

termómetro en sus diferentes experimentos eran proporcionales á los poderes absorbentes. Pero semejante hipótesis, deducida de la ley de Newton sobre el enfriamiento, no es aplicable en este caso, porque la ley en cuestión supone que el cuerpo que se caldea ó enfría conserva la misma superficie ó no cambia de naturaleza, al paso que la cubierta de la bola del termómetro diferencial variaba de un caso á otro en los experimentos de Leslie.

Cuando se trata de substancias atermanas bien bruñidas, casi exentas de poder difuso, puede admitirse que todo el calor que reciben por vía de irradiación, ó bien se

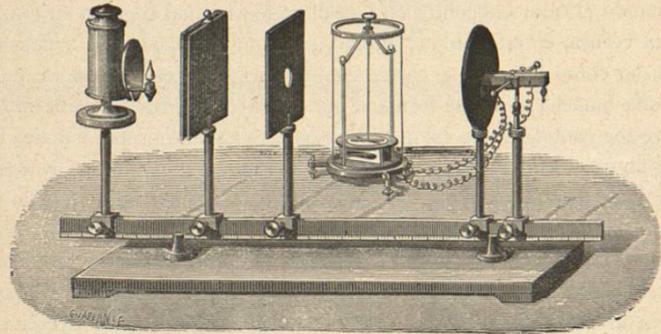


Fig. 629.—Medida del poder absorbente con el aparato de Melloni

refleja con irregularidad, ó bien queda absorbido. Por consiguiente, si se conocen los poderes reflectores de estas substancias, deduciéndolos de la unidad ó de 100, la diferencia será la medida de su poder absorbente. Por el contrario, si se trata de cuerpos mates y la temperatura del foco de calor es muy elevada, se difundirá ó quedará absorbido todo el calor recibido. Si, conforme hemos visto antes, se ha calculado el poder difuso, se le deducirá asimismo de la unidad ó de 100, y la diferencia será la medida del poder absorbente del cuerpo. Operando de este modo, han averiguado la Prevost y Desains los poderes absorbentes de varias substancias respecto del calor emanado de varios focos con una incidencia próxima á la normal. He aquí algunas cifras sacadas de sus experimentos:

VIDRIO Y METALES BRUÑIDOS	PODERES ABSORBENTES		
	Calor solar	Lámpara de Locatelli	Lámpara moderador
Vidrio.	96,5	"	95,5
Acero.	42	17,5	34
Metal de espejos.	34	14,5	30
Platino.	39	17	30
Oro.	13	4,5	"
Plata.	8	2,5	3,5
CUERPOS MATES			
Cerusa.	18	"	"
Cromato de plomo.	34	"	"
Polvo de plata.	24	"	"

Los mismos físicos han aconsejado un método directo para averiguar el poder absorbente de cualquier cuerpo, ó por lo menos la relación de los poderes absorbentes de dos substancias. Empleando al efecto un termómetro muy sensible, cubrían la bola

con las substancias que iban á estudiar, las exponían en cada caso y del mismo modo á la radiación de un foco constante, anotaban los excesos estacionarios de temperatura y tomaban la relación, no de estos excesos, sino de las velocidades de enfriamiento que les corresponden. Operando así, han visto que la relación de la cerusa era de 19, resultado que, como se ve, es poco más ó menos el mismo que se obtiene tomando el complemento del poder difuso del mismo cuerpo.

Los poderes absorbentes y emisivos de los cuerpos varían en el mismo sentido y en igual proporción, como así se desprende á la vez de la práctica y de la teoría de los cambios de temperatura conocida con la denominación de *equilibrio móvil de temperatura*, y que procuraremos resumir en pocas líneas.

