

Un botón de metal frotado con un paño ó con cualquier otro cuerpo sólido se calienta hasta el punto de quemar: los muchachos conocen perfectamente este medio de entretenimiento ó distracción. El roce de una sierra contra la madera que divide, el de una navaja ó un cuchillo que se afila con una piedra, el de la lima con el metal que desgasta, elevan la temperatura de los objetos sometidos á este movimiento violento y cuyas moléculas sufren por tal manera ruda agitación. Las chispas que las herraduras de los caballos hacen brotar de las piedras de la calle, las que produce el roce del acero contra la piedra del amolador, las del eslabón que inflama la yesca al chocar contra el pedernal, proceden de la alta temperatura desarrollada por el frotamiento; desprendense partículas metálicas muy tenues, y el calor producido hasta para poner esas pequeñas masas en estado de incandescencia (1).

Si se frota uno contra otro dos pedazos de madera bien secos, se calientan y sale humo de ellos; y si se ha de dar crédito á los relatos de los viajeros, los salvajes consiguen encender fuego por este medio. Los torneros hacen esos filetes negros que á veces se ven en los objetos labrados por ellos, apretando con fuerza un pedazo de madera afilado sobre el punto que quieren ennegrecer: el caldeo que resulta de esta presión, unido al rápido movimiento de rotación del torno, es bastante fuerte para carbonizar la madera en el contorno del objeto. Los muñones de las máquinas, los ejes de los carruajes, de los vagones de los ferrocarriles, se calientan sobremanera á causa del roce que resulta de una rotación rápida y prolongada, y hasta se prenderían fuego si no se tuviese cuidado de lubricarlos engrasándolos.

Como ejemplo de la gran cantidad de calor que puede desarrollar el frotamiento de dos cuerpos sólidos uno contra otro, es digno de mención el célebre experimento hecho por Rumford en 1798, y que se le ocurrió al ilustre físico mientras vigilaba en Munich la perforación de cañones. Habiéndole llamado la atención la extraordinaria cantidad de calor producida por esta operación, quiso medirla con la posible exactitud, y á este fin puso un cilindro metálico, que se debía perforar, en una caja de madera llena de agua cuya temperatura la marcaba un termómetro metido en ella. A la hora de haber empezado el frotamiento del taladro contra el cilindro, la temperatura del agua, que al principio era de 16°, subió á 46°, á las dos horas á 81°, y por último, media hora después entraba en plena ebullición. "Sería difícil, dice Rumford, expresar la sorpresa y el asombro retratados en el rostro de los circunstantes al ver tan gran cantidad de agua (unos diez litros) que se calentaba y hervía sin fuego alguno."

Después de mencionar Tyndall, en sus *Lecciones sobre el calor*, el célebre experimento de Rumford, hace observar á sus oyentes que carece de tiempo para repetirlo en sus condiciones primitivas; "pero, añade, puedo mostraros en substancia el mismo efecto en dos minutos y medio. Aquí tengo un tubo de cobre, de 10 centímetros de largo por 2 de diámetro: está tapado en el fondo y le atornillo verticalmente sobre una mesa con rueda y manubrio para hacerle girar rápidamente. Tengo además dos pedazos de madera de encina reunidos por una charnela y en los cuales hay practicadas dos ranuras semicirculares, entre las que ha de pasar el tubo de cobre. Estos pedazos de madera forman una especie de pinzas, y apretando poco á poco, puedo producir un roce entre la madera y el tubo de cobre puesto en rotación (fig. 668). Lleno casi el

(1) \*Antes de la invención de las lámparas de seguridad de Davy, el gas grisú era la gran plaga de las hulleras, quedando muchas minas sin explotar á causa de la presencia de tan invencible enemigo. Como sólo se podían usar las lámparas ordinarias, se había ideado alumbrar las minas con una rueda de acero que giraba contra una piedra de chispa." (Si nonin, *La vida subterránea.*)

tubo de agua fresca, lo tapo con un tapón de corcho para impedir que el líquido se escape y me salpique, y pongo el aparato en movimiento. Mientras éste continúa, va subiendo la temperatura del agua, y aunque aún no hayan transcurrido los dos minutos y medio, los que están cerca del aparato pueden ver cómo el vapor se escapa por el tapón. Hoy he hecho tres ó cuatro veces que la fuerza del vapor lo despida hasta siete metros de altura, y así vuelve á suceder ahora; el vapor sigue al tapón, y al precipitarse forma esa nubecilla que veis en la atmósfera."

