

Pouillet había sustituido el platino al vidrio, y su pirómetro de aire, representado en la figura 555, tenía por principio la medida del volumen variable del aire dilatado á presión constante. Este físico ha determinado en grados centígrados las temperaturas correspondientes á los distintos colores que toman los gases inalterables cuando se los calienta en una mufla cuyo fuego se ha regulado, ó en una fragua. Véanse los resultados obtenidos:

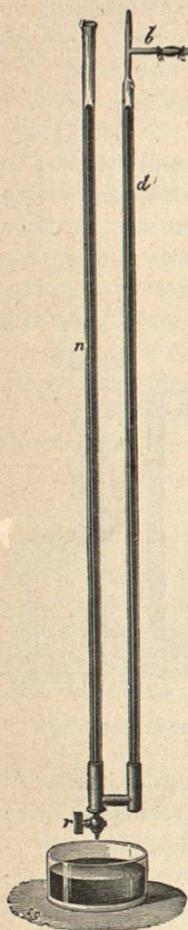


Fig. 555.—Pirómetro de aire, de Pouillet

Este físico ha determinado en grados centígrados las temperaturas correspondientes á los distintos colores que toman los gases inalterables cuando se los calienta en una mufla cuyo fuego se ha regulado, ó en una fragua. Véanse los resultados obtenidos:

Colores de los metales incandescentes	Temperaturas correspondientes
Rojo naciente.	525°
Rojo obscuro.	700°
Cereza naciente.	800°
Cereza.	900°
Cereza claro.	1000°
Anaranjado obscuro.	1100°
Anaranjado claro.	1200°
Blanco.	1300°
Blanco deslumbrador (la mayor temperatura del fuego de fragua).	1500 á 1600°

Por desgracia el platino tiene graves defectos que han debido alterar la exactitud de las indicaciones del pirómetro; en primer lugar condensa aire en su superficie, aire que no se desprende sino á partir de 100°; pero este defecto se puede corregir, para lo cual basta no medir el volumen de aire sino más allá de 100°. Además, á una temperatura elevada el platino es permeable á los gases, y en especial al hidrógeno, de suerte que estando el aparato en un hornillo y sobre una llama que contenga hidrógeno, este gas penetra por endósmosis en el depósito, y combinándose con el oxígeno del aire, forma agua y altera las indicaciones del pirómetro disminuyendo la masa de aire que contiene y que debería ser constante (1).

Sainte-Claire Deville ha reemplazado el platino con la porcelana de Bayeux, que es impermeable y enteramente rígida á las altas temperaturas que se proponía medir. Y en efecto, los depósitos de dicha substancia conservaban el vacío absoluto á semejante temperatura, aun distando mucho de hallarse en su punto de fusión ó de reblandecimiento. El citado físico ha construído pirómetros en los que introducía, en lugar de aire seco, vapor de yodo, elegido en razón de su gran densidad.

(1) Débese á H. Sainte-Claire Deville y Troost la comprobación de este fenómeno. Después de reconocer la imposibilidad de construir pirómetros de gas con platino cuando se les ha de poner en contacto con los gases reductores ó el hidrógeno de un hornillo, dichos físicos añaden: "La porosidad del platino le impide tal vez conservar los gases á elevada temperatura y á alta presión; pero sobre todo la endósmosis obliga, á pesar de una presión contraria, á los gases del hogar á ponerse en contacto con el aire del pirómetro. Entonces se forma agua, con disminución de volumen debida á la desaparición del oxígeno." Así pues, la masa de gas que debería ser constante en el pirómetro de platino varía, y los experimentos prueban que esta disminución puede ser hasta de 16 por 100.

Ya hemos visto que la elección del punto fijo del hielo fundente para cero de la escala de las temperaturas ha sido puramente arbitraria, aunque justificada por fundados motivos de comodidad y de conveniencia. Sabemos que este punto no es, en modo alguno, como suelen creerlo algunas personas enteramente extrañas á las más simples nociones de la ciencia, la separación entre dos estados opuestos de la materia, el calor y el frío. Un cuerpo que está á una temperatura inferior á 0° conserva una cantidad de calor real y positiva, como lo prueban los enfriamientos que puede experimentar y las contracciones de volumen á ellos correspondientes. Sin embargo, hay lugar á dudar de si estas disminuciones de calor pueden continuar indefinidamente, ó si por lo menos no tienden hacia un límite tal que, si fuese posible llegar á él, la cantidad de calor del cuerpo sería ya nula. En una palabra; se puede plantear la cuestión en estos términos: ¿hay ó no un *cero absoluto de temperatura*? Esta cuestión, abordada de diferentes modos, ha sido resuelta afirmativamente, aun cuando no se haya podido comprobar prácticamente su solución.