Cuando un número cualquiera de cuerpos, que estén á la misma temperatura, se hallan contenidos en un recinto cuyas paredes tengan también una temperatura uniforme igual á la primera, admítase que esta temperatura común subsiste constante y que la cantidad de calor no varía ó que hay equilibrio de aquélla entre los cuerpos y el recinto. Se puede explicar este estado de equilibrio de dos maneras distintas. La primera consiste en suponer que no hay radiación recíproca de los cuerpos y de las paredes del recinto, que no media cambio alguno de calor, y que el equilibrio es la consecuencia de esta carencia de radiación y de absorción. Pero también puede suponerse que el recinto y los cuerpos no cesan de radiar unos hacia otros, cambiando entre sí rayos ó haces de calor de igual intensidad, y emitiendo cada cuerpo precisamente tanto calor como recibe. El físico ginebrino P. Prevost discurrió y desarrolló esta segunda explicación, generalmente admitida, la cual supone que existe igualdad entre el poder emisor y el absorbente de un mismo cuerpo. Cuando los cuerpos en presencia y las paredes del recinto tienen temperaturas iguales, los más calientes radian más calor del que reciben y se enfrían; los otros, por el contrario, se caldean absorbiendo más calor del que emiten. Este cambio hace que se igualen progresivamente las temperaturas, y que resulte en definitiva, cuando se restablece el equilibrio, una temperatura uniforme que se mantiene según acabamos de decir, en virtud de un cambio continuo de calor.

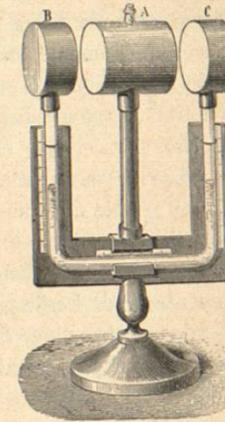


Fig. 630.—Experimento de Ritchie para demostrar la igualdad de los poderes emisor y absorbente.

También se puede demostrar de otro modo la necesidad de la igualdad de los poderes absorbente y emisor de un mismo cuerpo. Cuando un haz de calor radiante da en un punto de la superficie, se refleja con regularidad una fracción de él, otra se difunde, y el resto queda absorbido. Si al mismo tiempo un haz tiende á salir de la superficie al mismo punto, se refleja una fracción, otra se difunde, y en realidad la diferencia es la emitida. Si i é i' son las intensidades de dos haces r r' , d y d' los poderes reflectores y difusos del cuerpo considerado, tendremos $q=i(1-r-d)$ como cantidad de calor absorbido y $q'=i'(1-r'-d')$ como cantidad emitida. Refiriendo á la unidad los varios poderes de ambas expresiones, claro está que la relación entre el poder absorbente y el emisor será la de las cantidades $1-r-d$ y $1-r'-d'$ (1). Luego fá-

(1) Si se trata de cuerpos bruñidos sin poder difuso, d y d' son nulos; y lo serán también r y r' tratándose de cuerpos mates que no tengan poder reflector regular apreciable.

cilmente se comprende que las causas que hacen variar los poderes reflector y difuso exteriores hacen variar de igual modo los mismos poderes interiores. Hay, pues, proporcionalidad entre el emisor y el absorbente de un cuerpo, é igualdad entre ellos si se los refiere á la misma unidad, por ejemplo al poder emisor y al absorbente del negro de humo. La experiencia confirma la exactitud de este raciocinio, que supone por otra parte que los dos haces caloríficos son de la misma naturaleza. La Provostaye y Desains han averiguado, por ejemplo, que el poder reflector del vidrio, con respecto al calor emanado de láminas ó placas ennegrecidas á 150° ó 200° , tiene por valores 10, 11, 25, 32 con incidencias de 30° , 45° , 70° , 75° ; y como el vidrio no tiene poder difuso apreciable, resulta que los poderes absorbentes de este cuerpo, relativamente al calor procedente de dichos focos, son respectivamente iguales á 90, 89, 75, 68, valores que son precisamente los comprobados para los poderes emisivos del vidrio con las mismas inclinaciones. Tomemos de los citados físicos otro ejemplo. Los poderes emisivos á 100° de los metales bruñidos, como plata, oro ó platino, son 2,5, 3,5 y 10,5. Los reflectores para el calor emanado de focos ennegrecidos á bajas temperaturas son iguales á 98, 96 y 90, es decir, complementarios de los poderes emisivos; por consiguiente, estos son iguales á los absorbentes de los mismos cuerpos.

