

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

demás elementos, son por lo general sustancias volátiles, gases, y hoy sabemos que se ha podido reducir todos los gases al estado líquido, mediando ciertas condiciones de temperatura y de presión. Hoy ya no existen *gases permanentes*, como podía decirse hace pocos años. Todo hace, pues, presumir que no hay en la Naturaleza ninguna sustancia que no pueda adquirir sucesivamente los estados sólido, líquido y gaseoso, en condiciones á propósito de temperatura y de presión. Al estudiar estas transformaciones, veremos que es el calor el que desempeña siempre el papel principal.

## II

## FUSIÓN DE LOS CUERPOS SÓLIDOS. — FUSIÓN BRUSCA Y FUSIÓN VÍTREA. — LEYES DE LA FUSIÓN

Se pueden clasificar en dos categorías principales los sólidos que pasan al estado líquido por efecto del calor. Unos, como el vidrio, las resinas, la cera y la mayor parte de los cuerpos grasos, experimentan á medida que aumenta la temperatura un reblandecimiento gradual que les da al principio una consistencia pastosa: á esta clase de fusión se la da el nombre de *vítrea*, porque es más característica en el vidrio que en cualquier otro cuerpo. Otros sólidos, como el hielo y los cuerpos metálicos, pasan bruscamente al estado líquido. De esta distinción resulta que la observación de la temperatura á que se produce la fusión vítrea es incierta; mientras dura el reblandecimiento, esta temperatura continúa subiendo, y hasta que la liquidez ha alcanzado su máximum, no se puede anotar el punto á que ha llegado. Sin embargo, es probable que á cada grado de consistencia de la materia que se experimenta corresponda también un grado fijo de temperatura. No sucede así respecto de los sólidos de fusión brusca. Entonces caracterizan al fenómeno dos leyes precisas, de las que ya hemos dicho algo al hablar de la fusión del hielo. Dichas leyes pueden enunciarse así: cada sustancia se funde á una *temperatura invariable* que se reproduce idénticamente en todos los experimentos; esta temperatura *es fija mientras dura la fusión*, cualquiera que sea la intensidad del calor empleado en la operación. Aumentando éste, puede acelerarse la rapidez de la fusión; pero mientras subsista una partícula sólida, la temperatura no pasa del punto fijo; el termómetro sumergido en el baño líquido permanece estacionario.

Veremos asimismo que, para fundir un peso dado de cualquier sustancia, la cantidad de calor absorbido es siempre la misma, ó lo que es igual, que el calor invertido en la fusión de una masa determinada de un cuerpo es proporcional á esta masa; por lo demás, varía de una sustancia á otra. Pero como este calor no sirve para elevar la temperatura, puesto que el trabajo de la fusión lo absorbe por completo y por consiguiente no se manifiesta exteriormente, se le ha dado el nombre de *calor latente de licuación ó de fusión*, por oposición al calor que influye en el termómetro. Más adelante veremos el sentido que se ha de dar á esta expresión, cuando tratemos del trabajo mecánico del calor.

Las sencillísimas leyes que acabamos de enunciar no tuvieron exacta comprobación hasta la segunda mitad del siglo pasado. A la sazón se creía todavía que el punto de fusión era variable, que el hielo, por ejemplo, se derrite á diferentes temperaturas según la altitud ó según la latitud del lugar del experimento. El físico escocés Black fué quien descubrió en 1762 la constancia de la temperatura durante la fusión, y sobre todo la distinción entre el calor latente, que procuró medir, y el calor sensible.

Se puede medir de dos modos la temperatura de fusión de un sólido: observándola

directamente cuando el cuerpo está sometido á la acción del calor, ó fundiendo primeramente este cuerpo, y esperando luego el momento en que se efectúa la solidificación. Véase, según Buignet, cómo se procede para la medición directa: "Se coge un tubo de gas y se le adelgaza por un extremo cerrando su punta. Luego se toma un termómetro muy sensible que marque décimas de grado, y se meten ambas piezas en un tapón que se adapta al gollete de una gran redoma llena de agua. Caliéntase ésta con una luz de gas, y se eleva la temperatura lenta é insensiblemente. Tomadas estas disposiciones, se introduce en el tubo una corta cantidad de la materia sólida cuyo punto de fusión se desea averiguar, y que cae en la parte inferior, pero sin penetrar en la parte cónica adelgazada. Elevada primeramente el agua de la redoma á una temperatura algunos grados inferior al punto calculado de fusión, y sumergidos el tubo y el termómetro en esta especie de baño de María, se eleva muy poco á poco la temperatura observando con cuidado la parte cónica del tubo. Tan luego como la sustancia empieza á fundirse, se echa al punto de ver por el aspecto particular que toma al extenderse por la pared curva del vidrio. Entonces se anota el grado marcado por el termómetro, el cual indica el punto de fusión de la materia sometida al experimento."