Suponiendo que hay *gases perfectos*, es decir, gases cuyos volúmenes siguen rigurosamente la ley de Mariotte cuando la presión varía, y que se dilatan con uniformidad cualquiera que sea su temperatura, y considerando el aire como uno de ellos, se ha visto que el coeficiente de dilatación es sensiblemente igual á la fracción $\frac{1}{273}$ para una variación de temperatura de un grado centígrado. Consideremos un volumen de aire igual á la unidad á la temperatura del cero centígrado; elevado á otra cualquiera t , dicho volumen será $1 + \frac{t}{273}$. Calentado, por ejemplo, á $+273^\circ$, el volumen del aire en cuestión será 2, ó duplicará. Pero si se baja la temperatura bajo 0°, á cada grado menos perderá $\frac{1}{273}$ de su valor, siendo claro que si esta contracción pudiera continuar hasta -273° , sería igual al volumen mismo, y el resultado la anulación del volumen. Nada prueba en efecto que el aire pudiera sufrir un enfriamiento tan considerable sin cambiar de estado, sin licuarse y hasta solidificarse (1). Sin embargo, este límite inferior de temperatura es lo que se llama *cero absoluto*.

Obtiénese el mismo resultado por la consideración de las presiones. Llamando P á la fuerza elástica del aire á la temperatura de cero centígrado, t á cualquier otra temperatura y ocupando el gas el mismo volumen, la fuerza elástica p ó su presión á volumen constante la dará la relación $p = P(1 + \alpha t)$ ó bien $p = P(1 + \frac{t}{273})$. Luego es evidente que si se da á t el valor -273° , el segundo miembro de la igualdad se reduce á 0. En una palabra, á dicha temperatura de 273 grados centígrados bajo el cero ordinario ó de la fusión del hielo, la presión ó la fuerza elástica del gas sería nula. Pero ya veremos, según las ideas que prevalecen en la ciencia sobre la constitución de los gases, que su fuerza elástica, ó lo que es lo mismo, su fuerza viva molecular, es proporcional á la intensidad del calor y que la mide. Por consiguiente, siendo nula esta fuerza viva á -273° , el calor sería nulo también. En una palabra, se habría llegado al *cero absoluto*. Por lo demás, estas sólo son condiciones teóricas. En la realidad física, es probable que el aire y los demás gases que se acercan al estado *gaseoso perfecto* no

(1) Pronto veremos que los dos gases que constituyen el aire, el oxígeno y el nitrógeno, han podido licuarse. El enfriamiento necesario no ha excedido de 140 grados bajo cero: pero al mismo tiempo los gases sufrían una compresión de mayor ó menor número de atmósferas.

tienen á todas las temperaturas las propiedades que se han observado en los límites de nuestros experimentos. Enfriándolos indefinidamente, se acabaría por licuarlos, y quizás por solidificarlos, como hemos dicho, antes de llegar á -273° . ¿Hay en el universo un punto en que haga un frío tan intenso? ¿Hay alguna parte de la materia enteramente privada de calor ó cuyos átomos constitutivos sean inertes? Y en la suposición de que se realice tal hipótesis, ¿cómo y por qué propiedades, bajo qué forma fenomenal se puede manifestar la materia de que hablamos? Difícil es, según creemos, formarse una idea de ello.

IV

MEDIDA DE LA DENSIDAD DE LOS GASES

Al describir en su lugar oportuno los varios procedimientos que sirven para determinar las densidades de los cuerpos, sólo hablamos de los sólidos y de los líquidos, sin decir nada acerca de los gases; y es que para comprender los métodos relativos á esta última determinación, era indispensable conocer las leyes de su dilatación. Ha llegado el momento en que podamos abordar útilmente esta delicada cuestión.