Ritchie discurrió un experimento merced al cual se puede comprobar la igualdad de los dos poderes en el caso del calor obscuro. En lugar de las dos bolas del termómetro diferencial de Leslie ponía dos recipientes cilíndricos B y C, entre los cuales colocaba un cilindro A lleno de agua (fig. 630). Las caras que se miraban de los recipientes estaban cubiertas, una de una hoja de metal brillante, y otra de negro de humo. El cilindro A, que podía ir á un lado ó á otro por una corredera, se acercaba ó alejaba de B y de C. Pues bien, la experiencia demostraba que si se le ponía á igual distancia de los otros dos, las columnas líquidas del termómetro permanecían al mismo nivel y en equilibrio; por consiguiente, los dos cilindros B y C absorbían la misma cantidad de calor. Llamando e y e' á los poderes emisivos de las caras del cilindro A, y a y a' á los poderes absorbentes de las caras de B y C vueltas hacia el foco, es evidente que los calores absorbidos son proporcionales á los productos $e'a$ y $e'a'$. Como, según la experiencia, $e'a = e'a'$, si tomamos por unidades de los poderes absorbente y emisor a' y e' , que son los del negro de humo, resultará $a = e$.

Para terminar este artículo, digamos algo acerca de la influencia de los colores de los cuerpos en su poder absorbente, y sobre los recientes experimentos que á ella se refieren.

Los de Franklin hicieron ya patente la influencia del calor en la absorción de las radiaciones caloríficas. El ilustre físico puso sobre nieve pedazos de telas de varios colores, y los dejó algún tiempo expuestos al calor solar. Al absorber dichos fragmentos los rayos de calor se calentaron, derritieron la nieve que tenían debajo, y se hundieron así á diferentes profundidades, tanto mayores cuanto más obscuro era su color. De esta circunstancia creyó poder sacar en consecuencia que los cuerpos de colores claros son los peores absorbentes y los de colores negros ú oscuros los mejores, lo cual justificaba una vez más la supuesta identidad de los rayos de luz y de los de calor. Pero Tyndall ha demostrado recientemente que esta identidad no es rigurosa en absoluto. Según este físico, hay que tener en cuenta la naturaleza del manantial de calor, pues los rayos de calor obscuro no actúan del mismo modo que los de calor luminoso. También se ha de tomar en consideración el poder diatermano de las sustancias. Así es que habiendo espolvoreado dos tarjetas, una con polvos blancos de alumbre y otra con polvos ne-

gros de yodo, acercándolas luego al fuego, vió que la tarjeta yodada apenas se calentaba, mientras que la otra se había puesto muy caliente; Tyndall atribuye esta diferencia á la propiedad diatérmica que el yodo posee en alto grado: el calor radiante penetra en el polvo y se refleja en las superficies límites de las moléculas, sin que éstas lo absorban. Por esto también, un fragmento de fósforo amorfo, casi negro, puesto en el foco de la luz eléctrica, no pudo inflamarse, al paso que el mismo foco ponía casi instantáneamente el platino en incandescencia. Tyndall atribuye este efecto curioso á la diatermanidad del fósforo.

La propiedad que poseen ciertas sustancias de que las atraviesen los rayos de calor sin absorberlos, ó lo que es lo mismo, sin que aumente su temperatura, nos lleva á ocuparnos del asunto de la propagación del calor radiante al través de los cuerpos, y de la medida de lo que Melloni ha llamado poder diatermano.