La frotación de los sólidos contra los líquidos y los gases desarrolla también calor; un experimento de Joule, del cual volveremos á ocuparnos, ha hecho patente el caldeo de una masa líquida, agitada por unas paletas metálicas que giraban alrededor de un eje. Por espacio de mucho tiempo se ha atribuido la incandescencia de los aerolitos que atraviesan con gran velocidad la envolvente aérea de nuestro globo al frotamiento contra las capas de la atmósfera; pero Regnault ha demostrado que tiene por causa otra acción mecánica, la compresión. La elevación de temperatura originada por el frotamiento de una masa gaseosa contra un cuerpo sólido está puesta fuera de duda por un experimento muy sencillo que Tyndall ha hecho en sus conferencias sobre el calor; con un fuelle lanzaba una corriente de aire sobre una de las caras de la pila termoeléctrica, y al punto se desviaba la aguja del galvanómetro, indicando el sentido de su desviación que el aire puesto en movimiento había calentado la cara de la pila.

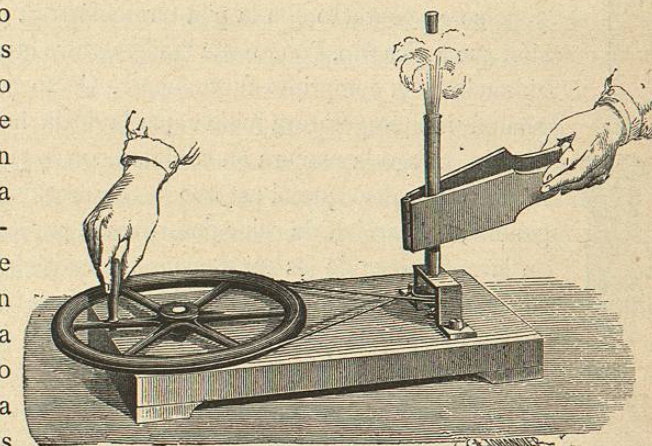


Fig. 668.—Experimento de Tyndall. Calor desarrollado por el roce

Terminemos esta enumeración de fenómenos, todos los cuales demuestran la generación del calor por una fuerza mecánica, mencionando un experimento importante de Davy, el cual, frotando entre sí dos pedazos de cristal bien secos, consiguió fundir cierta cantidad de agua sólida. Lo que da mayor interés á este experimento es que, para explicar el desprendimiento de calor que produce el roce, los partidarios de la materialidad del calor, los que lo consideraban como un fluido contenido en los intersticios de las moléculas de los cuerpos, razonaban de este modo: "El roce cambia la capacidad calorífica de los diferentes cuerpos; disminuye esta capacidad, de suerte que el calor almacenado antes de la acción mecánica no puede permanecer por completo en el cuerpo después del cambio molecular de que se trata, y este calor es el que se desarrolla por frotamiento, y de latente que era se torna perceptible." Pero el experimento de Davy hace imposible esta explicación. Y en efecto, recordemos que el agua tiene doble capacidad calorífica que el hielo; después de derretir cierta cantidad de éste, el agua resultante contiene más calor latente que antes; no se podría, pues, comprender de dónde procede el calor que ha servido para producir el paso del hielo al estado líquido.

Y por último, dedúcese de aquí que la fuerza mecánica que interviene en el roce



es la que se transforma en calor, es decir, en una fuerza de otra clase: hay transformación de un movimiento visible en otro molecular ó atómico.

La percusión y la compresión desarrollan calor lo mismo que el frotamiento. Cuando se mete un clavo á martillazos en un madero, no tan sólo se calienta, efecto que puede resultar en parte del frotamiento, sino que en el martillo mismo (si su masa no es muy considerable comparada con la del clavo) se nota cierta elevación de temperatura. Una barra de hierro, batida á golpes repetidos, puede calentarse hasta ponerse candente.

Los discos de oro, plata ó cobre, comprimidos bajo el balancín que sirve para acuñar moneda, se calientan, pero la elevación de la temperatura no es la misma en todos los metales. Un curioso experimento de Tyndall hace ver el desarrollo de calor que resulta de la compresión de la madera. "Aquí tengo, dice, un pedazo de abeto, á una temperatura inferior á la de esta sala, y que al ponerse en contacto con la pila termoeléctrica produce en la aguja la desviación que indica frío. Pongo esta madera entre las placas de una pequeña prensa hidráulica y la comprimo fuertemente. Como podéis observar, dichas placas están á una temperatura menor que la de la habitación. Después de la compresión, pongo la madera en contacto con la pila: ya veis el efecto. El galvanómetro nos dice que el acto de la compresión ha desarrollado calor." Por lo general, la cantidad de calor desarrollada por las acciones mecánicas depende de la naturaleza de las substancias sometidas á estas acciones, del estado de su superficie y de la presión ejercida.