La densidad de un cuerpo sólido ó líquido no varía sino con la temperatura. Como se ha convenido en tomar por unidad la mayor condensación del agua (á $+4^{\circ}$) y en calcular la del cuerpo á 0° , y como, por otra parte, se opera generalmente á una temperatura cualquiera, claro está que habrá que corregir los defectos de temperatura en los resultados obtenidos. Para esto hay tablas en que al lado de las cifras que representan la dilatación del agua de grado en grado, están inscritas las densidades correspondientes del mismo líquido. Los procedimientos que hemos descrito, por ejemplo el de la balanza hidrostática, dan la densidad del cuerpo á la temperatura del experimento. Para conocer la densidad á 0° , bastará recordar que las densidades á dos temperaturas diferentes están en razón inversa de los volúmenes.

Mas, con respecto á los gases, la cuestión de las densidades se complica con un nuevo elemento, que es el de la presión. Por otra parte, la densidad de un gas no se refiere ya á la del agua, de la cual no es más que una fracción sobrado mínima; el aire es el que sirve de término de comparación y el que se emplea en los experimentos. Lo que se llama *densidad* de un gas no es otra cosa sino la relación entre el peso de un volumen determinado de este gas y el de un volumen igual de aire seco, tomado uno y otro á 0° y á la presión normal de 760 milímetros.

Parece, según esta definición, que bastaría hacer dos pesadas, una del aire en un globo de vidrio por ejemplo, y otra del gas en el mismo globo. Este método, empleado por Biot y Arago, requiere muchas precauciones para evitar las causas de error. Hay que pesar ante todo con cuidado el globo vacío, que debe estar enteramente exento de todo vestigio de aire ó de humedad; en seguida introducir en él sucesivamente aire seco, luego el gas cuya densidad se quiere averiguar, midiendo con la mayor exactitud posible la temperatura del gas y su presión; y por último, tomar nota de la presión atmosférica por cada una de las pesadas sucesivas, puesto que éstas se hacen al aire libre y se las debe corregir del peso del aire desalojado (principio de Arquímedes). Este método, muy sencillo en teoría, es harto complicado en realidad. Regnault ha discurrido otro, que consiste en eliminar las principales causas de error.

Con tal objeto, escogió dos globos de la misma clase de vidrio, de unos 10 litros de capacidad cada uno, y provistos de armaduras con sus llaves. Los llenó de agua y

los suspendió del platillo de una fuerte balanza hidrostática, equilibrándolos. Metidos ambos en tal estado en una cubeta de agua, experimentaron empujes desiguales á causa de no ser idéntico su volumen. Rompióse el equilibrio durante la inmersión, y para restablecerlo fué preciso añadir cierto peso en el lado del mayor. Haciendo un tubo de vidrio que pesara precisamente esta diferencia, y enganchándolo al globo más pequeño obtuvo dos recipientes tan iguales como le fué posible en su volumen exterior, y que por lo tanto debían experimentar los mismos empujes, mientras durasen los experimentos, cualesquiera que fuesen la presión barométrica, el estado higrométrico y la temperatura del aire. Preparados así los dos globos, los colgó de los dos platillos de una balanza, cerrados y equilibrados. Es evidente que tomando uno de ellos para hacer el vacío é introduciendo sucesivamente en él aire ó algún gas, la disminución ó el aumento de peso que resultaban procedían únicamente del gas extraído ó del introducido, y que ya no era menester tener en cuenta las pérdidas de peso de los globos al aire por cuanto eran iguales. Para evitar las correcciones relativas á la temperatura del gas interior, Regnault hizo de modo que el gas y el aire introducido se pesasen á la temperatura del hielo fundente. Empezaba por hacer muchas veces el vacío en el globo que servía de recipiente, haciendo pasar siempre el gas por tubos de desecación. El manómetro de la máquina neumática marcaba la presión interior del gas que quedaba cuando había hecho el vacío. Durante esta operación, el globo estaba colocado en una vasija de zinc llena de hielo; luego se le secaba y se le colocaba en un platillo de la balanza; el otro platillo sustentaba el segundo globo, y se establecía el equilibrio con perdigones. Llevando entonces de nuevo el globo al hielo y abriendo la llave, se dejaba penetrar el gas hasta que su presión total fuese igual á la de la atmósfera. Cerrando la llave y pesando el globo, se tenía el peso de un volumen de gas á 0° , volumen igual á la capacidad del globo á esta misma temperatura. Por último, una tercera operación análoga daba el peso de un volumen semejante de aire seco á 0° y también á una presión total que se medía con un manómetro de aire libre, el cual comunicaba con el globo.