VII

DETERMINACIÓN DEL PODER DIATERMANO DE LOS CUERPOS. — REFRACCIÓN DEL CALOR

Esta propiedad es sobremanera marcada en la sal gema. De 1000 rayos llegados á la superficie de una lámina de esta substancia, 923 son transmitidos, los 77 rayos que no pasan se reflejan en las dos caras de la lámina; por consiguiente, ninguno de ellos queda absorbido. Este notable resultado, descubierto por Melloni, es siempre el mismo cualquiera que sea la naturaleza de los rayos de calor, y tanto si se trata de calor luminoso como del obscuro.

El alumbre y el vidrio no son diatermanos sino para las radiaciones de calor lumi-

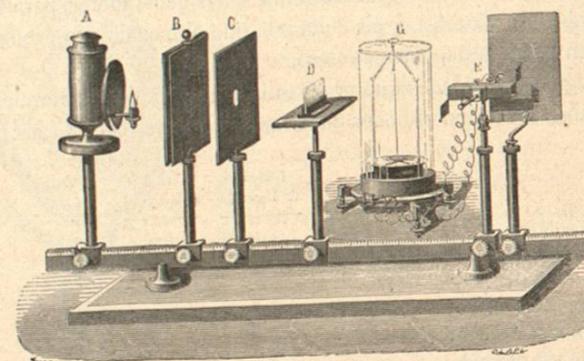


Fig. 631.—Aparato de Melloni para medir el poder diatermano de los cuerpos

noso, pero detienen los rayos del obscuro; sucediendo lo propio con el espato de Islandia, con el cristal de roca y con el hielo. El espesor de las láminas influye en la absorción así como en la transmisión de los rayos de calor; pero esta influencia no crece en proporción del espesor. Así, de 100 rayos que lleguen á dos láminas ó placas diatermanas, una de doble espesor que la otra, 62 pasan á la más delgada y 38 á la otra; una lámina cuyo espesor sea cuádruple que el de otra da paso á 55 rayos.

La comparación de los poderes diatermanos de los cuerpos se hace con el aparato de Melloni, dispuesto como se ve en la figura 631. La placa de la substancia cuyo poder diatermano se trata de averiguar está en D, sobre un soporte; y la pila termoeléct-

trica colocada en E, en la dirección del haz de calor que atraviesa la abertura practicada en la pantalla C. Empiézase por anotar la desviación de la aguja del galvanómetro producida por el haz directo sin interposición de la placa, y colocando luego esta última en su soporte, se anota también la desviación producida por el mismo haz al atravesar la placa. La relación entre ambas desviaciones da el poder diatermano de la substancia. Para estudiar la influencia de la naturaleza del foco, basta poner en lugar



Fig. 632. — Hélice de platino incandescente

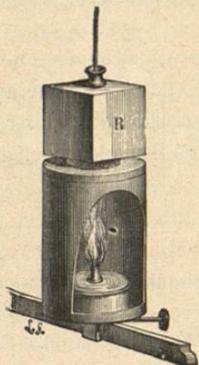


Fig. 633. — Cubo de agua hirviendo

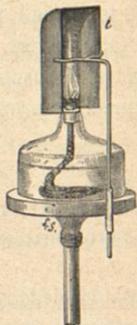


Fig. 634. — Placa de cobre ennegrecida calentada á 400°

de la lámpara Locatelli otros generadores de calor, por ejemplo un cubo de agua hirviendo, una placa de cobre ennegrecida ó una hélice de platino incandescente, como se ve en las figuras 632, 633 y 634. En los experimentos que Melloni hizo acerca de este asunto, tuvo cuidado de colocar estos diferentes generadores, para hacer los resultados comparables, á tales distancias de la pila que el haz directo produjo las mismas desviaciones en la aguja del galvanómetro.