El cuadro siguiente da los puntos de fusión de cierto número de cuerpos sólidos, simples ó compuestos, clasificados por el orden de temperaturas decrecientes:

## TEMPERATURAS DE FUSIÓN Ó DE SOLIDIFICACIÓN DE VARIAS SUSTANCIAS

Nombres de las sustancias	Tempras. de fusión	Nombres de las sustancias	Tempras. de fusión
Iridio. . . . .	sobre 1950°	Azúcar de caña. . . . .	160°
Platino. . . . .	1700	Colofonia. . . . .	135
Paladio. . . . .	1700	Azufre. . . . .	115
Hierro forjado inglés. . . . .	1600	Yodo. . . . .	107
Hierro dulce francés. . . . .	1500	Azúcar de uva. . . . .	100
Acero, el menos fusible. . . . .	1400	Ambar gris. . . . .	100
Acero, el más fusible. . . . .	1300	Aleación Darcet (5 plomo, 3 esta-	
Oro. . . . .	1250	ño, 8 bismuto). . . . .	94
Palastro gris. . . . .	1100 á 1200	Sodio. . . . .	90
Palastro blanco. . . . .	1030 á 1100	Naftalina. . . . .	78
Oro á la ley de la moneda. . . . .	1080	Cera amarilla. . . . .	76
Cobre. . . . .	1050	Cera blanca. . . . .	69
Cobre amarillo. . . . .	1015	Estearina. . . . .	61
Plata. . . . .	1000	Esperma. . . . .	49
Bronce. . . . .	900	Potasio. . . . .	55
Aluminio. . . . .	600	Fósforo. . . . .	44
Teluro. . . . .	525	Parafina. . . . .	44
Cadmio. . . . .	500	Sebo. . . . .	33
Zinc. . . . .	450	Manteca. . . . .	30
Yoduro de plata. . . . .	450	Agua. . . . .	0
Antimonio. . . . .	440	Bromo. . . . .	— 7.5
Bromuro de plata. . . . .	380	Varios éteres. . . . .bajo	— 32
Cloruro de plata. . . . .	350	Mercurio. . . . .	— 39.5
Plomo. . . . .	335	Amoniaco anhidro. . . . .	— 80
Clorato de potasa. . . . .	334	Alcohol absoluto. . . . .bajo	— 90
Succino. . . . .	288		
Bismuto. . . . .	265	<i>Varias aleaciones</i>	
Cloruro de zinc. . . . .	250	— 3 equiv. plomo 1 estaño. . . . .	289
Estaño. . . . .	235	— 1 — — 1 — . . . . .	241
Selenio. . . . .	217	— 1 — — 2 — . . . . .	196
Arsénico. . . . .	210	— 1 — — 3 — . . . . .	186
Nitrato de plata. . . . .	198	— 1 — — 4 — . . . . .	189
Alcanfor de Borneo. . . . .	195	— 1 — — 5 — . . . . .	194
Alcanfor del Japón. . . . .	175	— 2 — — 9 — 1 zinc. . . . .	168

Vese cuán diferentes son las temperaturas necesarias para fundir las substancias contenidas en el cuadro anterior, aun cuando pertenezcan, como el platino y el mercurio, á la misma familia de cuerpos simples, á la de los metales, no siendo menor de 1800° la diferencia entre dichos dos cuerpos; el bromo se vuelve líquido á 7°,5 bajo cero, al paso que el yodo necesita una temperatura superior á la del agua hirviendo. Se observará que ciertos compuestos, como el bromuro ó el yoduro de plata, tienen un punto de fusión intermedio entre los de los cuerpos simples que los constituyen (lo cual no se explica muy fácilmente), mientras que muchas aleaciones de plomo y estaño, ó de plomo, estaño y bismuto, se funden á temperaturas inferiores á las de los metales de que están formadas, propiedad merced á la cual se pueden obtener aleaciones fusibles, como la conocida de Darcet, cuyo punto de fusión es tan sólo de 94°. Heintz ha demostrado también que una mezcla de ácidos grasos se derrite á una temperatura mucho más baja que las de los mismos ácidos. Por ejemplo, los ácidos mirístico, palmítico y láurico se funden, el primero á 53°,8, el segundo á 62° y el tercero á 43°,6, al paso que una mezcla de tres partes de ácido mirístico, 7 de ácido palmítico y 2 de ácido láurico tiene su punto de fusión á 32°,7.