He aquí las densidades de algunos gases obtenidas con estos procedimientos:

Gases	Densidades	Peso del litro en gramos	Observadores
Aire.	1,0000	1,2932	"
Oxígeno.	1,1056	1,4298	Regnault
Nitrógeno.	0,9714	1,2561	Regnault
Hidrógeno.	0,0693	0,08958	Regnault
Acido carbónico.	1,5290	1,9774	Regnault
Amoniaco.	0,5967	0,7616	Biot y Arago
Acido sulfhídrico.	1,1912	1,5404	Gay-Lussac y Thenard
Acido clorhídrico.	1,2472	1,5891	Biot y Arago
Cloro.	2,4700 (1)	3,1937	Gay-Lussac y Thenard
Acido sulfuroso.	2,2474	2,8060	Gay-Lussac
Cianógeno.	1,8064	2,3302	Gay-Lussac
Protóxido de ázoe.	1,5270	1,9710	Thomson

Las cifras de la tercera columna están deducidas del peso del litro de aire atmosférico, hallado por Regnault, á la temperatura del hielo fundente y á la presión de 760 milímetros. Este peso es igual á 1 gr, 293187, es decir, á la 773.^a parte del

(1) A la temperatura ordinaria.

del agua destilada. Biot y Arago habían hallado 1 gr,299, valor un poco mayor. Como la intensidad de la gravedad varía según la altitud y la latitud del lugar, la presión de 760 milímetros tiene asimismo un valor variable.

Terminemos este artículo recordando que, entre el procedimiento adoptado por Biot y Arago y el de Regnault, Dumas y Boussingault habían adoptado también en 1860 un método muy exacto para obtener las densidades de los gases evitando las causas de error que hemos indicado. Dichos físicos hallaron también como densidad del oxígeno 1,1057, del nitrógeno 0,972 y del hidrógeno 0,0693, cifras que son casi idénticamente las mismas que dió cinco años después el método perfeccionado de Regnault.

CAPITULO VI

CAMBIOS DE ESTADO DE LOS CUERPOS. — FUSIÓN Y SOLIDIFICACIÓN

I

LOS TRES ESTADOS. — ¿PUEDEN TOMAR TODOS LOS CUERPOS EL ESTADO SÓLIDO, EL LÍQUIDO Y EL GASEOSO?

La acción del calor, tal como la hemos estudiado hasta aquí, se ha empleado enteramente al parecer en aumentar el volumen de los cuerpos que la experimentan, es decir, en separar sus moléculas constitutivas. Estas moléculas, retenidas en los sólidos por la cohesión á distancias determinadas y en posiciones relativas fijas para un grado de temperatura, se desvían más y más á medida que la acción repulsiva del calor aumenta, hasta el momento en que esta fuerza prepondera y queda anulada la cohesión. En este momento el cuerpo adquiere otro aspecto, y de sólido se convierte en líquido. Si entonces continúa subiendo la temperatura, es más marcada la tendencia de las moléculas á desviarse unas de otras, hasta que se efectúa una nueva transformación y el cuerpo pasa del estado líquido á otro estado, el de gas ó vapor. Entonces ha desaparecido toda cohesión entre las moléculas del cuerpo, que, en vez de conservar sus posiciones y distancias respectivas como en el estado sólido, ó de permanecer en equilibrio indiferente como en el líquido, se repelen y tienden á la expansibilidad indefinida si no se opone á ello una presión suficiente (1). Ocurren los mismos fenómenos, aunque en sentido inverso, si, tomando primeramente un cuerpo gaseoso, como vapor de agua, se disminuye progresivamente su temperatura y se ve que dicho vapor se vuelve líquido y pasa luego al estado sólido. Así pues, los cambios de volumen y los de estado ocasionados por las variaciones de temperatura forman una serie continua de fenó-

(1) "Si se calienta más y más un cuerpo sólido, dice Lavoisier, si se continúa introduciendo ó acumulando en él nuevas cantidades de calórico, sus moléculas se desvían cada vez más unas de otras hasta que se llega á un límite en que estas moléculas dejan de estar en la esfera de actividad de su atracción: entonces es cuando el cuerpo pasa del estado sólido al líquido, en el cual no tan sólo dichas moléculas no tienen ya más adherencia entre sí, no tan sólo no ejercen ya atracción alguna una sobre otra, sino que propenden á obedecer á una fuerza repulsiva que les imprime sin duda el calórico; esfuérganse por separarse, y se separarían indefinidamente en el espacio, si la gravedad de la atmósfera no lo impidiese." (*Del paso de los cuerpos sólidos al estado líquido por la acción del calórico*, OBRAS COMPLETAS de Lavoisier). Desde que se escribió este párrafo, se han modificado profundamente las ideas de los físicos sobre la acción del calor, pero se sigue concibiendo del mismo modo su acción sobre las moléculas de los cuerpos.