He aquí algunas cantidades que prueban la influencia de la naturaleza del foco de calor en la transmisión ó en el poder diatermano de varias substancias:

	Lámpara de Locatelli	Cubo de agua á 100°	Cobre á 400°	Platino incandescente
Radiación directa.	101	100	100	100
Sal gema incolora.	92	92	92	92
Espato de Islandia.	39	28	6	0
Cristal de lunas.	39	24	6	0
Cristal de roca incoloro.	38	28	6	0
Cristal de roca ahumado.	37	28	6	0
Alumbre.	9	2	0	0
Hielo muy puro.	6	0	0	0
Sulfato de cal.	14	5	0	0

Se ha deducido de estos experimentos que, así como hay varios rayos de luz, hay también varios rayos de calor que los cuerpos absorben y transmiten en diferentes proporciones, casi del mismo modo que los cuerpos transparentes absorben ó dejan pasar con preferencia tales ó cuales colores. Melloni ha empleado, para expresar esta propiedad, la palabra *termocroísmo*, formada de otras dos que significan *calor* y *coloración*. Antes de hacer un resumen de los principales fenómenos que constituyen esta importante parte de la teoría del calor radiante, entremos en algunos detalles acerca de una

propiedad que es asimismo común á la luz y al calor: nos referimos á la desviación que sufren los rayos caloríficos al cambiar de medio.

Los rayos de calor que penetran en un medio diatermano experimentan efectivamente en él un cambio de dirección que hemos estudiado ya al tratar de la luz con el nombre de *refracción*. Si el haz calorífico cae perpendicularmente sobre la superficie del medio, no hay desviación; pero con cualquier otra incidencia el haz se desvía, y se aproxima á la perpendicular al punto de incidencia cuando pasa de un medio á otro de mayor densidad. En una palabra, el enunciado de las leyes de la refracción del calor es el mismo que el de las de la refracción de la luz. Así se demuestra prácticamente empleando al efecto lentes esféricas convergentes para concentrar los rayos caloríficos que acompañan á los luminosos del sol. Entonces se ve que en el foco, ó sea donde la luz es más intensa, es también más fuerte el calor, pudiendo cualquiera comprobar la exactitud de este hecho encendiendo con un cristal de aumento una substancia que sea un tanto inflamable á los rayos del sol, como yesca, tela, madera, papel, etc. (fig. 635). Verdad es que aquí se trata de generadores de calor luminoso; pero Melloni ha demostrado, valiéndose de prismas y lentes de sal gema— substancia que absorbe menos calor que cualquier otra,— que el calor obscuro se refracta del mismo modo que el emanado de focos incandescentes.