La compresibilidad de los líquidos es muy débil; sin embargo, ejerciendo sobre masas líquidas presiones considerables, como de 30 á 40 atmósferas, se ha podido notar desprendimiento de calor. La compresión de los gases puede ejercerse entre límites sumamente extensos; así es que se obtiene una elevación de temperatura bastante considerable cuando se comprime bruscamente una masa gaseosa en un espacio limitado. Este hecho sirve de principio al *eslabón de aire ó neumático* (fig. 669). Para que se inflame el pedazo de yesca fijo al extremo del émbolo, se ha de reducir el aire interior por compresión á la duodécima parte de su volumen. La elevación de temperatura que resulta de esta disminución brusca del volumen del aire, es de unos 500°, al paso que bastan 300° para que se encienda la yesca: una notable porción del calor desarrollado la absorben las paredes del instrumento y el émbolo, cuya masa es mucho mayor que la del aire interior.



Fig. 669. --  
Eslabón  
de aire.

La expansión del gas produce el efecto contrario de la compresión, es decir, una baja de temperatura; hemos visto gas ácido carbónico, comprimido primeramente á 40 ó 50 atmósferas en un recipiente, y liquidado después, enfriarse de tal modo por la dilatación que produce su paso al aire libre, que pasa del estado líquido al sólido en forma de copos, blancos como la nieve. Su temperatura desciende entonces hasta 100° bajo cero.

Ocurre el mismo fenómeno de enfriamiento cuando el vapor de agua sale á chorros de una caldera de alta presión, por ejemplo de la válvula de la marmita de Papin. Su dilatación repentina va acompañada de un enfriamiento que lo condensa en forma de niebla espesa, y metiendo la mano en el chorro de vapor, se experimenta una sensación de frío que al pronto sorprende. Pero hay que guardarse de hacer esta prueba cuando el vapor contenido en la caldera está á la presión atmosférica ordinaria, porque, como entonces conserva la temperatura de 100°, se abrasaría la mano el que la metiera en él.

## CAPITULO XVI

## NOCIONES DE TERMODINÁMICA

## I

## HIPÓTESIS ANTIGUAS SOBRE LA NATURALEZA DEL CALOR

Hemos llegado al término de nuestra descripción de los fenómenos y de las leyes del calor. Dejando á un lado, por exigirlo así nuestro plan, todo cuanto se refiere á la parte matemática de esta rama de la física, para concretarnos á la demostración experimental de las leyes, hemos podido pasar revista á las principales propiedades que se manifiestan en los cuerpos sometidos á la acción del agente calorífico, propiedades que, en último análisis, se reducen á dos: variaciones de volumen y cambios de estado. Agregándoles las leyes que caracterizan los dos modos de propagación del calor por vía de radiación y de conductibilidad, así como el estudio de los principales focos naturales ó artificiales de calor, ha quedado completa la exposición elemental que nos habíamos propuesto.

Si resumimos de este modo en pocas líneas la materia de los capítulos que preceden, es para hacer observar al lector que en ningún caso nos ha sido necesario formular ninguna hipótesis sobre la naturaleza del calor. La medida de las dilataciones de los sólidos, de los líquidos y de los gases, los procedimientos termométricos que de ella se deducen son muy suficientes para definir el estado térmico de un cuerpo ó de un medio, y para conocer, consultando los resultados de la experiencia, las leyes del equilibrio de temperatura en un sistema cualquiera. Estas leyes pueden ser muy complicadas, mas para establecerlas no es necesario saber lo que es el calor en sí. Lo propio sucede con todo cuanto concierne á los cambios de estado, fenómenos de transición ó de rotura de equilibrio entre las moléculas de los cuerpos, especie de puntos críticos en dependencia íntima con las variaciones aisladas ó simultáneas de presión y de temperatura. Tampoco ha sido indispensable el conocimiento de la naturaleza del calor para determinar las cantidades del que se absorbe ó desprende en tal ó cual fenómeno, como caldeo, enfriamiento, licuefacción, solidificación, combustión, etc. Al llegar al estudio de los manantiales de calor es cuando únicamente nos vemos inducidos á plantear, para ir aún más allá, el problema de la causa del calor, de la naturaleza física ó mecánica del agente que adquiere nacimiento en la combinación química, en el roce, la percusión, etc.

Sin embargo, en virtud de una tendencia puramente irresistible del espíritu humano, los físicos, lo propio que los filósofos de todos los tiempos, han agitado, ya que no resuelto, el problema en cuestión. Siempre ha sucedido lo mismo, sin gran provecho para la ciencia. Buscar la causa de las cosas antes de haber reunido y clasificado los hechos, de haber interrogado la naturaleza por el método riguroso de la observación experimental y de formular las leyes de los fenómenos, leyes que no se pueden hacer patentes sino á fuerza de mediciones continuas y precisas y de múltiples verificaciones,