menos que obedecen á la misma causa. Ya hemos descrito los primeros y estudiado sus leyes: ha llegado el momento de estudiar los segundos.

¿Todos los cuerpos son susceptibles de tomar los tres estados?

Únicamente la experiencia podía contestar á esta pregunta. Limitándose á la observación inmediata, es por el pronto fácil de comprobar que, á las temperaturas comunes, es decir, entre los extremos de frío y de calor que pueda haber en cada clima, tan sólo algunos cuerpos pueden presentarse bajo estos diferentes aspectos; por ejemplo, el agua es sólida en invierno durante los grandes fríos, líquida á las temperaturas medias, y se evapora fácilmente cuando se la somete á la acción de un foco calorífico. Algunos sólidos, como los llamados *cuerpos grasos*, se licúan á una temperatura poco elevada: la manteca, el sebo, la estearina se hallan en este caso. Muchos líquidos despiden vapores á las temperaturas ordinarias, ó pasan, en parte al menos, al estado gaseoso; casi todos se evaporan completamente si se los somete á un grado de calor conveniente, que es distinto para cada uno de ellos.

La mayoría de los cuerpos sólidos necesitan una temperatura muy elevada para fundirse. Tales son los metales. Pero entre unos y otros media gran diferencia; pues al paso que el estaño, el bismuto y el plomo se licúan á una temperatura menor que la de la ebullición del mercurio ó muy poco superior, el oro, el hierro y el platino no entran en fusión sino á muchísimos grados de calor. Si consideramos el extremo opuesto de esta escala, vemos que el mercurio no se solidifica sino á las más bajas temperaturas de las regiones boreales ó por efecto de los fríos artificiales producidos por ciertas mezclas. Algunos metales reducidos al estado líquido despiden vapores y por consiguiente adquieren el estado gaseoso. Pero hasta hace muy poco tiempo no se ha podido volatilar muchos de ellos, como el oro, la plata y el cobre, resultado que se ha obtenido con el calor desarrollado por el arco voltaico. Merced al empleo de estos intensos focos artificiales se han derretido los minerales y hasta las rocas más duras, no habiendo hoy apenas cuerpos que puedan llamarse *refractarios ó fijos*, entendiéndose por estos, como en otro tiempo, los sólidos capaces de resistir las temperaturas más altas sin licuarse ó descomponerse. Aun entre estos últimos hay algunos que se ha conseguido licuar, ejerciendo sobre ellos una presión que impide el desprendimiento de aquellos de sus principios constitutivos que por la acción se tornan gaseosos antes de la fusión. La creta, por ejemplo, que es un carbonato de cal como el mármol, se descompone si se la somete á la acción de un fuerte calor; el ácido carbónico se separa de la cal en forma gaseosa, y la cal misma es uno de los escasos sólidos que hasta el presente han resistido á la fusión y á los cuales se puede calificar de refractarios como la magnesia y la estronciana. Pero, gracias á un procedimiento ideado por Hall en 1804, se ha podido fundir la creta, así como otros cuerpos, como la hulla. Este físico llenaba de creta un tubo de hierro muy resistente, y lo cerraba herméticamente antes de someterlo á la acción de un calor intenso. La alta presión que se desarrollaba en el interior del tubo y que procedía del gas resultante de un principio de descomposición, impedía la continuación de dicha acción, y el carbonato de cal se fundía. Dejando que el tubo se enfriase poco á poco, Hall encontraba en el interior un cilindro sólido de estructura cristalina, enteramente parecido al mármol sacaroideo.

Sin embargo, la mayor parte de los sólidos de origen orgánico, como la madera y las demás substancias vegetales ó animales, se descomponen en sus elementos por efecto del calor sin licuarse. Uno de estos elementos, el carbono, es una de las substancias más refractarias; con todo, ya veremos que ha dado indicios de fusión. En cuanto á los