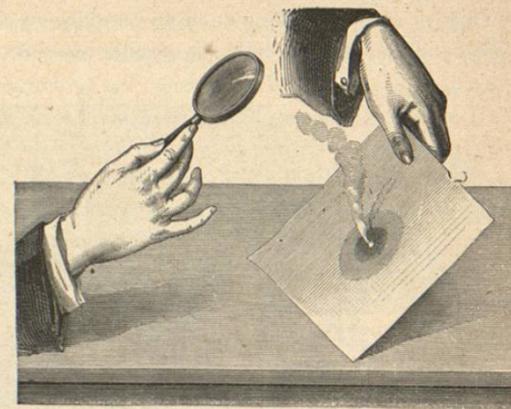


Fig. 635. — Refracción del calor

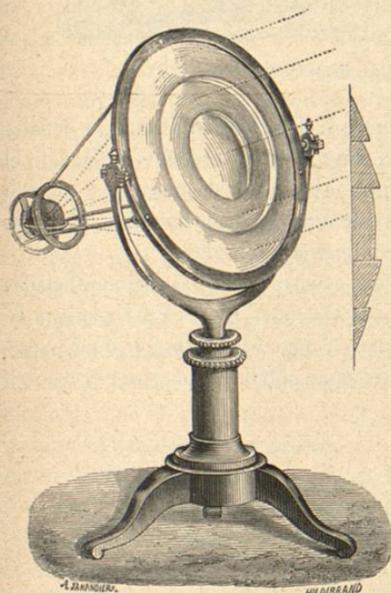


Fig. 636. — Lente de escalones

Hase utilizado la refracción del calor, lo propio que la reflexión, para producir un calor muy intenso mediante la concentración de los rayos caloríficos del sol, dándose el nombre de *crystal ardiente* ó *ustorio* á toda lente construída con tal objeto con una substancia diatermana cualquiera. La potencia de un cristal ardiente es tanto mayor cuanto más grande sea su abertura, y de mayor longitud los radios de las esferas á los cuales pertenecen las superficies de la lente. Tschirnhausen, célebre por la construcción de espejos ustorios de gran potencia, hizo construir también vidrios de casi un metro de diámetro con los cuales consiguió fundir metales y vitrificar materias minerales. Buffón obtuvo los mismos resultados con una lente de escalones; ya hemos visto que ésta es un vidrio con

una de sus superficies plana y la otra tallada en coronas concéntricas. La curvatura de cada una de estas coronas está calculada de suerte que los rayos solares se encuentran en un mismo punto de la superficie (fig. 636). Siendo el espesor del vidrio de un aparato de esta clase mucho menor que el de una lente ordinaria de la misma abertura, hay menos calor absorbido, y el efecto calorífico en el foco común es más intenso.

Se ha ideado también construir cristales ustorios con varios líquidos; la lente estaba

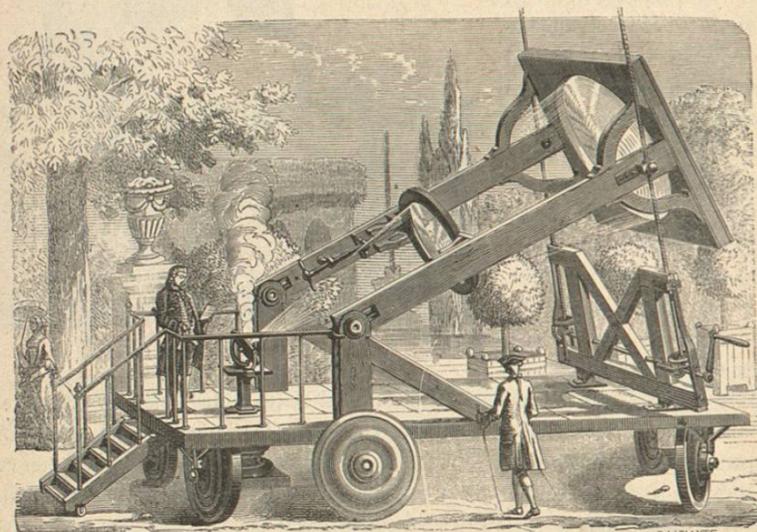


Fig. 637. — Experimento del vidrio ardiente de Bernières

formada por dos vidrios convexos que dejaban entre sí una cavidad, la cual se llenaba del líquido que se quería emplear. Cítase en esta clase el cristal ardiente construido el siglo pasado por Bernières y Trudaine: tenía 4 pies (1^m,33) de diámetro, y 8 pies de radio de curvatura. Llenándolo de esencia de trementina y exponiéndolo a los rayos solares, se obtuvieron efectos caloríficos de extraordinaria intensidad.

Todo el mundo ha oído contar que los marinos, en sus viajes a las regiones heladas de los polos, se han valido de lentes de hielo para encender fuego. En Inglaterra se han hecho con una lente de hielo de gran diámetro (3 metros) interesantísimos experimentos, que han demostrado la posibilidad de inflamar pólvora y papel en el foco de esta lente de nuevo género.