Por lo que respecta á los cuerpos que, para pasar al estado líquido, empiezan por ablandarse, adquieren consistencia pastosa y llegan insensiblemente á la fusión completa, se comprenderá que es difícil asignar con alguna precisión la temperatura á que se obtiene ésta. Especialmente para algunos de ellos, como el vidrio, cuya composición es bastante compleja, la fusibilidad es una propiedad que varía con esta composición, es decir, con la naturaleza de los cuerpos que entran en ella á la vez que con su proporción. Los vidrios incoloros que sirven para fabricar vajilla, los cristales de edificios, las lunas de espejos son silicatos dobles de cal y de potasa ó de sosa; el vidrio de botellas contiene óxido de hierro y peróxido de manganeso; los cristales destinados á la óptica que llevan los nombres de crown-glass ó flint-glass según su composición, contienen además carbonato de potasa, ácido arsenioso, minio, etc. Pues bien, de todos estos cuerpos, unos, como los silicatos de potasa y de sosa, son muy fusibles; otros, como los silicatos de cal, necesitan para fundirse una temperatura elevada, la de los más fuertes fuegos de fragua, ó tan sólo se ablandan; los silicatos de hierro, de manganeso y de plomo son mucho más fusibles y ceden á las temperaturas de los hornillos de laboratorio. Vese, pues, en todo esto lo que acabamos de consignar acerca de la temperatura de fusión de las aleaciones, á saber: que los silicatos múltiples se funden por lo común á una temperatura inferior á la de los silicatos constitutivos, circunstancia afortunada para la industria de la vidriería y para las numerosas operaciones que ha de efectuar en atención á los variados usos de sus productos.

### III

#### SOLIDIFICACIÓN DE LOS CUERPOS LÍQUIDOS. — CONGELACIÓN

La *solidificación* de los líquidos es el fenómeno contrario al de la fusión de los sólidos, pero obedece á las mismas leyes. La temperatura á la cual ocurre este cambio de estado es fija para cada cuerpo y precisamente la del punto de fusión. Por ejemplo, cuando una masa de hielo está á la temperatura de cero, cualquiera adición de calor produce la fusión de una parte de esta masa, así como cuando se trata de una masa de agua á la misma temperatura de cero, cualquier sustracción de calor ocasiona la conge-

lación ó solidificación de una parte del líquido. Si se trata de substancias que no pasan bruscamente al estado líquido, que empiezan por tomar una consistencia pastosa cuando se las calienta gradualmente, presentan los fenómenos inversos al pasar del estado líquido al sólido, espesándose poco á poco á medida que se enfrían y no llegando á su solidificación completa sino en el punto en que habían empezado á ablandarse.

La segunda ley que, según hemos visto, preside á la fusión es también verdadera por lo que atañe á la solidificación de los líquidos. Mientras toda la masa del cuerpo en vías de solidificarse no ha sufrido el cambio de estado, su temperatura subsiste invariable, por intensa que sea la causa de enfriamiento á que el cuerpo está sometido. Todo el calor que había sido absorbido durante el paso del cuerpo al estado líquido, y al cual hemos dado el nombre de *calor latente de liquidez*, cobra su libertad durante el tránsito contrario y sirve para mantener fija la temperatura de la masa aún no solidificada.

Todavía no ha sido posible congelar algunos líquidos, por ejemplo el alcohol absoluto, conforme se desprende del cuadro anterior, en el cual se ve que la temperatura de fusión de este cuerpo es inferior á  $-90^{\circ}$ . Sin embargo, sometiendo Despretz el alcohol al frío de una mezcla frigorífica de ácido carbónico sólido, éter y protóxido de azoe líquido, lo ha reducido á una consistencia pastosa bastante marcada para que se pudiera volcar el vaso sin que se derramase (1). También pudo Braun, en 1759, congelar el mercurio con una mezcla frigorífica, cosa que no se había podido conseguir hasta entonces. Estos experimentos se repitieron en 1795 en la Escuela politecnica, con cuyo objeto se valió Thilorier de una mezcla de ácido carbónico sólido y éter. La congelación del mercurio por efecto únicamente de los fríos atmosféricos se observó por primera vez durante la expedición de Parry á las regiones boreales. Al solidificarse este cuerpo cristaliza en octaedros; adquiere la maleabilidad y tenacidad del plomo, de suerte que se le ha podido aplanar á martillazos y acuñar medallas con el troquel.

