceptible de adquirir una temperatura determinada. He aquí un experimento muy sencillo que hará patente la diferencia de que hablamos:

Tomemos dos barras de iguales dimensiones, una de cobre y otra de hierro, y peguemos á ellas con cera y á distancias iguales de los extremos unas bolitas de madera. Pongamos en seguida las barras punta con punta y calentemos los extremos contiguos por medio de una lámpara de espíritu de vino puesta debajo del punto de unión. Al poco rato veremos que caen las bolas unas tras otras, á medida que derrite la cera el calor que se propaga en cada barra por vía de conductibilidad; mas al cabo de un período de tiempo determinado veremos que el número de bolas caídas en la barra de cobre es mayor que el de la de hierro. Por otra parte, dos bolas de la misma fila, situadas por consiguiente á igual distancia del foco, no caen simultáneamente. Prescindamos por un momento de la rapidez con que se ha propagado el calor á lo largo de la barra, para ocuparnos únicamente del primer efecto, es decir, de la distancia á que puede llegar en ambos metales cierto grado de temperatura, que en el caso presente es el de la fusión de la cera. Como esta distancia resulta menor en el cobre, dícese de él que es *mejor conductor* del calor que el hierro.

La figura 641 representa un aparato inventado por Ingenhouz y modificado por Gay-Lussac, cuyo aparato sirve para comparar entre sí los poderes conductores de los cuerpos sólidos. Consiste en unas varillas cilíndricas de cada una de las substancias que se han de comparar y que están dadas de una capa de cera del mismo espesor, colocadas horizontalmente de modo que por uno de sus extremos penetran en un baño de aceite ó de agua hirviendo mientras el extremo opuesto sale fuera de la caja que contiene uno de ambos líquidos.



El calor de éste corre por la varilla, y derrite la cera á distancias tanto mayores cuanto más considerable es la conductibilidad de la substancia de que aquélla está formada.

Fourier ha procurado determinar en su *Teoría del calor*, por el análisis matemática, la ley de propagación del calor por conductibilidad en los sólidos homogéneos. Partiendo del hecho práctico de que el calor emitido por un cuerpo no tan sólo procede de las moléculas superficiales, sino también de las situadas debajo de la superficie á cierta profundidad, admite que las partículas interiores son otros tantos centros radiantes que envían calor en todas direcciones. Dos partículas cualesquiera, suficientemente próximas, cambian así rayos de calor, y en virtud de este cambio

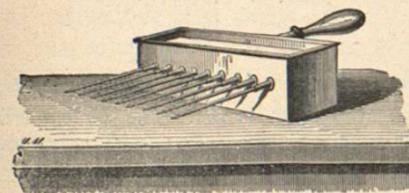


Fig. 641.—Aparato de Ingenhouz para medir poderes conductores

la más fría gana cierta cantidad de calor que, en igualdad de circunstancias, debe ser proporcional al exceso de las dos temperaturas. Esto es lo que lleva el nombre de hipótesis de la *radiación particular*. ¿Puede explicar esta hipótesis el modo cómo se propaga el calor por el interior de los cuerpos atermos, ó por vía de conductibilidad? Dicho geómetra ha tratado de demostrarlo así sometiendo la cuestión al cálculo. Hízolo primeramente con respecto á una pared sólida, comprendida entre dos planos paralelos indefinidos, cuyas dos caras están mantenidas á temperaturas desiguales mediante dos focos constantes; cuando se establezca el equilibrio entre las temperaturas de las diferentes capas, cuando todas ellas estén atravesadas por la misma cantidad de calor al mismo tiempo, se llamará *coeficiente de conductibilidad* del cuerpo á este calor llevado á la unidad de tiempo, á la unidad de superficie y á la unidad de espesor. Partiendo Fourier de la ley que rige este caso general, ha formulado la de la propagación en una barra rectangular indefinida, y luego en una de longitud determinada, única en que se pueden hacer comprobaciones experimentales. Vamos á indicar, mencionando los experimentos de Despretz, cuál es esta ley.

Véase cómo procedía este físico. Las barras de diferentes metales de que se valía

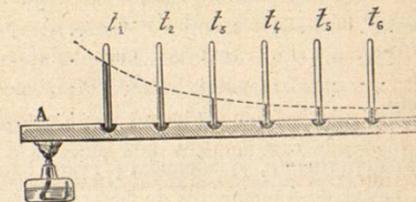


Fig. 642.—Medida de la conductibilidad de una barra. Experimento de Despretz