VIII

ANÁLISIS DE LAS RADIACIONES CALORÍFICAS. — TERMOCROSIS

Al estudiar las radiaciones solares hemos visto que, además de la propiedad que tienen de ser luminosas, es decir, de afectar la retina suscitando la doble sensación de la luz y del color, gozan también de otras dos propiedades, la de emitir calor y la de ejercer una acción química. Sabemos además que, aparte de los rayos que componen el espectro luminoso, la radiación solar comprende toda una serie de rayos menos refrangibles, cuyo conjunto forma un espectro oscuro y calorífico de extensión no menor

que la del espectro luminoso. Por último, otra tercera serie de rayos más refrangibles constituye la parte exclusivamente química de esta radiación. Los demás focos luminosos, analizados del mismo modo con el prisma, presentan análoga constitución, aunque distinguiéndose unos de otros por la extensión de sus espectros, por la intensidad relativa de las radiaciones de varias clases, y finalmente por los espacios vacíos que la observación ha notado en ellos. Nos ocuparemos aquí únicamente de lo que atañe a las radiaciones caloríficas, y empezaremos por recordar, si bien completándolo, lo que se ha dicho en el primer tomo del MUNDO FÍSICO acerca de este asunto.

Una de las primeras cuestiones que los físicos se han planteado en presencia del espectro solar, es la de la distribución del calor en sus diferentes partes. Al principio se creyó naturalmente que las intensidades de los rayos de color estaban repartidas con igualdad por lo que respecta a la luz y al calor, y los primeros experimentos, hechos por Landriani, Rochón y Sennebie, parecieron confirmarlo así; estos físicos observaron el máximo de temperatura en el amarillo, es decir, en la parte más brillante del espectro. En 1800, W. Herschel descubrió la existencia de rayos caloríficos oscuros, de menor refrangibilidad que los del extremo rojo; y halló el máximo de temperatura entre ellos, cerca del límite inferior del espectro. Estos experimentos, repetidos por Malus y Bérard en presencia de Berthollet, confirmaron el descubrimiento del ilustre astrónomo, pero difirieron de los de éste en lo que respecta a la posición del máximo, pues lo encontraron en el límite rojo y no en la parte oscura del espectro. Leslie, Ritter, Davy y otros observadores emprendieron las mismas indagaciones, sin dar con resultados más concordantes que los de sus predecesores. Seebeck hizo ver entonces (1828) que todas las determinaciones del máximo de temperatura eran verdaderas, y que las divergencias procedían de la naturaleza del prisma empleado para descomponer los rayos solares. Y en efecto, habiendo estudiado dicho físico la marcha comparativa del termómetro en espectros formados por prismas diferentes, de agua, de ácido sulfúrico, de alcohol, de crown-glas y de flint-glass, observó que la posición del máximo correspondía al amarillo con el prisma de agua, según lo habían observado Rochón y Sennebie, al anaranjado con el de alcohol y el de ácido sulfúrico, al extremo rojo en la posición indicada por Malus y Bérard con un prisma de crown-glass ó de ciertas especies de flint-glass, al paso que, empleando el flint-glass inglés, el máximo estaba en la zona marcada por los experimentos de Herschel.

Los de Melloni (1832) completaron la demostración de Seebeck y patentizaron la desigual acción absorbente de los varios medios sobre los diferentes rayos que componen el calor solar. El eminente físico se propuso averiguar “por qué las substancias incoloras, que no producen variación alguna en las intensidades relativas de los rayos luminosos, han de dar tan grandes diferencias con respecto al calor.” “He aquí precisamente, dice, la cuestión que traté de resolver hace unos doce años en virtud de una serie de experimentos cuyos primeros resultados comuniqué a la Academia de Ciencias por mediación de Arago. Habiendo tomado las temperaturas de las principales bandas coloradas de un espectro dado por un prisma de crown-glass, y comprobado que el *máximum* de temperatura estaba en la extremidad del rojo, proseguí explorando con un termomultiplicador rectilíneo la distribución del calor más allá de dicha extremidad y anoté la seis bandas inferiores de calor oscuro isotermias con los seis colores superiores del espectro; en seguida interpuse una capa de agua de cuatro milímetros de espesor contenida entre dos placas paralelas de vidrio, de modo que los rayos emergentes del prisma se transmitiesen al través de dicha capa en una dirección que no se