### IV

#### CAMBIOS DE VOLUMEN OCASIONADOS POR LA FUSIÓN Ó LA SOLIDIFICACIÓN. — FUERZA EXPANSIVA DEL HIELO

La fusión de los cuerpos sólidos y el fenómeno inverso de la solidificación de los líquidos se caracterizan por las dos mismas leyes de la fijeza del punto á que se efectúan los dos cambios de estado, ó de la invariabilidad de la temperatura mientras dura uno ú otro fenómeno. Pero si la temperatura de la fusión y la de la solidificación son idénticas y subsisten fijas é invariables para una misma substancia, no sucede lo propio con respecto al volumen, que sufre un brusco cambio en este tránsito de un estado físico á otro. Por lo general, lo que resulta de la fusión de un cuerpo sólido es una dilatación, de suerte que el líquido que procede de aquélla tiene menos densidad que éste. Con todo, de esta regla se exceptúa un corto número de cuerpos sólidos; tales son: el hierro, el palastro, el bismuto, la plata, el antimonio, el ácido sulfúrico bihidratado, y la aleación compuesta de 1 parte de estaño, 1 de plomo y 4 de bismuto. Todos estos cuerpos se contraen al licuarse, y son más densos en estado líquido que en el sólido. A esta propiedad se debe la perfección del moldeo del hierro colado; cuando se le hace

(1) M. Wroblewski solidificó el alcohol en abril de 1883.

pasar líquido por los moldes huecos de los objetos que se han de reproducir, se dilata al enfriarse y solidificarse, y la presión que resulta de esta dilatación contra las paredes de los moldes obliga al metal á adquirir con toda fidelidad la forma de éstos en sus menores detalles.

La dilatación del agua que se congela es un hecho de observación del que cualquiera puede cerciorarse, pues durante el invierno se ven flotar los témpanos en el agua de los ríos y lagos. Todos los años, al volver la primavera, vienen á derretirse en las aguas más cálidas de las latitudes menos elevadas muchas masas de hielo procedentes



Fig. 556.—Fuerza expansiva del agua congelada. Experimento de Huygens

de los grandes bancos y de los glaciares de las regiones polares; verdad es que el agua del mar es más densa que la pura de la que se han formado los icebergs por congelación. Galileo había hecho ya observar que el hielo era menos denso que el agua sobre la cual flota, y los académicos de Florencia habían comprobado mediante un experimento clásico el hecho de la dilatación del agua que se congela, pues habiendo llenado de agua una esfera de cobre que sometieron á un frío intenso, ésta se rompió, á pesar de que el metal tenía ocho líneas de espesor. En 1667, Huygens hizo que estallase por dos puntos un tubo de hierro de un dedo de grueso lleno de agua y herméticamente cerrado: la rotura ocurrió á las doce horas de tener expuesto el tubo á una helada. Véase como repetía Pouillet en su cátedra este experimento: "Para ello, dice, me valgo

de tubos de hierro muy gruesos, de un metro de largo por tres centímetros de diámetro interior, cerrados á tornillo por ambos extremos. Después de llenarlos de agua, los meto en una caja de madera poco honda, y los cubro con una mezcla frigorífica de sal y hielo machacado, y en breve estallan con estruendo y se abren en toda su longitud esos tubos capaces de resistir la presión de muchos centenares de atmósferas. Y hasta se pueden hacer salir de ellos cilindros de hielo y demostrar

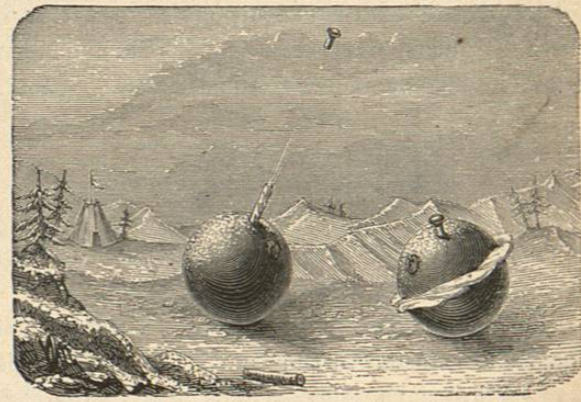


Fig. 557.—Experimentos del mayor Eduardo Williams sobre la fuerza expansiva del hielo

que el agua sólo se ha congelado en parte para producir una explosión tan fuerte.,,

Conocidos son también los célebres experimentos que el mayor de artillería Eduardo Williams hizo en Quebec en 1784 y en enero de 1785. Habiendo llenado de agua unas bombas de 13 pulgadas de diámetro, las expuso á la baja temperatura del aire libre. Un tapón de hierro fuertemente metido á modo de espoleta en estas bombas fué á parar á larga distancia en siete experimentos consecutivos; é inmediatamente después de la explosión, y cada vez que saltaba el tapón, salía de la bomba un cilindro de hielo de muchas pulgadas de longitud. Como la temperatura exterior hubiese descendido á 24 grados bajo cero al hacer el octavo experimento, la bomba estalló, se rajó y entre los dos fragmentos salió una placa de hielo en forma de aleta de pescado.

Ch. Martins y Chancel reprodujeron en 1870 los experimentos del mayor Williams, y calcularon la fuerza que hacía estallar los proyectiles. Operaron primero con una bomba de 22 centímetros de diámetro exterior y de 26 milímetros de grueso, y después de llenarla de agua á  $+4^{\circ}$ , la cerraron con un tornillo y una rodaja de plomo interpuesta entre la curvatura de la bomba y el reborde del tornillo. Hecho esto, la metieron en una mezcla frigorífica á  $-21^{\circ}$ . "Al cabo de hora y media, dice, el proyectil se hendió, siguiendo la raja un círculo máximo que pasaba por el orificio, y se separó en dos fragmentos. La capa de hielo era regular y de 10 milímetros de espesor; el volumen del hielo llegaba á 814 centímetros cúbicos, pero este volumen corresponde á otro de agua menor de  $\frac{1}{11}$  ó de 74 centímetros cúbicos, y como el agua se comprime 50 mi-

llonésimas por atmósfera, resulta que la fuerza que ha hecho estallar la bomba equivalía á 550 atmósferas, suponiendo el hielo compresible como el agua.,,

Otros experimentos hechos con proyectiles huecos más pequeños que las bombas han dado á los mismos observadores presiones de 440 y 574 atmósferas. Valiéndose de una disposición muy ingeniosa pudieron también colocar en el centro de las bombas un depósito de termómetro cuyo tubo graduado podía observarse de

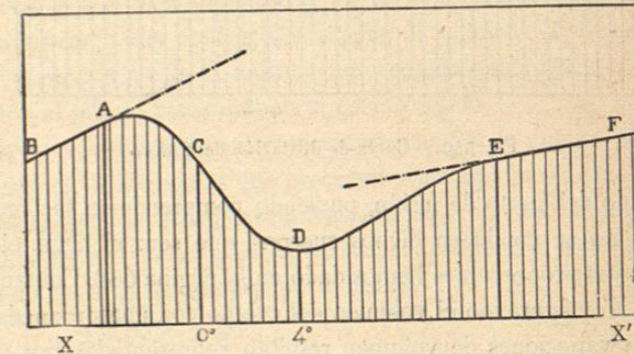


Fig. 558.—Curva de dilatación del agua

lejos con anteojos y cerciorarse así de que la primera vez el agua interior había bajado de  $10^{\circ},7$  á  $-2^{\circ},8$  y la segunda de  $8^{\circ},4$  á  $-4^{\circ},2$ ; lo cual es una comprobación del hecho de que la presión hace bajar el punto de congelación del agua. Pronto volveremos á ocuparnos de este último fenómeno.

Del mismo modo se podría comprobar la fuerza expansiva de los demás líquidos que se dilatan al solidificarse. Tyndall ha hecho un experimento análogo con el bismuto. "Estáis viendo, decía en una de sus lecciones sobre el Calor, estáis viendo esta botella de hierro rajada desde el gollete hasta el fondo; la rompo con este martillo y se os aparece ocupada interiormente por un núcleo metálico. Este metal es bismuto: lo he echado en la botella cuando estaba derretido y la he tapado con un tornillo. El metal se ha enfriado, se ha solidificado y dilatado, y la fuerza de expansión ha sido bastante para rajar la botella.,,

Cualquiera ha podido ser testigo de casos que prueban la intensidad de la fuerza expansiva del hielo que rompe las vasijas llenas de agua, y las cañerías de plomo ó de hierro de las casas cuando se comete la imprudencia de echar agua por ellas mientras hay una fuerte helada. En invierno, cuando el suelo henchido de humedad se hiela brusca é intensamente, la dilatación que de esto resulta causa bastantes perjuicios: los empedrados se aflojan y levantan, y las paredes se cuartejan; las piedras que retienen el agua que se solidifica durante los grandes fríos, se disgregan y se hienen; por último, congelándose la savia en los inviernos muy rigurosos, ocasiona grietas y hendeduras en los árboles.

En los primeros capítulos hemos visto que, á excepción de un cuerpo, el yoduro de